www.bursakongresi.org

30 Aralık 2025
Bursa

BURSA
6. Uluslararası Matematik ve Mühendislik Kongresi

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS
DECEMBER 30, 2025
BURSA

Edited By
ASSOC. PROF. DR. MEHMET FIRAT BARAN

Issued: 31.12.2025
ISBN: 978-625-5694-69-0

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :
In the conference 124 papers have been presented by Turkish participants and 183 papers by foreign participants.
Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an "official assignment letter"

All rights of this book belong to Academy Global Publishing House
Without permission can't be duplicate or copied.
Authors of chapters are responsible both ethically and juridically.
Academy Global–2025©

CONFERENCE ID

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS

DATE – PLACE

DECEMBER 30, 2025

BURSA

ORGANIIZATION

ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

EVALUATION PROCESS

All applications have undergone a double-blind peer review process.

PARTICIPATING COUNTRIES

Turkey – Thailand – Kazakhstan – Pakistan – Bangladesh- Nigeria – China- Romania - Indonesia- Malaysia- Italy- Tunisia- UAE- South Korea- Kyrgyzstan- Taiwan – Kenya- Pakistan- Iran - Vietnam - Ghana – India - South Korea –

-

-

PRESENTATION

Oral presentation

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Universitesi

Prof. Dr. Ali Bilgili - Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Naile Bilgili - Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Başak Hanedan - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Hajar Huseynova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Dwi Sulisworo - Ahmad Dahlan University

Prof. Zain Musa - Royal Academy of Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain - NICMAR University

Prof Yakup Babayev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Suyatno - Ahmad Dahlan University

Prof. Dr. Al-Rashiff H. Mastul -Mindanao State University

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy - Mindanao State University

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Belkıs Özkara - Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna - Zarmed University

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - Ataturk Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Batman Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Dicle Üniversitesi

Assoc. Prof. Dody Hartanto - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Nazile Abdullazade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur - Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Erkan EFİLTİ - Kırgızistan-Türkiye Manas University

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - New Bulgarian Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari - Tebriz Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş - Gazi Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Universitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Turkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Turkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Turkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Turkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Turkiye

Prof Dr. Bülent Kurtişoğlu – Turkiye

Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan

Prof. Dr. Dwi Sulisworo – Indonesia

Prof. Dr. Natalia Latygina – Ukraina

Prof. Dr. Yunir Abdrahimov – Russia

Prof. Muntazir Mehdi – Pakistan

Prof. Dr. T.Venkat Narayana Rao – India

Prof. Dr. İzzet Gümüş – Turkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Turkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Turkiye

Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China

Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan

Prof. Dr. Suyatno – Indonesia

Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain – India

Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran

Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia

Prof. Dr. Guler Yenice – Turkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Turkiye

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye

Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye

Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Turkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Ali Vandshoari – İran

Assoc. Prof. Dr. Dinara Fardeeva – Rusya

Assoc. Prof. Dr. Göksel Ulay – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizhstan

Assist. Prof. K. R. Padma – India

Assist. Prof. Dr. Omid Afghan - Afghanistan

Assist. Prof. Dr. Maha Hamdan Alanazi - Saudi Arabia

Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich Altayev - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Amina Salihi Bayero – Nigeria

Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif Fakheer - Jordania

Assist. Prof. Dr. Dody Hartanto - Indonesia

Assist. Prof. Dr. Ihwan Ghazali - Malaysia

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heyladou – Iran

Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Ozbekistan

Assist. Prof. Dr. Kalemkas Kalibaeva – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Bouaraour Kamel – Algeria

Assist. Prof. Dr. Alia R. Masalimova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Amanbay Moldibaev - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Ayslu B. Sarsekenova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Bhumika Sharma - India

Assist. Prof. Dr. Gulşat Şugaeva – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. K.A. Tleubergenova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Cholpon Toktosunova – Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Hoang Anh Tuan – Vietnam

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Türkiye

Assist. Prof. Dr. Botagul Turgunbaeva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Dinarakhan Tursunalieva - Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Yang Zitong – China

Assist. Prof. Dr. Gulmira Abndirasulova – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Imran Latif Saifi – South Africa

Assist. Prof. Dr. Murat Genç – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India

Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania

Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines

Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Turkiye

Dr. Mehmet Nuri Ödük – Turkiye

Dr. Ayşe Baran - Turkiye

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan

Dr. Sonali Malhotra – India

Dr. Amaneh Manafidizaji - Iran

T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Hemşirelik Fakültesi Dekanlığı

Sayı : E-98978265-100-1174800 19.02.2025
Konu : Dilekçe(Prof. Dr. Naile BİLGİLİ)

Sayın Prof. Dr. Naile BİLGİLİ
Halk Sağlığı Hemşireliği Anabilim Dalı Başkanlığı - Öğretim Üyesi

İlgi : 17.02.2025 tarihli ve E-87008936-100- 1173474 sayılı yazı.

İlgi dilekçenizde belirttiğiniz "Yükseköğretim Kurulu'nun 15.06.2023 tarihli oturumunda doçentlik başvuruları şartları ile ilgili değişiklik önerileri kapsamında Sağlık Bilimleri Temel Alanı'nda gerçekleştirilecek olan madde 8'in Bilimsel Toplantı başlığı altındaki b bendi" uyarınca, Academy Global Conferences & Publishing (https://www.akademikongre.org/registration) tarafından 2025 yılında düzenlenecek olan bilimsel etkinliklerde görev alma talebiniz konusunda bilgilendirildim.

Bilgilerini ve gereğini rica ederim.

Prof. Dr. Sultan AYAZ ALKAYA
Dekan

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Belge Doğrulama Kodu :BSCMHSP653 Belge Takip Adresi : https://www.turkiye.gov.tr/gazi-universitesi-ebys

Emniyet Mahallesi Bandırma Caddesi No :6/1 06560 Yenimahalle/ANKARA
Tel:0 (312) 202 20 00 Faks:0 (312) 221 32 02
İnternet Adresi :http://gazi-universitesi.gazi.edu.tr/
Kep Adresi: gaziuniversitesi@hs01.kep.tr
Bilgi için :Onur Akın
Bilgisayar İşletmeni
Telefon No:0312 216 26 27

Bu belge,güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS
DECEMBER 30, 2025
IZMIR

NO : **AC- 6M- 2025. 438m– 3054**
Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi 30/12/2025

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen **Bursa 6. Uluslararası Matematik ve Mühendislik Bilimler Kongresi 30** Aralık 2025 tarihlerinde Bursa'da 22 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 307 bildirinin 124'ü Türkiye'den, 183'ü ise farklı 21 ülkeden katılan akademisyenler tarafından sunulmuştur. Kongre, 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen "Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır." değişikliğine uygun olarak düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz ederiz

Saygılarımızla

Prof. Dr. Naile Bilgili

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES
BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS
BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS
ARTdergi 5TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION

December 30, 2025
Bursa

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

https://us06web.zoom.us/j/88571518350?pwd=fOYazCWBmbAiWrHygjKSjkbbSvotfd.1

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224

ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

- ZOOM bağlantısı için yukarıda verilen bağlantıyı veya yine yukarıda verilen giriş bilgilerini kullanabilirsiniz.
- **Oturum içerisinde en KIDEMLİ olan moderator olarak seçilir. Moderatörün oturum düzenini gözetmesi, akademisyen adaylarını yönlendirmesi beklenmektedir.**
- Oturuma bağlanmadan önce Salon numaranızı adınızın önüne aşağıdaki gibi ekleyiniz. Bu sayede kongre açılışında beklemeden oturumlarınıza gönderilebileceksiniz. Ör. 5 Ahmet Ahmetoglu
- **Sunum süresi 10 dakikadır. Bu sürenin aşılmamasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilmektedir.**
- Kameralar, oturum süresince toplam % 70 oranında açık olmak zorundadır.
- **Sunum yapan katılımcının kamerası açık olmak zorundadır.**
- Sunum yapmak zorunludur. **Herhangi bir nedenle sunum yapmamış olan katılımcıya sertifika verilmesi ve çalışmasının yayınlanması sözkonusu olamaz.**
- Katılımcı, kendi oturumda, oturum bitene kadar bulunmak zorundadır.
- Katılımcıların kendi oturumları dışındaki oturumlara katılma zorunluluğu yoktur.
- ZOOM platformunun kapasite sınırı nedeniyle, DİNLEYİCİ, sadece kapasite izin verdiği sürece kabul edilebilmektedir.
- **SADECE ÇALIŞMADA YAZAR OLARAK GEÇEN KİŞİLER SUNUM YAPABİLİR !**

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

- To be able to make a meeting online, login via https://zoom.us/join site, enter ID instead of “Meeting ID
- or Personal Link Name” and solidify the session.
- The Zoom application is free and no need to create an account.
- The Zoom application can be used without registration.
- The application works on tablets, phones and PCs.
- Speakers must be connected to the session **10 minutes before** the presentation time.
- All congress participants can connect live and listen to all sessions.
- During the session, your camera should be turned on **at least %70** of session period
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

TECHNICAL INFORMATION

- Make sure your computer has a microphone and is working.
- You should be able to use screen sharing feature in Zoom.
- Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress.
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.
- Before you login to Zoom please indicate your name surname and hall number,

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 08:00 – 10:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. Oğuz YILDIRIM**	1	ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND TEFL: TRANSFORMATION INTO THE LEARNING ECOSYSTEM OF THE FUTURE	Dr. Hakan Aydoğan
		2	THE IMPACT OF THE INTERNATIONAL BACCALAUREATE PRIMARY YEARS PROGRAM ON CRITICAL THINKING SKILLS IN EARLY CHILDHOOD	Deniz ÇAVUŞ
		3	MAARİF MODEL LİSE COĞRAFYA ÖĞRETİM PROGRAMINA İLİŞKİN ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİ ZONGULDAK İLİ ÖRNEĞİ	FATİH KAYABAŞI
		4	Türkiye Yüzyılı Maarif Modelinin Basındaki Yansımaları: Gazete Köşe Yazılarının Analizi ve Yorumlanması	HANDE KOLTUKÇU Prof. Dr. NURDAN KALAYCI
		5	AN EXAMINATION OF OUT-OF-SCHOOL LEARNING ENVIRONMENTS AND ACTIVITIES FOR THE 6TH GRADE SCIENCE COURSE FROM THE PERSPECTIVE OF THE TÜRKİYE CENTURY MAARİF MODEL	Doctoral Student Emre ERDEN Prof. Dr. Orhan KARAMUSTAFAOĞLU
		6	GÖRME ENGELLİ ÖĞRENCİLERDE MATEMATİK EĞİTİMİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, GÜLAYŞE İREM KURT Prof. Dr. BERNA CANTÜRK GÜNHAN Doç. Dr. DUYGU ÇETİNGÖZ
		7	OKUL MÜDÜRLERİNE YÖNELİK SÜRDÜRÜLEBİLİR EĞİTİM LİDERLİĞİ FARKINDALIĞI EĞİTİM PROGRAMININ GELİŞTİRİLMESİ VE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ	Öğretim Görevlisi Dr., CAHİDE KİBAROĞLU Doç. Dr. DİLŞAT PEKER ÜNAL
		8	MESLEK LİSELERİNDE ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİNE GÖRE BÖLÜM TERCİHLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	Yüksek Lisans Öğrencisi, MUSTAFA ÖZTÜRK Dr. Öğr. Üyesi, UĞUR EPÇAÇAN
		9	Evaluation of Textbooks Used in Teaching Turkish as a Foreign Language in Terms of Grammar Teaching: New Istanbul Turkish Coursebook for International Students (A1)	Dr. Oğuz YILDIRIM
		10	Öğrencilerin Sınıf İklimi Algılarının İncelenmesi: Mentör Destekli Öğretmen Mesleki Gelişim Programı İçin Altyapı Araştırması	Doç. Dr. Öner Uslu Dr. Duygu KANDEMİRCİ BAYIZ Araş. Gör. Ece ÇOKAY TAŞCIOĞLU Dr. Nil AYKOL

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 08:00 – 10:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Prof. Dr. Meltem AYDIN**	1	THE REIGN OF SULTAN ABDULAZIZ (1861–1876) IN THE IRISH PRESS	Dr. Öğretim Üyesi Merve Doğan
		2	Emevîler Devrinde Mâverâünnehir'de Fetih ve İslamlaşma (665-739)	Umut ÇANLIDAĞ
		3	PRIME MINISTER SÜLEYMAN DEMİREL'S VISIT TO THE TURKIC REPUBLICS (1992)	Prof. Dr. Bahattin DEMİRTAŞ
		4	PRIME MINISTER SÜLEYMAN DEMİREL'S VISIT TO YUGOSLAVIA (1970)	Prof. Dr. Bahattin DEMİRTAŞ
		5	DON KAZAKLARININ TARİHÇESİ VE II. DÜNYA SAVAŞI'NDA Kİ ROLÜ: TARİHSEL, SOSYO-POLİTİK VE ASKERİ BİR İNCELEME	Yüksek Lisans Öğrencisi, Yılmaz Yalçındağ
		6	FROM IMPERIAL RULE TO COMMUNIST ADMINISTRATION: SALARS IN CHINA	Arş. Gör. Dr., NEBİL KARADUMAN
		7	DOBRUJA IMMİGRANT CHİLDREN İN THE OTTOMAN EMPİRE: SETTLEMENT, EDUCATİON, HEALTH, AND SOCİAL WELFARE POLİCİES (SECOND HALF OF THE 19TH CENTURY – EARLY 20TH CENTURY)	Dr. Özlem KARAPINAR GÖK
		8	A TURNİNG POİNT İN SOCİAL POLİCİES OF THE EARLY REPUBLİCAN PERİOD: THE 1945 REPORT ON DESTİTUTE AND NEGLECTED CHİLDREN AND STATE STRATEGİES	Dr. Özlem KARAPINAR GÖK
		910	THE APPLICATION OF THE TIMAR SYSTEM IN THE UŞAK DISTRICT OF THE KÜTAHYA SANJAK IN THE 17TH CENTURY ACCORDING TO AVARIZ RECORDS	Lecturer Lokman AYDIN
		11	BAHRÎ MEMLÛK DEVLETİ'NDE ASKERÎ OLİGARŞİNİN YÜKSELİŞİ: YELBOĞAVİYYE HİZBİ VE ÇERKEZ EGEMENLİĞİNİN OLUŞUM SÜRECİ	Yusuf ÖTENKAYA
		12	ERKEN MEMLÛKLAR DÖNEMİNDE İLÂHÎ MÜDAHALE	Yusuf ÖTENKAYA
		13	DENIZLI IN THE 17TH CENTURY ACCORDING TO AVARIZ RECORDS	Prof. Dr. Meltem AYDIN

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 08:00 – 10:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Doç. Dr. Nazlı MEMİŞ BAYTİMUR**	1	THE MULTILAYERED AND SYMBOLIC MEANING OF BIRDS IN THE URAL BATIR EPIC	Yüksek Lisans Öğrencisi, Makbule Selin ÖZER
		2	Representation of a Child Interpreter in Olivia Abtahi's The Interpreter	Asst. Prof. Dr. Özge BAYRAKTAR ÖZER
		3	WOMAN IN ARISTOCRACY IN VIRGINIA WOOLF'S STORY "PHYLLIS AND ROSEMOND"	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI
		4	PEYAMİ SAFA'NIN "CUMBADAN RUMBAYA" ADLI ROMANININ SÖZ VARLIĞI	Yüksek Lisans Öğrencisi, Duygu PARLAK Doç. Dr. Mustafa Levent YENER
		5	PERCEPTION OF GENDER IN THE NATIONAL STRUGGLE NOVEL	Mehmet EMRE Prof. Dr. Hülya ERAYDIN ARGUNŞAH
		6	"THE CHERRY GREW, WE HAVE SEXED IT AND IT IS FEMALE": RECLAIMING THE BODY IN JEANETTE WINTERSON'S SEXING THE CHERRY	Dr. Ahmet Yusuf AKYÜZ
		7	BOZMA/KİRLETME DÖNGÜSÜ VE ŞÜKRANIN KIRILGANLIĞI: MELANIE KLEIN'İN HASET–ŞÜKRAN KURAMINDAN HAREKETLE NÂBİZÂDE NÂZIM'IN ZEHRA ROMANI	Doç. Dr. Nazlı MEMİŞ BAYTİMUR
		8	ORHAN VELİ'NİN ÖYKÜLERİNDE GÜNLÜK HAYAT	Dr. ZELİHA KAPUKAYA
		9	AZERBAYCAN HALK BİLİMİNDE ÇOCUK FOLKLORUNUN YERİ	Doç. Dr. Semengül Hüsü kızı Gafarova
		10	CREATION IN TURKISH MYTHOLOGY: A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE VERBITSKIY AND RADLOFF VARIANTS	Ph.D., SERKAN SAYAR
		11	IDENTITY AND INNER CONFLICT IN THE STRANGE CASE OF DR JEKYLL AND MR HYDE	Öğr. Gör. Dr. Duygu KORONCU ÖZBİLEN
		12	FEMALE VOICE AND RESISTANCE IN ENGLISH LITERATURE	Öğr. Gör. Dr. Duygu KORONCU ÖZBİLEN

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 08:00 – 10:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Dr. Mustafa AKYÜREK**	1	HATAY CHILDREN'S GAMES: THE VITAL FUNCTION of CHILDREN'S GAMES and THEIR CONTRIBUTION TO COMMUNICATION SKILLS	Prof. Dr. Sedat Cereci Dr. Nurat Kara
		2	AN EXAMINATION OF MEANING LOSS IN COMMUNICATION IN THE AGE OF DIGITAL VISIBILITY	Master's Student, HALİSE TUĞÇE KOCA Professor, ALİ MUHAMMET BAYRAKTAROĞLU
		3	AN ANALYSIS OF THE MINIONS FILM IN THE CONTEXT OF THE ABILENE PARADOX	Master's Student, ÖZNUR ERTAN Professor, ALİ MUHAMMET BAYRAKTAROĞLU
		4	SOSYAL MEDYADA GÖRÜNMEZLIK, DIŞLAMA VE ALGORITMIK SINIRLAMA PRATIKLERI ÜZERINE BIR INCELEME	Dr. Remziye ERDEM
		5	SOSYAL MEDYA ORTAMLARINDA OLUŞAN VE AKTARILAN POPÜLER KÜLTÜR	Dr. Remziye ERDEM
		6	ÇATIŞMA VE KRİZ BÖLGELERİNDE GAZETECİLİK SORUNLARI	Dr. Mustafa AKYÜREK
		7	İFADE ÖZGÜRLÜĞÜ İLE KAMUSAL YARAR ARASINDA İNTERNET YAYINCILIĞI DENETİMİ	Dr. Mustafa AKYÜREK
		8	AN EXAMINATION OF E-SOCIAL IMPACT AND MEDIA PLANS OF AWARD-WINNING AND NON-AWARD-WINNING CASE STUDIES APPLYING TO EFFIE TURKEY IN THE SAME CATEGORY	Ahmet Yudahan CUMHUR PROF. Dr.Gresi SANJE
		9	NEW YEAR'S EVE AS A THEMATIC PERIOD: A QUALITATIVE ANALYSIS OF INFLUENCER ADVERTISEMENTS	Prof. Dr. DENİZ SEZGİN
		10	PARTICIPATORY JOURNALISM AS CO-CREATION OF VALUE: EXPLOITATION OR DEMOCRATISATION?	Arş. Gör. Dr. YEŞİM AKMERANER KÖKAT
		11	GLOCALISATION IN CORPORATE COMMUNICATION AFTER GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE	Arş. Gör. Dr. YEŞİM AKMERANER KÖKAT
			SILENCE IS ALSO A MESSAGE: THE MEANING OF SILENCE IN THE MEDIA WITHIN THE FRAMEWORK OF MASS COMMUNICATION THEORIES	Öğr. Gör. Zekiye GENÇ
			A CRİTİCAL PERSPECTİVE ON USES AND GRATİFİCATİONS APPROACH İN THE CONTEXT OF SELF-PRESENTATİON ON SOCİAL MEDİA	Öğretim Görevlisi, Vesile UZLU

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 08:00 – 10:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Öğr. Üyesi Emel TEKTEN**	1	OFF- SHORE BANKACILIĞIN DEĞİŞEN İŞLEVİ VE HUKUKİ NİTELİĞİ	Doktor Öğretim Üyesi, TÜLAY GÖKDEMİR TAMER
		2	With a Criminal Law Approach “Environment”	Aleyna Gözübüyük
		3	PRIVATE LIFE AND ITS PLACE IN THE CONSTITUTIONS OF THE REPUBLIC OF TURKEY	Av. Mehmet Kavruk
		4	AN EVALUATION OF THE CONSTITUTIONAL COURT’S ANNULMENT DECISION REGARDING ARTICLE 166/1 OF THE CODE OF CIVIL PROCEDURE ON THE CONSOLIDATION OF ACTIONS	Dr., Mehmet KÖLE
		5	MEDIATION IN THE FIELD OF INDUSTRIAL PROPERTY LAW	Dr., Mehmet KÖLE
		6	Dijitalleşen Ticaret Sicili ve Hukuki Güvenlik Sorunu	Dr. Öğr. Üyesi Emel TEKTEN
		7	TBK m. 444–447 Kapsamında Rekabet Yasağından Doğan Davalarda Görevli Mahkeme Sorunu: Yargı İçtihatlarındaki Dönüşüm	Dr. Öğr. Üyesi Emel TEKTEN
		8	EXAMINING THE TYPES OF SENTENCES IN CRIMINAL TRIALS IN THE LIGHT OF THE SUPREME COURT CASE LAWS	Öğr. Gör., Betül Asena SÖNMEZ
		9	DEFERMENT OF THE ANNOUNCEMENT OF THE VERDICT IN CRIMINAL PROCEEDINGS	Öğr. Gör., Betül Asena SÖNMEZ
		10	İŞÇİNİN KİŞİSEL VERİLERİNİN İŞLENMESİ SÜRECİNDE GERÇEKLEŞEBİLECEK İHLALLER VE KİŞİSEL VERİLERİN KORUNMASI KANUNU ÇERÇEVESİNDE KORUNMA YOLLARI	ABDULLAH ÖNER
		11	CRIMINAL COMMUNICATION IN THE CONTEXT OF CRIME AND PUNISHMENT	Av. Dr. Öğr. Üyesi, Ensar LOKMANOĞLU
		12	EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL MIGRATION PHENOMENA IN THE CONTEXT OF HUMAN RIGHTS AND INTERNATIONAL LEGAL CASES	Doktora Öğrencisi, Süleyman KOÇ Doç. Dr. Hayriye SAĞIR
		13	ANAYASA MAHKEMESİ KARARLARI IŞIĞINDA TOPLANTI VE GÖSTERİ YÜRÜYÜŞÜ HAKKI	Sıtkı Berkay DOĞU

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 08:00 – 10:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr., Aydın BAYARSLAN**	1	A REVIEW OF ACADEMIC STUDIES ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND SOCIAL WORK IN TÜRKIYE	Lecturer (PhD), FATİH CEBECİ Lecturer (PhD), OSMAN AKAY
		2	BIBLIOMETRIC ANALYSIS ON 'PEACEBUILDING' WITH VOSVIEWER	Assistant Professor İbrahim Fevzi GÜVEN Associate Professor Mehmet KIRLIOĞLU
		3	BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF STUDIES ON THE FUTURE OF THE ECONOMY	Assistant Professor Murat ERGÜL Associate Professor Mehmet KIRLIOĞLU
		4	ÖZ-DUYARLIK VE YAŞAM KALİTESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Aysu YALÇINKAYA Prof. Dr. Leyla ÖZGEN
		5	A Review of the Relationship Between Stress and Social Support in Social Work Students	Yüksek Lisans Öğrencisi Abdülkadir YELER, Profesör Doktor Leyla ÖZGEN
		6	STRESİN AZALTILMASINDA BİLİNÇLİ FARKINDALIK	Yüksek lisans öğrencisi, Mehmet Akif İPEK Prof. Dr., Leyla ÖZGEN
		7	ERGENLERDE TEKNOLOJİ BAĞIMLILIĞI VE SOSYAL HİZMET MÜDAHALELERİ	Sosyal Hizmet Uzmanı YASEMİN ALKAÇ Doç. Dr. KÜBRA ARSLAN ALDAŞ
			GENÇ YETİŞKİNLERİN FLÖRT ŞİDDETİNE OLAN TUTUMLARININ VE BAŞ ETME BECERİLERİNİN İNCELENMESİ	Sosyal Hizmet Uzmanı YASEMİN ALKAÇ Doç. Dr. KÜBRA ARSLAN ALDAŞ
			SELF-RESPECT AND SOCIAL SERVICE PERSPECTIVE: A LITERATURE-BASED STUDY	ZÖHRE SEZER PROF. DR. LEYLA ÖZGEN
			SELF-COMPASSION: A LITERATURE-BASED REVIEW	Mervenur PÜR Prof. Dr. Leyla ÖZGEN
			Türkiye and The Open-Door Policy Why does Turkey follow the open-door policy for immigrants?	Qutaiba Dehni
			OSMANLI DÖNEMİNDEN GÜNÜMÜZ HAK SÖYLEMİNE: ENGELLİLİKTE KAVRAMSAL DÖNÜŞÜM	Dr., Aydın BAYARSLAN
		8	VERİ OLMADAN POLİTİKA OLUR MU? TÜRKİYE'DE OTİZM ALANINDA HİZMETE ERİŞİM TARTIŞMASI	Dr., Aydın BAYARSLAN

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 08:00 – 10:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Doç. Dr. Yavuz BOLAT**	1	HARİTALARIN DÖNÜŞÜMÜ: KARTOGRAFYADAN DİJİTAL VE KATILIMCI HARİTALARA	Doçent Doktor Ali İMAMOĞLU
		2	EXAMPLES of GEOHERİTAGE POTENTİAL in the WETLANDS of the KIZILIRMAK DELTA	Prof. Dr. Ekrem MUTLU Yasin BOZTEPE
		3	Lithological Evaluation of River Longitudinal Profile Irregularitiesin the Arıt Stream Basin	Prof. Dr. Ekrem Mutlu Barancan Günsan
		4	BİLGİSAYAR OYUN BAĞIMLILIĞININ ORTAOKUL ÖĞRENCİLERİNİN OKUL MOTİVASYONUNA ETKİSİ	Dr. Şeyma MIZRAK
		5	ORTAOKUL ÖĞRENCİLERİNE YÖNELİK SİBER ZORBALIĞI ÖNLEME PSİKOEĞİTİM PROGRAMININ ETKİSİ	Dr. Şeyma MIZRAK
		6	MATEMATİK EĞİTİMİNDE DİJİTAL ARAÇLARIN KULLANIMINA YÖNELİK ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİNİN İNCELENMESİ	İrem HOŞAPCIOĞLU Prof. Dr. Ahmet ÜSTÜN
		7	GÖÇ TEMALI TÜRK ÇOCUK KİTAPLARININ KAPSAYICI EĞİTİM PERSPEKTİFLERİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Yüksek Lisans Öğr. ZEYNEP BİLGİN Dr. Öğr. Üyesi OSMAN TURHAN
			YEREL BİLGİDEN SÜRDÜRÜLEBİLİR GELECEĞE: FEN EĞİTİMİNDE ETNOBİLİM VE YEŞİL BECERİLERİN ENTEGRASYONU	Dr, Ayşegül TONGAL
			Temel Yaşam Becerileri Bağlamında Bir Müdahale: Siber Zorbalık ve Dijital Ayak İzi Farkındalığı	Dr. İlhan POLAT
			AN INVESTIGATION OF PRE-SERVİCE PRIMARY SCHOOL TEACHERS' SELF-EFFICACY BELİEFS TOWARD LIFE STUDIES TEACHING	Asst. Prof. Dr. Hümeyra UYSAL Prof. Dr. Sabri SİDEKLİ
			INVESTIGATION OF PRE-SERVICE PRIMARY SCHOOL TEACHERS' ATTITUDES TOWARDS CHILDREN'S LITERATURE	Prof. Dr. Sabri SİDEKLİ Asst. Prof. Dr. Hümeyra UYSAL
			OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMENLERİNİN KAPSAYICI EĞİTİME İLİŞKİN ALGI VE UYGULAMALARI	Doç. Dr. Yavuz BOLAT
		8	İDEALİZM İLE GERÇEKÇİLİK ARASINDA ÖĞRETMEN OLMAK: ÖĞRETMEN ADAYLARININ MESLEKİ ALGILARI, BEKLENTİLERİ VE GELECEK ÖNGÖRÜLERİNE İLİŞKİN NİTEL BİR ÇÖZÜMLEME	Doç. Dr. Yavuz BOLAT

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 08:00 – 10:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Doç. Dr. Ünsal DENİZ**	1	SILENCE TO AGENCY: REFLECTIVE CASE STUDY ON A MIGRANT STUDENT'S CHOIR EXPERIENCE	Prof. Dr. Begüm ÖZ YL Öğr., Gözde BEK
		2	EXAMINATION OF EAR TRAINING SOFTWARE IN THE CONTEXT OF MUSIC EDUCATION	Master's Student, MUSTAFA GÖKHAN BEKEN
		3	A MAKAMSAL ANALYSIS OF EBÛBEKİR AĞA'S EVIÇ BESTE "ŞEYDÂ-TER EYLEDİ BENİ HÛY-GERDE GERDENİN"	Ögr.Gör. GÜLGÜN ÇOLAK
		4	AN EVALUATION OF LOW LARYNX AND UPPER VOCAL TRACT WIDTH IN OPERA SINGING	Dr. Öğr. Üyesi Cemalettin BAYDAĞ
		5	THE IMPORTANCE OF MUSIC EDUCATION IN THE POST-TRAUMATIC RECOVERY PROCESS WITHIN THE CONTEXT OF EXPRESSIVE ARTS THERAPY	Ufuk ALTINTAŞ
		6	BREATH AWARENESS AND CLINICAL APPLICATIONS IN MUSIC THERAPY	Arş. Gör. HÜSEYİN İZCİ Doç. Dr. EMİNE CEYLAN ÜNAL AKBULUT
		7	MÜZİK TERAPİSİNDE EŞZAMANLANMA OLGUSUNA KURAMSAL BİR BAKIŞ	İHSAN KAAN ERDİNÇ Doç. Dr. EMİNE CEYLAN ÜNAL AKBULUT
			HEADLESS DOUBLE BASS DESIGN: AN ERGONOMIC, ACOUSTIC, AND STRUCTURAL STUDY	Assist. Prof. Dr. Özgür TURAN
			TRADITIONS, SCHOOLS, AND CANONS IN MUSICOLOGY	Asst. Prof. Dr. İsmail GÜNGÖR
			ACCIDENTAL SIGNS USED IN TURKISH FOLK MUSIC FROM PAST TO PRESENT	Doç. Dr. Ünsal DENİZ
			WHICH MUSIC WAS BANNED AND WHY IN THE EARLY REPUBLICAN PERIOD?	Doç. Dr. Ünsal DENİZ
			TRT REPERTUARINDAKİ KÜTAHYA GEDİZ TÜRKÜLERİNİN MELODİK VE RİTMİK İNCELENMESİ	Öğr. Gör. Dr. Mehmet Kürşad Türkay
		8		

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 08:00 – 10:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Prof. Dr. ANIL ERTOK**	1	OKUL ÖNCESİ DÖNEMDE EĞİTİM SÜRECİNE DAHİL EDİLEN FİZİKSEL AKTİVİTENİN ETKİN ÖĞRENMEYE ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Gülşen AKINCI BAŞLI
		2	Ortaokul Öğrencilerinin Sosyal Medya Kullanımının Öğrenci Davranışları Üzerindeki Etkisine İlişkin Öğretmen Görüşlerinin İncelenmesi	Tuğba TÜRKMEN Prof. Dr. Ahmet ÜSTÜN
		3	ART EDUCATİON İN EARLY CHİLDHOOD EDUCATİON: THE GAİNS OF PRE-SERVİCE TEACHERS AND THEİR REFLECTİONS ON CHİLDREN	Prof. Dr. ANIL ERTOK
		4	EĞİTİMDE YAPAY ZEKA ARAÇLARI VE UYGULAMA DENEYİMLERİ: DİJİTAL ÖĞRENME ÇAĞINDA ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN DENEYİMLERİNE DAİR ARAŞTIRMA TASARIMI VE ÖN BULGULAR	Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Akın Bulut Şuranur Taşdemir Nursena Ofluoğlu Melike Yıldırım Esen
		5	ORTAOKULLARDA GÖREV YAPAN GÖRSEL SANATLAR ÖĞRETMENLERİNİN GÖRSEL SANAT DERSLERİNDE YAPAY ZEKÂ KULLANIMINA İLİŞKİN GÖRÜŞLERİ	Prof. Dr. Necdet KONAN Senanur CANPOLAT
		6	EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN SCHOOL PRINCIPALS' CREATIVE LEADERSHIP LEVELS AND TEACHERS' INNOVATIVE THINKING TENDENCIES	Bilsen ARIKAN ÇEPER Dr. Mehmet Yaşar
		7	SOSYAL BİLGİLER DERSİNDE DRAMATİZASYON YÖNTEMİNİN ÖĞRENCİLERİN MOTİVASYONUNA VE AKADEMİK BAŞARISINA ETKİSİNE YÖNELİK ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİNİN İNCELENMESİ	MERVE BÜLBÜL Prof. Dr. Ahmet ÜSTÜN
		8	To Determine The Approaches Of 11th And 12th Grade Students Studying At Anatolian High Schools, Anatolian Vocational High Schools, And Anatolian Technical High Schools In Çanakkale Province Towards The Biomedical Device Technology Course	Öğretim Görevlisi, Büke DEMİR Öğrenci, Selin İlayda ÇETİNKAYA Öğrenci, Fehime Gül TÜRKAN Öğrenci, Rüveyda GENCER Öğrenci, Dileknur KOSTAK
		9	TAÜKÖS - UYARLANABİLİR KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ ÖĞRENME SİSTEMİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Sultan URTAÇ ŞİRİN Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet CABA Yüksek Lisans Öğrencisi Fatih Emre ÖNER Yüksek Lisans Öğrencisi Sümeyye TAŞAN Yüksek Lisans Öğrencisi Yusuf Selim YÜCEER Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Akın BULUT
		10	AN INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF RHYTHM-BASED APPLICATIONS ON TIME CONCEPT, ORGANIZATION, AND PLANNING SKILLS IN CHILDREN WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER (ASD)	SULTAN KILIÇ YÜRÜK PROF. DR. SİBEL KARAKELLE PROF. DR. ÖZLEM MUTLU TAGAY

		11	REPOSİTİONİNG 'TECHNOLOGY' İN THE STEM APPROACH: FROM AN INSTRUMENTAL PERSPECTİVE TO A SOCİO-TECHNİCAL APPROACH	Burçin BEYDİLİ ÖZOCAK
		12	TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ 5. SINIF FEN BİLİMLERİ ÖĞRETİM PROGRAMI İLE 2018 5. SINIF FEN BİLİMLERİ ÖĞRETİM PROGRAMININ EĞİTİM PROGRAMLARININ TEMEL ÖGELERİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI	Dr. Öğretim Görevlisi, SEKVAN KUZU Yüksek Lisans Öğrencisi, MEHMET DOKSÖZ Yüksek Lisans Öğrencisi, NİSA CAN Yüksek Lisans Öğrencisi, MEHMET ERDEM YAŞAR Yüksek Lisans Öğrencisi, RABİA ULUSOY Yüksek Lisans Öğrencisi, SENA DOĞAN
		13	TÜRKİYE YÜZYILI 5. SINIF MATEMATİK ÖĞRETİM PROGRAMI İLE 2018 5.SINIF MATEMATİK ÖĞRETİM PROGRAMININ EĞİTİM PROGRAMLARININ TEMEL ÖĞELERİ PERSPEKTİFİNDEN KARŞILAŞTIRILMASI: İÇERİK ANALİZİ	Dr. Öğretim Görevlisi, SEKVAN KUZU Yüksek Lisans Öğrencisi, MEHMET DOKSÖZ Yüksek Lisans Öğrencisi, NİSA CAN Yüksek Lisans Öğrencisi, MEHMET ERDEM YAŞAR Yüksek Lisans Öğrencisi, RABİA ULUSOY Yüksek Lisans Öğrencisi, SENA DOĞAN
		14	A CONTENT ANALYSIS OF STUDIES ON DIGITAL PARENTING IN THE PRESCHOOL PERIOD	Assist. Prof. Özge CENGİZ

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 08:00 – 10:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Dr. Öğr. Üyesi HATİCE BATMANTAŞ**	1	Çalışan Kadınların İş Gücüne Katılımında Etkili Olan Yasal Düzenlemeler ve Sosyal Güvenlik Uygulamalarının Etkisi	Tuğba Nur ACAR Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Selim KAYMAZ
		2	HEDEF PAZARIN BELİRLENMESİNDE BİR YÖNTEM OLAN ITC TRADE MAP İLE 210390 GTİP ÜZERİNE ARAŞTIRMA	Rabia ŞENKUZU Prof. Dr. Halil ERDEMİR
		3	YEREL MEDYA VE KURUMSALLAŞMA: SİVAS ÖRNEĞİNDE BİR ARAŞTIRMA	Yüksek Lisans Öğrencisi Bilal HASDEMİR Doç. Dr. Sait BARDAKÇI
		4	Bayesian Structural Equation Model: Default Priors for Small Sample Sizes	Asst. Prof. Dr. Murat YILDIRIM
		5	ENVIRONMENTAL IMPACTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A SYSTEMATIC REVIEW	Ezgi MEŞE Prof. Dr. Munise SEÇKİN KAPUCU
		6	EVALUATION OF THE USE POTENTIAL OF VERTICAL FARMING SYSTEMS IN URBAN LANDSCAPE DESIGN	Ömer ŞENKAYA Dr. Öğretim Üyesi Meltem GÜNEŞ TİGEN
		7	THE IMPACT OF LANDSCAPE DESIGN ON SOCIAL INTERACTION IN UNIVERSITY CAMPUSES: THE CASE OF TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL UNIVERSITY	Dr. Öğretim Üyesi Meltem GÜNEŞ TİGEN
		8	A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF THE CONCEPT OF RELATIONSHIP MARKETING IN THE TELECOMMUNICATIONS SECTOR USING VOSVIEWER	Phoebe Grace NANA
		9	IT SERVİS YÖNETİMİ SÜREÇLERİNİN SÜREÇ MADENCİLİĞİ İLE ANALİZİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ: OLAY YÖNETİMİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA	Dr. Fettah KURTULUŞ
		10	SUSTAINABILITY IN THE INTERNATIONALIZATION PROCESS OF BUSINESSES: A SCIENTIFIC MAPPING-BASED EXAMINATION	Dr. Öğr. Üyesi, İLKNUR TANRIVERDİ
		11	İŞ DÜNYASINDA YETENEK AÇIĞI, ÜNİVERSİTE–SANAYİ İŞ BİRLİĞİ VE YEŞİL DÖNÜŞÜM: TİCARET ODASI VE OSB YÖNETİCİLERİYLE NİTEL BİR İNCELEME	Dr. Öğr. Üyesi HATİCE BATMANTAŞ
		12	FİRMALARIN YEŞİL DÖNÜŞÜM FARKINDALIĞI VE TTO DESTEK ALGISI: İHRACATÇI VE İHRACATÇI OLMAYAN İŞLETMELERLE NİTEL BİR İNCELEME	Dr. Öğr. Üyesi HATİCE BATMANTAŞ

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 08:00 – 10:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	**Doç. Şirin KOÇAK**	1	A STUDY ON ALTERNATIVE HIERARCHY SEARCHES IN COLORBLIND DESIGNERS' CREATIVE PROCESS	Rüya Seray YÖRÜK Prof. Dr. Ali Muhammet BAYRAKTAROĞLU
		2	AN EXAMİNATİON OF IDENTİTY CONSTRUCTİON İN POPULAR CULTURE TEXTS	Master's Student, Semih AYDOĞAN Prof. Dr., Ali Muhammet BAYRAKTAROĞLU
		3	AN EXAMINATION OF THE USE OF DREAM IMAGERY IN COMIC BOOK ILLUSTRATION	Ruken Ezgi Yılmaz Prof. Dr. Ali Muhammet Bayraktaroğlu
		4	FROM FIRING TO BATIK: THE FORMATION OF CRACK TEXTURES IN CERAMICS AND TEXTILES	Doç. Şirin KOÇAK Arş. Gör. Amine Hande TUNCER
		5	A CHRONOLOGICAL OVERVIEW OF THE USE OF COBALT OXIDE IN THE HISTORY OF CERAMIC ART	Doç. Şirin KOÇAK
		6	SERAMİK YÜZEYLERDE EL İZİNİN ANLAMI	Öğr. Gör. Dr., MELİKE NÜKTE DİNÇER
		7	H. R. GİGER'IN BİYOMEKANİK ESTETİĞİ ÜZERİNDEN ALİEN FİLMİNİN MEKANSAL ANALİZİ	Doç. Dr. ÇAĞRI YALÇIN Doç.ELİF ÖZDOĞLAR
		8	CREATİVE PLAY AND INTERİOR SPACE: PEDAGOGİCAL APPROACHES TO DEVELOPMENT-ORİENTED SPATİAL DESİGN	Doç.İSMAİL EMRE KAVUT Doç.ELİF ÖZDOĞLAR Doç. Dr. ÇAĞRI YALÇIN

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 08:00 – 10:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	**Prof. Dr. Veysel EREN Doç. Dr. Soner AKIN**	1	THE RELATIONSHIP BETWEEN INDEPENDENT ADMINISTRATIVE AUTHORITIES AND DEMOCRATIC GOVERNANCE	Prof. Dr.,Fatih KIRIŞIK Doç. Dr., Metin ÖZKARAL Cansel BADEMLİK
		2	RAWLS'S THEORY OF JUSTICE AND RACIAL INJUSTICE	Dr., Özgür BOZAN
		3	GÖÇMEN AKINI ŞOKLARININ SOSYAL POLİTİKA ÇIKTILARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Prof. Dr. Veysel EREN Doç. Dr. Soner AKIN
		4	GÖÇMENLERİN EĞİTİM VE SAĞLIK HİZMETLERİNE ERİŞİMİ	Prof. Dr. Veysel EREN Doç. Dr. Soner AKIN
		5	CONGESTION PRICING IN TURKISH METROPOLITAN CITIES: AN ANALYSIS WITHIN THE FRAMEWORK OF LOCAL FISCAL AUTONOMY AND POWERSHARING	Öğr. Gör. Dr. SETENAY ŞEVİK
		6	PUBLIC LOGISTICS DIGITAL TRANSFORMATION: E-GOVERNMENT APPLICATIONS AND LOGISTICS INTEGRATION	Öğr. Gör. Dr. Merve OĞUZHAN
		7	KAMU YÖNETİMİNDE TOPLUMSAL CİNSİYET EŞİTLİĞİ: AFAD CİNSİYET EŞİTLİĞİ EYLEM PLANINA YÖNELİK DEĞERLENDİRME	Dr. Öğr. Üyesi Ezgi ATALAY Dr. Öğr. Üyesi Galip USTA
		8	GLOBAL CRISIS ACTORS AND THE TRANSFORMATION OF THE NATION-STATE: TURKISH RIGHT-WING POLITICS FROM THE 2009 FINANCIAL CRISIS TO THE PRESENT DAY	Assoc. Prof. Dr. Dilşad TÜRKMENOĞLU KÖSE Assoc. Prof. Dr. Ceren TÜRKMEN
		9	REPRESENTATIONS OF FEMALE INTELLECTUALS IN THE EARLY REPUBLICAN PERIOD: NEZİHE MUHİDDİN'S PERCEPTION OF NATIONALISM	Assoc. Prof. Dr. Dilşad TÜRKMENOĞLU KÖSE Assoc. Prof. Dr. Ceren TÜRKMEN

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 08:00 – 10:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 13	**i Assoc. Prof. Dr. Sibel AYBARÇ MORA**	1	ALGORITHMIC NEUTRALITY AND SOCIAL WELFARE FUNCTIONS IN COLLECTIVE DECISION-MAKING MECHANISMS: A PROCESS-ORIENTED THEORETICAL FRAMEWORK	Öğr. Gör. Dr. Kerem ÇOLAK Prof. Dr. Selçuk KOÇ
		2	THE LIMITS OF RATIONALITY IN ALGORITHMIC DECISION-MAKING PROCESSES: A CONCEPTUAL ANALYSIS FROM MICROECONOMIC THEORY	Öğr. Gör. Dr. Kerem ÇOLAK Prof. Dr. Selçuk KOÇ
		3	THE ROLE OF FINANCIAL GLOBALIZATION AND NUCLEAR ENERGY ON THE ENVIRONMENT IN MINT COUNTRIES	Dr. Öğr. Üyesi Hilal OK ERGÜN Doç. Dr. Tolga ERGÜN Doç. Dr. Yusuf GÜNEYSU
		4	DETERMINANTS OF DIVIDEND POLICY IN THE BANKING SECTOR LISTED ON THE INDONESIAN STOCKS EXCHANGE 2015-2024	Graduate Student, M Alfan Haidar Dhofir Prof. Dr. Serhan GÜRKAN
		5	LONG-RUN RELATIONSHIP BETWEEN BITCOIN AND SELECTED STOCKS: EVIDENCE FROM RALS UNIT ROOT AND COINTEGRATION TESTS	Hüseyin İÇEN Buğra POLAT
		6	İKTİSATÇI BURHAN ULUTAN'IN PERSPEKTİFİNDEN TÜRKİYE'DE DEVLETÇİLİĞİN GELİŞİMİ	Dr. Öğr. Üyesi Bengü Doğangün Yasa
			THE RELATIONSHIP BETWEEN MANUFACTURING INDUSTRY AND LABOR PRODUCTIVITY IN OECD COUNTRIES: A DYNAMIC ANALYSIS OF THE KALDOR-VERDOORN LAW	Dr., ŞEYMA YILMAZ KUŞÇUOĞLU
			ENFLASYON TAHMİNİNDE MAKİNE ÖĞRENMESİ VE DOĞRUSAL MODELLER: LOG (TÜFE) ÜZERİNE BİR KARŞILAŞTIRMA ÇALIŞMASI	Dr. Öğr. Üyesi, Gülhan DENİZ
			DETERMINATION OF THE SIGNIFICANCE LEVELS OF EURO HEALTH CONSUMER INDEX CRITERIA FOR NORTHERN EUROPEAN COUNTRIES BY SYMMETRY POINT OF CRITERION (SPC) METHOD	Dr. Öğr. Üyesi SERDAR YARLIKAŞ
			MEASUREMENT OF THE FOOD SUSTAINABILITY LEVELS OF LOW-INCOME COUNTRIES BY WENSLO-BASED ARAS METHOD	Dr. Öğr. Üyesi SERDAR YARLIKAŞ
		7	OPEC Ülkelerinden Avrupa Birliği Seviyelerine $PM_{2.5}$ Hava Kirliliği Stokastik Yakınsamasının Analizi	Arş. Gör. Dr. Fikriye Ceren BOSTANCI
		8	CLIMATE DAMAGE TAX	Assoc. Prof. Dr. Sibel AYBARÇ MORA

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. Farshad Zandavi**	1	DECODING COGNITIVE PATHWAYS: EXPLORING THE INTRINSIC PROBLEM-SOLVING MECHANICS OF THE HUMAN MIND	Dr. Leila Niyazi
		2	UTOMATED GENERATION OF SCREEN-RECORDED VIDEOS: AN ALGORITHMIC FRAMEWORK FOR DIGITAL CONTENT CREATION	Dr. Farshad Zandavi
		3	ONTOLOGICAL FRAMEWORKS FOR INTELLIGENT MUSIC EDUCATION SYSTEMS: ENHANCING KNOWLEDGE REPRESENTATION AND UTILIZATION	Prof. Dr. Andreas Papadakis, Dr. Nikolaos Chatzis
		4	ENHANCING ENGINEERING EDUCATION IN LABORATORIES USING ACTIVE LEARNING: A COMPREHENSIVE APPROACH FOR STUDENT SKILL DEVELOPMENT	Jun Li, Ying Zhang, Hui Chen
		5	AUTONOMOUS AGENT LEARNING THROUGH CONSTRUCTIVIST PRINCIPLES: A SEQUENTIAL BOTTOM-UP LEARNING FRAMEWORK AND TOOL (CON-LEARN)	Carlos Hernández, Martín López, Sofía Márquez
		6	REVOLUTIONIZING MANUFACTURING LINES WITH DEEP LEARNING: A NEW ERA IN PRODUCT IDENTIFICATION	Assoc. Prof. Dr. Amina Bouzid
		7	ASSESSING THE ECONOMIC IMPACT OF ARTS AND EDUCATION PROGRAMS IN PUBLIC UNIVERSITIES OF KWARA STATE, NIGERIA: A HUMAN CAPITAL APPROACH	Adetunji Ayodele
		8		

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Adebayo Adekunle**	1	EMBRACING INDUSTRY 4.0 WITH AI: OPTIMIZING ASSEMBLY LINE EFFICIENCY USING DEEP LEARNING-BASED PRODUCT IDENTIFICATION	Oluwaseun Adebayo
		2	EVALUATING THE ECONOMIC IMPACT OF HUMANITIES AND EDUCATION PROGRAMS IN PUBLIC UNIVERSITIES OF OSUN STATE: A DISCIPLINE-BASED ASSESSMENT	Adebayo Adekunle Chinonso Okafor
		3	A NEW APPROACH TO E-LEARNING: AN EXAMINATION OF STUDENT ENGAGEMENT WITH VARIOUS DIGITAL LEARNING TOOLS	Assoc. Prof. Dr. John Smith Dr. Emily Brown Dr. William Davis University of Canada
		4	UNVEILING THE HIDDEN STRUGGLE: A QUANTITATIVE EXPLORATION OF ANXIETY PREVALENCE AMONG DYSLEXIC STUDENTS IN HIGHER EDUCATION	C. Barzen Annika Victoria
		5	NAVIGATING THE CHALLENGES OF UNIVERSITY CURRICULUM POLICYMAKING IN BRAZIL: A CASE STUDY OF REFORM AND INNOVATION	Ana Silva Rafael Costa
		6	TRANSFORMATIVE IMPACT OF COLLABORATION: EMPOWERING MIDDLE GRADE EDUCATORS THROUGH A SHARED LEARNING CULTURE	Elena Georgiou, Andreas Papadopoulos, Dimitris Nikolaidis, Maria Vasilaki
		7	EXPLOITING CHATBOTS' POTENTIAL: A VISION FOR THEIR ROLE IN HIGHER EDUCATION	Eleni Papadopoulou, Nikos Georgiou,
		8		

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Kyoko Tominaga**	1	COPYRIGHT SYSTEMS MODELS: STRIKING A BALANCE BETWEEN RIGHTS, INNOVATION, AND ACCESS	O. N. Ivanov
		2	MODERN CHALLENGES IN RUSSIAN SPORTS LAW	Dr. Ivanov Dmitry
		3	ENHANCING THE MODERNIZATION OF THE EUROPEAN COMPETITION NETWORK (ECN)	Dr. Anna Kowalska
		4	WOMEN'S RIGHTS AND CULTURAL AUTONOMY: CHALLENGES IN BALANCING CULTURAL ACCOMMODATION	Assist. Prof. Dr. Ayesha Siddiqui
		5	SOCIAL MOVEMENTS AND THE DIFFUSION OF TACTICS AND REPERTOIRES: ACTIVISTS' NETWORK IN ANTI-GLOBALISM MOVEMENT	Assoc. Prof. Kyoko Tominaga
		6	DISCRIMINATION IN CIVIL SERVICE HIRING: A THREAT TO MERITOCRATIC PRINCIPLES	Wang Hui, Zhang Ming
		7	DEPENDENCY THEORY AND THE UNITED STATES-MIDDLE EAST RELATIONSHIP: A CASE STUDY OF IRAN, SAUDI ARABIA, AND TURKEY	Assoc. Prof. Dr. Mahmoud El-Badawi
		8	SELECTION CRITERIA FOR NATIONAL TEAMS: THEORY AND APPLICATION	Ivan Petrov

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Jihoon Park**	1	THE DESIGN INFLUENCED BY THE ARCHITECTURAL AESTHETICS OF PHRA MAHA CHEDI AT WAT ARUN DURING THE RATTANAKOSIN ERA	Assoc. Prof. Dr. Kritchai Thammasan
		2	COMPARATIVE ANALYSIS OF RELIGIOUS FESTIVAL COSTUMES IN ASEAN COUNTRIES	Somchai Rattanakosin
		3	LOAN GUARANTEE SCHEMES: PUBLIC AND PRIVATE CASE STUDIES	Assoc. Prof. Dr. Simeon Petrov Maciej Kowalski
		4	THE USE OF RHIZOPHORA WOOD IN DESIGNING WALKING STICKS FOR SENIORS	Sanjay Verma Priya Reddy
		5	RHIZOPHORA CHARCOAL: AN ECO-FRIENDLY ALTERNATIVE FOR INNOVATIVE DESIGN APPLICATIONS	Nattawut Srisuk, Thanapong Phattharathit, Kritsana Suwanpichai
		6	FABRIC PRINTING DESIGN: INFLUENCES FROM KOREAN TRADITIONAL ART	Assoc. Prof. Dr. Jihoon Park
		7	"REVEALING THE ECOLOGICAL SPIRIT OF MUEANG THROUGH ENGLISH MATERIALS"	Dr. Nattapong Srisuk Assoc. Prof. Phatchara Chaiwut
		8		

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assoc. Prof. Tereza Dolečková**	1	THE IMPACT OF ECONOMIC FACTORS ON NATIONAL INVESTMENT	Omar El-Mansouri Fatima Al-Hassan
		2	ASSESSMENT OF THE IMPACT OF RURAL WOMEN'S PARTICIPATION IN SUSTAINABLE WATER SUPPLY IN MALI	Fatoumata Sissoko, Aissatou Diakité, Mariam Coulibaly
		3	INTERNAL CONFLICT AND ARMED GROUPS: AN EXAMINATION OF THE ALGERIAN CONTEXT	Dr. Karim Benali, Dr. Nadia Belkacem
		4	LEADERSHIP STRATEGIES IN ADDRESSING EMPLOYEES' COUNTERPRODUCTIVE BEHAVIOR IN THE WORKPLACE	Ahmed Hassan, Sara El-Masry
		5	FINANCIAL STATEMENT FRAUD: THE NEED FOR A PARADIGM SHIFT TO FORENSIC ACCOUNTING	Ifedapo Francis Awolowo
		6	CUSTOMER ADOPTION AND ATTITUDES IN MOBILE BANKING IN SRI LANKA	Dr. Prasansha Kumari
		7	SERVICE EVALUATION OF MILITARY PERSONNEL IN THE ARMY OF POLAND IN RELATION TO BUDGETARY ALLOCATIONS	Assoc. Prof. Karolina Nowak Dr. Andrzej Kowalski
		8	PECULIARITIES OF IMPLEMENTATION OF BRANDING PRINCIPLES	Dr. Leila Kadir, Dr. Arif Turaev,
		9	MARKET SEGMENTATION AND CONJOINT ANALYSIS FOR APPLE FAMILY DESIGN	Dr. Ali Karimzadeh Dr. Fatima Zahra

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assis. Prof. Saowapa Phaithayawat**	1	A SIMILAR APPROACH: TO EMBRACE CLOUD COMPUTING OR STAY TRADITIONAL	Sofia Petrova Ivan Dimitrov
		2	THE IMPACT OF ZHOU ENLAI ON CHINA'S DIPLOMATIC STRATEGIES	Ibrahim C. Yildirim, Ayesha S. Kazmi, Qiang Z. Li
		3	FINGERPRINTS ON BALLISTIC MATERIALS AFTER GUNSHOT IMPACT	Somchai Phongtharuk Apinya Rattanawong
		4	THE EVOLUTION OF DIGITAL LEARNING PLATFORMS IN EDUCATIONAL INTEGRATION	Tanapat Kittipong Somchai Preechawong Apichart Phimphiwat
		5	DISCLOSURE IN THE SOCIAL SPHERE TO REDUCE CONFLICTS BETWEEN CITIZENS AND GOVERNMENTS: A STUDY OF THE MAHAKAN FORTRESS, BANGKOK	Dr. Nattapong Somwong Assoc. Prof. Kritsada Kittiwong
		6	THE POTENTIAL OF DIGITAL TOOLS IN JUNIOR SCHOOL ART LESSONS TO ENHANCE ARTISTIC ABILITY USING TAMAZIGHT FONTS	Dr. Khaled Ben Ali Prof. Amina El-Mansouri
		7	THE CREATIVE DESIGN OF CHILDREN'S PICTURE BOOKS INSPIRED BY AMPHAWA FIREFLIES LEGENDS	Dr. Somchai Rattanapong Prof. Ananya Chansiri Dr. Preecha Jirakosol
		8		

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Najwa Alsayed Omar**	1	WEB CONTENT EXAMINATION OF THE MAJOR TOURIST DESTINATIONS IN ITALY: EVALUATION BY FRENCH TRAVELERS	Dr. Marc Dupont, Elena Bellini
		2	DISABILITY VARIETY MANAGEMENT: A CASE STUDY OF THE BANKING SECTOR IN QATAR	Assoc. Prof. Dr. Laila Al-Thani
		3	ITALIC HANDWRITING IN THE DIGITAL AGE	Michel Lefevre
		4	THE IMPACT OF PARENTAL ENGAGEMENT IN THE DEVELOPMENT OF PRESCHOOL CHILDREN WITH DISABILITIES	Dr. Zhang Wei
		5	THE SIGNIFICANCE OF CONCERNS FOR THE YOUTH IN VOTER DECISION-MAKING: A CASE STUDY AMONG UNIVERSITY STUDENTS IN INDONESIA	Assoc. Prof. Dr. Ayu Pratiwi
		6	THE USE OF ENGLISH IN JAPANESE TRAVEL LITERATURE	Dr. Taro Sato
		7	EXAMINING THE UTILIZATION OF ONLINE METACOGNITIVE READING STRATEGIES BY POSTGRADUATE EFL STUDENTS IN EGYPT	Dr. Omar Sherif Mohamed Youssef
		8	CULTURAL SIGNIFICANCE IN THE DESIGN OF COMMUNITY SOUVENIR PRODUCTS	Assoc. Prof. Dr. Amina El-Khatib

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Prof. DR . Levan Sabauri**	1	IMPACT OF ORGANIZATIONAL DYNAMIC CAPABILITIES ON INNOVATIVE PERFORMANCE	Dr. Ana Pavlic, Ivan Horvat
		2	A MODIFIED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION-BASED NELDER-MEAD ALGORITHM FOR TERM STRUCTURE MODEL CALIBRATION	Nadia Bensaid, Karim Haddadi, Salma El Malki
		3	IMPACT OF FLUCTUATING OIL PRICES ON RENEWABLE ENERGY ADOPTION	Ahmed M. Alharthi
		4	LEAN HEALTHCARE: CHALLENGES AND FACILITATORS IN THE BRAZILIAN CONTEXT	Assis. Prof. Dr. Gabriela Santos, Felipe Costa
		5	IDENTIFICATION OF LEAN IMPLEMENTATION CHALLENGES IN INDIAN INDUSTRIES	Vikram Sharma
		6	PROMOTING REGIONAL GROWTH THROUGH LOCAL PRODUCT DEVELOPMENT AND CUSTOMER EXPERIENCE	Wardana, Ayuningtyas
		7	EXAMINATION OF THE CAUSES BEHIND THE DETERIORATED STANDING OF ENGINEERING COMPANIES DURING THE FINANCIAL CRISIS	Prof. DR . Levan Sabauri

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Assis. Prof. Dr. Shilpi Tyagi,**	1	EDUCATION OF PROCUREMENT SPECIALISTS IN AUSTRIA: A COMPETENCY-DRIVEN APPROACH	Dr. Johann Bauer
		2	DEVELOPING A COMPREHENSIVE AUDIT QUALITY FRAMEWORK FOR EMERGING ECONOMIES	Fatemeh Ranjbar, Parisa Ghodsi, Mehdi Karimi
		3	DETERMINANTS OF PROFITABILITY IN EGYPTIAN PHARMACEUTICAL COMPANIES UNDER THE NEW INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS REGIME	Assis. Prof. Dr. Ahmed Hassan, Sara El-Sayed
		4	DETERMINANTS OF PROFITABILITY IN MOROCCAN PHARMACEUTICAL COMPANIES UNDER THE NEW INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS REGIME	Assis. Prof. Dr. Youssef Benchekroun, Leila El-Mansouri
		5	FACTORS INFLUENCING EARNINGS RESPONSE COEFFICIENT IN EMERGING ECONOMIES	Sara Tavakoli, Parisa Ghanbari
		6	CHALLENGES AND OBSTACLES IN ACCOUNTING INFORMATION SYSTEMS OF KUWAITI COMPANIES	Fatma M Alhajri
		7	STRATEGIC OPTIMIZATION OF SUPPLY CHAINS WITH INTEGRATED RISK AND SUSTAINABILITY OBJECTIVES	Fatimah Al-Bahar, Salem H. Al-Kandari, Omar A. Al-Sabah
		8	EVALUATION OF CORPORATE GOVERNANCE IN NETWORK MARKETING: ETHICS AND CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY PERSPECTIVES	Priya Ramaswamy
		9	EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN FINANCIAL REPORTING TRANSPARENCY AND INVESTMENT EFFICIENCY: EVIDENCE FROM EGYPT	Ahmed Hassan, Mona Khalil

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Assoc. Prof. Dr. Shorena Tsiklauri**	1	EXAMINING ABUSES OF LEGAL POWER WITHIN THE SOCIETY	Lamin J. Fofana Musa K. Diop
		2	SOCIAL STRUCTURES, UNINTENTIONAL RELATIONSHIPS, AND URBAN DISADVANTAGE	Ali Rezaei Sara Maleki Mohammad Jafari
		3	TRANSFER OF EXPERTISE AND TECHNICAL DOCUMENTATION	Dr. Fatima El-Mansouri, Dr. Khalid Al-Farsi, Dr. Samira Jamil
		4	THE IMPACT OF ISLAMIC ART ON TRADITIONAL WEAVING PATTERNS IN OMAN	Fatima Al-Mansoori Aisha Al-Harthy Khalid Al-Shehhi
		5	MANAGING THE INTRICACIES OF COMPLEX SYSTEM DESIGN: MODEL, STRUCTURE, AND CHANGES	Hycham Aboutaleb Bruno Monsuez
		6	UNDERSTANDING EUROPE'S ROLE IN THE AREAS OF FREEDOM, SECURITY, AND JUSTICE AS A GLOBAL PLAYER	Dr. Anna Kowalska, Prof. Piotr Nowak, and Dr. Maria Wisniewska
		7	THE METHODOLOGY OF MIGRATION OUT OF GEORGIA	Nino Kvaratskhelia Tamar Beridze Giorgi Mikeladze Tamar Lomidze
		8	A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF OPEN DATA PLATFORMS AS A DEVELOPING PUBLIC E-GOVERNMENT SERVICE	Jana Nováková, Petr Horák, Marek Dvořák

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	**Assoc. Prof. Nikolas Papadakis**	1	ANALYSIS OF DRIVING CONDITIONS AND MEDIA PREFERENCES FOR DISTRACTION	Hyun-Woo Kim, Ji-Yeon Park
		2	A COMPARATIVE ANALYSIS OF POLITICAL DEFECTION IN SOUTH ASIA	Priya Menon, Rajat Bhattacharya
		3	THE RUSSIAN CONSTITUTIONAL COURT'S APPROACH TO BALANCING RIGHTS AND BANKING SECRECY	Prof. Dr. Ivanova M. Alekseev
		4	PROTECTION AND RECOGNITION OF TRADITIONAL COMMUNITIES IN INDONESIA	Arif Setiawan, Intan Ayu Lestari
		5	DEVELOPING NATIONAL SPACE POLICIES FOR EMERGING SPACEFARING STATES	Adeel Khan, Li Wei
		6	CIVIL RIGHTS IN CONFLICT ZONES UNDER INTERNATIONAL LAW	Assoc. Prof. Nikolas Papadakis
		7	FORENSIC INVESTIGATIONS OF SALIVA EVIDENCE POST-WASHING	Gulnara Tulegenova
		8	OVERCOMING BARRIERS TO ADMITTING DIGITAL EVIDENCE IN COURTS	Dr. Mariana Ribeiro Campos
		9	THE ROLE OF THE EUROPEAN UNION IN SHAPING GLOBAL POLICY	Altin Xhafa
		10	ANTI-CORRUPTION STRATEGIES DURING MIGRATION CRISES IN EUROPE	Todor Stoyanov Dimitrov

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	**Assoc. Prof. Elena Ivanova**	1	ADVOCATING GENDER EQUALITY WITHIN ISLAMIC TRADITION THROUGH CONTEXTUALIST APPROACH	Dr. Amina Hussain Dr. Ahmed Al-Rashid
		2	IMPACT OF ARAB MODERNISM ON EGYPTIAN WOMEN WRITERS IN THE 1950S AND 1960S	Samar El-Fayoumi Tariq El-Mansour Layla Abdallah
		3	HUMAN-ENVIRONMENT INTERACTIONS: AN ETHICAL PERSPECTIVE	Dr. Farhan Yusof Dr. Lina Noviani
		4	SAFEGUARDING HUMAN RIGHTS IN EUROPE: THE ROLE OF LEGISLATIVE BODIES	Assoc. Prof. Elena Ivanova
		5	EFFECTS OF EISENHOWER'S FAREWELL SPEECH: INITIAL AND LONG-TERM IMPACTS	B. van der Meer
		6	PROVIDERS OF HUMAN SECURITY IN FRAGILE STATES UNDER ASYMMETRIC WAR CONDITIONS	Dr. Nour Al-Hussein
		7	DEVELOPING A MULTIDIMENSIONAL FRAMEWORK FOR MEDIA CREDIBILITY ASSESSMENT	Amina Abdel Rahman Ahmed
		8	ANALYZING GENDER DISPARITIES IN ACADEMIC RESEARCH: FUNDING, COLLABORATION, AND PRODUCTIVITY	Dr. Amara Singh Dr. Ibrahim Al-Fadhli
		9	A FRAMEWORK FOR GLOBAL COLLABORATION: BUILDING CULTURAL BRIDGES FOR DEVELOPMENT	Ahmad Rashid, Leila Masoud, Yasir Khan
		10	OBSTACLES TO MARITAL EXPECTATIONS AMONG INDIVIDUALS WITH HEARING IMPAIRMENT: A CASE STUDY IN SINDH, PAKISTAN	Dr. Nadia Farooq, Ayesha Ahmed

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 13	**Assoc. Prof. Imran Khurshid**	1	A MODEL OF COGNITIVE FUNCTIONALITY IN THE CONTEXT OF COMPUTATIONAL ANALYSIS	Dr. Sofia Ivanova
		2	THE SIGNIFICANCE OF LIFE MEANING IN RECOVERING ADDICTS: A PAKISTANI PERSPECTIVE	Saira Tanveer, Tariq Ali
		3	FOSTERING ORGANIZATIONAL JUSTICE IN THE ALLOCATION OF INCENTIVES IN THE PAKISTANI PUBLIC SECTOR	Assoc. Prof. Imran Khurshid
		4	EXAMINING GENDER VARIANCES IN AUTOBIOGRAPHICAL MEMORY AND ADAPTIVE REMEMBERING	Mariam Al-Fahad, Omar Al-Mansouri
		5	CULTURAL ANXIETY AMONG INTERNATIONAL STUDENTS IN KUALA LUMPUR: A CASE STUDY OF STUDENTS' LIFE IMPACT	Rina Masri, Muhammad Arif
		6	RE-VICTIMIZATION OF VICTIMS: A COMPARATIVE STUDY OF TREATMENT MODELS	Dr. Lina Ahmed
		7	USING NARRATIVE THEORY TO EXAMINE THE UNCERTAINTY IN ORGANIZATIONAL TRANSFORMATIONS: INSIGHTS FROM CORPORATE MERGERS	Prof. Dr. Ahmed Hossain
		8	DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A NEW MEASURE OF GROUP BEHAVIOR IN ORGANIZATIONS	Khaled Nasr, Leila Zayed

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 14	**Assis. Prof. Zhang Rui**	1	DYNAMICS OF COLLABORATIVE DECISION-MAKING IN MULTI-AGENT ENVIRONMENTS	Abdirahman Yusuf, Dr. Salma Ahmed
		2	ADVANCING NEURAL NETWORK-BASED CLASSIFICATION OF HEALTH CONDITIONS	Zhang Wei, Liu Fang
		3	RHETORICAL STRATEGIES IN SCIENTIFIC COMMUNICATION: ANALYSIS OF NEUROSCIENCE DISCOURSE	Chen Lijuan, Huang Min
		4	LINGUISTIC AND PRAGMATIC FACTORS IN RULE-BASED REASONING TASKS	Nguyen Thanh Phong, Le Thi Thanh
		5	NEURAL CORRELATES OF LEXICAL PROCESSING IN SYMBOL-BASED LANGUAGES	Sook-Hwa Kim, Jin-Seok Park
		6	ETHICAL AND PRACTICAL CHALLENGES OF DIGITAL TOOLS IN PSYCHOLOGICAL COUNSELING	Liu Wei, Assis. Prof. Zhang Rui
		7	IMPACT OF MATERNAL BEHAVIORS ON CHILDHOOD OBESITY RISKS: A GLOBAL META-ANALYSIS	Chen Yu, Wang Ling
		8	EVALUATING FAMILY-CENTERED APPROACHES TO CHILDHOOD OBESITY INTERVENTIONS	Tariq Al-Mansoor, Aisha Al-Naimi
		9	CULTIVATING PRO-ENVIRONMENTAL ATTITUDES IN ELEMENTARY STUDENTS	Dr. Wei-Ling Zhang, Dr. Hui-Min Fang

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 15	**Amina Rahman**	1	SENSORY AND COGNITIVE INTERACTIONS IN CHILDREN WITH AUTISM: INSIGHTS FROM SAUDI ARABIA	Hala Ibrahim, Omar Khaled
		2	PARENTING STYLES AND THEIR IMPACT ON CHILDREN'S SOCIAL ADAPTATION	Farah Mahbub, Layla Noreen, Hafeez Khan
		3	TEACHERS' AND STUDENTS' PERCEPTIONS OF CLASSROOM ENGAGEMENT AND DISRUPTION	Chen Xiaoling, Wang Jiayi, Huang Yutong
		4	AN IMPROVED FRAMEWORK FOR SENTIMENT ANALYSIS IN PRODUCT REVIEWS	Rahul Sharma, Priya Desai, Sameer Rathi
		5	MONTE CARLO SIMULATIONS FOR ASSESSING RISK-INVESTMENT RELATIONSHIPS	Ahmed Farouk, Khaled Hassan, Amr Said
		6	CONSUMER RIGHTS AND DIGITAL AUCTIONS: A REFORM PROPOSAL	Amina Rahman
		7	DIGITAL PROCUREMENT IN CONSTRUCTION: OVERCOMING CHALLENGES AND MAXIMIZING BENEFITS	Chunhua Zhang, Wei Liu
		8	DIGITAL PROCUREMENT IN CONSTRUCTION: OVERCOMING CHALLENGES AND MAXIMIZING BENEFITS	Chunhua Zhang, Wei Liu
		9	ACHIEVING PERSONALIZED WEB INTELLIGENCE MATURITY IN DIGITAL MARKETING	Dae-Jung Kim

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 16	**Prof. Dr. Adebayo Akintola**	1	OVERCOMING CITIZEN ADOPTION BARRIERS IN E-GOVERNANCE SYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Asha Sharma
		2	OPTIMIZING TAX STRATEGIES THROUGH ADVANCED PRICING METHODS IN GLOBAL MARKETS	Linh Nguyen
		3	AN OPTIMIZATION APPROACH TO INDEX ARBITRAGE STRATEGIES	Zhang Lei, Liu Meng
		4	RISK-BASED SIMULATION FOR CONSTRUCTION BID PRICING	Ahmed Al-Mahmoud, Youssef Al-Rahman, Fatima Al-Zahrani
		5	INTEGRATING TECHNOLOGY INTO LANGUAGE TEACHING: STRATEGIES AND BENEFITS	Prof. Dr. Adebayo Akintola
		6	SUPPORTING RESEARCH STUDENTS THROUGH ENHANCED LEARNING PROGRAMS	Assis.Prof. Nguyen Thi Lan Anh, Dr. Tran Van Binh
		7	LANGUAGE PROFICIENCY AND EDUCATIONAL OUTCOMES IN ENGINEERING STUDENTS	Maria Isabel Santiago, Ramon De La Cruz, Carla Hernandez
		8	RELATIONSHIP BETWEEN STUDENT INVOLVEMENT AND INCIDENTAL VOCABULARY LEARNING IN MULTIMODAL CONTEXTS	Ali Reza Shamsi, Fatemeh Noorani

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 17	**Dr. Samuel K. Obafemi,**	1	DEVELOPING TEACHING STRATEGIES THROUGH CONCEPT CARTOONS: A FRAMEWORK FOR PRE-SERVICE TEACHERS IN PAKISTAN	Aisha Javed, Sana Malik
		2	EFFECTIVENESS OF AN INTEGRATED LEARNING MODEL ON STUDENTS' COGNITIVE AND EMOTIONAL DEVELOPMENT	Dr. Samuel K. Obafemi, Chidi Eze
		3	OVERCOMING TRADITIONAL CONSTRAINTS: A STUDY ON EDUCATIONAL INNOVATION IN KENYA	Abdi Yusuf, Amina Hassan
		4	ENHANCING EDUCATIONAL ACCESS THROUGH QR CODE TECHNOLOGY IN EARLY CHILDHOOD EDUCATION	Lin Mei Wong, Hui Yang
		5	INTEGRATING TECHNOLOGY INTO LANGUAGE LEARNING: AN INTERDISCIPLINARY APPROACH	Wei Zhang, Hua Li
		6	SOCIAL HUBS AS FACILITATORS OF KINSHIP COMMUNICATION	Fatima Bassey, Assoc. Prof. Ibrahim Okechukwu
		7	RELIGION, POLITICS, AND SECURITY IN CENTRAL ASIA	Aigerim Dauletova, Yerzhan Nurlan, Anara Alibek
		8	GENDER AND GAMING BEHAVIOR IN SOCIAL NETWORK GAMES	Minseo Choi, Hyejin Park
		9	BUILDING TRUST IN ELECTRONIC VOTING SYSTEMS	Laila Abou Zeid, Omar Tarek

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 18	**Assoc. Prof. Leonardo Conti**	1	DEVELOPMENT OF A TAILORED FOOTWEAR MODEL FOR OPTIMAL COMFORT USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS	Amira El Khateeb
		2	ECONOMIC IMPACT OF URBAN REGENERATION ON MIXED-USE DEVELOPMENTS IN THE UAE	Fatima Al Marzouqi
		3	POLITICAL ENGAGEMENT AND MEDIA EXPOSURE IN THE KUALA LUMPUR METROPOLITAN AREA	Dr. Nurul Afiqah
		4	URBAN TRANSFORMATIONS IN THE MEDITERRANEAN: A CASE STUDY OF TUNIS	Hanan Bouazizi
		5	STATISTICAL MODELING FOR URBAN ZONING IN SOUTHERN ITALY	Dr. Giovanni Esposito, Assoc. Prof. Leonardo Conti
		6	AGRICULTURAL EFFICIENCY IN BANGLADESH: AN EMPIRICAL ANALYSIS USING DEA	Farida Alam, Rahman Karim, Ayesha Hossain
		7	SUSTAINABILITY STRATEGIES IN SMALL-SCALE HOUSING ENTERPRISES IN INDONESIA	Dian Kusuma, Budi Santoso, Rini Handayani

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 19	**Dr. Sorin Petrescu**	1	MOTIVATIONS FOR ADOPTING ISLAMIC BANKING IN MALAYSIA	Nur Adilah, Farhan Abdullah, Hidayah Shafiq
		2	DYNAMICS OF NEW ENTRANTS IN RUSSIA'S BANKING SECTOR	Andrei Ivanov, Natalia Smirnova
		3	URBAN BURIAL PRACTICES AND LAND MANAGEMENT IN JAKARTA	Siti Rahma, Ahmad Sofyan
		4	PHILOSOPHICAL EVOLUTION OF EMIL CIORAN IN THE EUROPEAN CONTEXT	Elena Popescu, Dr. Sorin Petrescu
		5	DYNAMICS OF SOCIO-SPATIAL STRATEGIC PLANNING IN MULTI-PARADIGM SOCIETIES	Amara Chawla, Devesh Rathi
		6	TECHNOLOGY ADOPTION AND SUPPLY CHAIN INNOVATION AMONG LOGISTICS PROVIDERS IN PENANG	Liang Wei Zhou, Chen Yuhang
		7	ORGANIZATIONAL AND HUMAN FACTORS IN SUPPLY CHAIN COLLABORATION: INSIGHTS FROM THE CASTING INDUSTRY	Eva Korhonen, Mika Vainio
		8	IMPACT OF WEBSITE CHARACTERISTICS ON INITIAL CONSUMER TRUST IN ONLINE RETAILING	Jiaqi Zhang, Meihua Liang
		9	CONTINUOUS IMPROVEMENT THROUGH INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEMS IN ORGANIZATIONAL PRACTICES	Adil Shah, Aisha Khan
		10	CONTINUOUS IMPROVEMENT THROUGH INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEMS IN ORGANIZATIONAL PRACTICES	Adil Shah, Aisha Khan

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 8:30 – 10:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 20	**Assoc. Prof. Dr. Bubpha Makesrithongkum**	1	THE ROLE OF CREDIT IN AGRICULTURAL PRODUCTION EFFICIENCY IN RURAL COMMUNITIES	Fola Adebayo, Kemi Odunsi
		2	THE GLOBAL APPEAL OF FILM INDUSTRIES IN ASIA AND THEIR FACTORS FOR INTERNATIONAL SUCCESS	Amir Khan
		3	THE EVOLUTION OF TRADITIONAL CENTRAL ASIAN THEATRE AND ITS COMPARATIVE STUDY WITH EUROPEAN AND RUSSIAN PERFORMANCE ART	Assis. Prof. Dr. Rina Kuralbayeva
		4	THE CULTURAL AND POLITICAL ROLE OF BORIA PERFORMANCES IN MALAYSIAN SOCIETY	Ismail Ahmad
		5	THE IMPACT OF MEDIA EXPOSURE ON TEENAGER'S MEDIA LITERACY IN THAILAND	Suriya Chaiyaporn
		6	KNOWLEDGE MANAGEMENT AND POWER DISTANCE IN THE DIGITAL AGE OF CUSTOMER SERVICE	Jamil Raza, Dr. Nila Sharma
		7	THE IMPACT OF TRADITIONAL ART FORMS ON CULTURAL UNDERSTANDING AMONG ETHNIC COMMUNITIES :	Zhamilya Boldykova, Assel Berdigulova
		8	UNDERSTANDING THE SUCCESS OF PRESS COUNCILS IN PROMOTING ETHICAL JOURNALISM: A COMPARATIVE STUDY FROM THAILAND	Assoc. Prof. Dr. Bubpha Makesrithongkum

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Uzm.Dr.Hanife Musa**	1	THE IMPORTANCE OF PSYCHOSOCIAL SUPPORT IN THE PROCESSES OF SOCIAL STIGMATISATION AND SOCIAL EXCLUSION OF INDIVIDUALS WITH TOURETTE SYNDROME	Derya ODUNCU ALPAGO Harun CEYLAN
		2	THE IMPACT OF SOCIAL STIGMA ON SUBSTANCE ABUSE TREATMENT PROCESSES: A DOCUMENT REVIEW FROM A SOCIAL SERVICES PERSPECTIVE IN THE TURKİSH CONTEXT	Harun CEYLAN
		3	HAYVANLARA YÖNELİK EMPATİ VE PROSOSYAL DAVRANIŞLAR: ÇOCUKLUK YAŞANTILARI ÜZERİNE BİR İNCELEME	Yüksek Lisans Öğrencisi, Ecem Naz Alper
		4	COMPASSİON ROOTED IN TURKİSH CULTURE AND ITS ROLE IN SUICIDE PREVENTION	Uzm.Dr.Hanife Musa
		5	MERHAMET ÖLÇEĞİ'NİN GELİŞTİRMESİ	Uzm.Dr. Hanife Musa Prof. Dr. Ayşin Satan
		6	ÇOCUKLUK ÇAĞI TRAVMALARI VE YAKIN İLİŞKİLER	Klinik Psikolog BERHU ERDOĞAN UYSAL
			Bilişsel Davranışçı Terapi ile Kaygılı Bağlanmanın Sağaltımı: Olgu Sunumu	Psikolog Şule Köken Doç. Dr. Meryem Karaaziz
			MODERN ÇALIŞMA HAYATINDA TÜKENMİŞLİK SENDROMU VE SESSİZ İSTİFA DAVRANIŞI : KLİNİK PSİKOLOJİ PERSPEKTİFİNDEN SAHA VERİLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Dilan Malgaz Güçlü
			THE RELATİONSHİP BETWEEN PSYCHOLOGİCAL WELL-BEİNG LEVELS AND EXPERİENTİAL AVOİDANCE LEVELS OF ADULT İNDİVİDUALS	Ahmet KARCI Prof. Dr. Seher BALCI ÇELİK
			KEYS TO SUSTAINING ONLINE ROMANTIC RELATIONSHIPS: SELF- DISCLOSURE AND ONLINE ROMANTIC RELATIONSHIP SATISFACTION	Merve ÇİFTÇİ Prof. Dr. Şerife Gonca ZEREN
		7	MINDFULNESS IN MARRIAGE: COULD BODY IMAGE AND THE AFFINITY OF SOCIAL MEDIA BE INFLUENTIAL?	Ayçin Şeyma GAYTAN Prof. Dr. Şerife Gonca ZEREN
		8	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNDE AKADEMİK ERTELEME DAVRANIŞININ UYKU KALİTESİ VE KAYGI İLE İLİŞKİSİ	Musab Yiğit YETKİNAĞAÇ Dr. Öğr. Üyesi Müne AKTAY

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Öğr. Gör. Dr. Yasemin ÇAKIR**	1	THE IMPACT OF SOCIAL MEDIA ON IDENTITY CONSTRUCTION: THE CASE OF INSTAGRAM	RUKİYE DİLBAZ
		2	GÖÇMEN NÜFUSU VE İŞGÜCÜ PİYASASI KIRILGANLIĞI: KAYIT DIŞI İSTİHDAM, ÜCRET BASKISI VE SOSYAL POLİTİKA SONUÇLARI ÜZERİNE AÇIK VERİ TABANLI BİR İNCELEME	Prof. Dr. Mehmet DURUEL Mehmet MUTLU
		3	AN EVALUATION OF GRADUATE THESES WRITTEN IN TURKIYE ON HEALTH INEQUALITIES WITHIN THE CONTEXT OF HEALTH SOCIOLOGY	Dr. Öğr. Üyesi Enes KAYA Öğr. Gör. Dr. Zeynep ATA Dr. Öğr. Üyesi Nazmiye EKİNCİ
		4	GEÇMİŞİN GÖLGESİNDE GRUPLAR ARASI İLİŞKİLER: KOLEKTİF MAĞDURİYET İNANCI VE SOSYAL KİMLİK SÜREÇLERİ	Öğr. Gör. Dr. Yasemin ÇAKIR
		5	GRUPLAR ARASI TEMASTA DUYGUSAL REGÜLASYONUN ROLÜ: GRUP TEMELLİ DUYGULAR VE KALIPYARGI DEĞİŞİMİ	Öğr. Gör. Dr. Yasemin ÇAKIR
		6	A FEMINIST CRITIQUE OF PUBLIC SPACE: RETHINKING THIRD PLACES AS SITES OF VISIBILITY AND RESISTANCE	Ahsen ILHAN Assoc. Prof. Dr. Sebla ARIN ENSARIOGLU
		7	HUKUK YOLUYLA OTORİTERLEŞME: MACARİSTAN ÖRNEĞİ	Araş. Gör. Dr. İlteriş ERGUN
		8	ROGER SCRUTON'UN ESERLERİNDE MİLLET VE MİLLİYETÇİLİK	Araş. Gör. Dr. İlteriş ERGUN
		9	IT'S NOT JUST THE FAULT LINES THAT ARE BROKEN: THE SILENT MAP OF MIGRATION	Yüksek Lisans Öğrencisi, Güler SARIKAYA Prof. Dr. Ersin Kaya Sandal.
		10	NİTELİKLİ EMEK GÖÇÜNDE CİNSİYET DİNAMİKLERİ: TÜRKİYE'NİN BÜYÜKŞEHİRLERİNDEN PANEL VERİ BULGULARI (2016–2023)	Prof. Dr. HİLAL YILDIZ Doç. Dr. DERYA DEMİRDİZEN ÇEVİK
		11	SOCIOLOGICAL ANALYSIS OF THE MOVIE "STONE SORAYA" IN THE CONTEXT OF GENDER INEQUALITIES	Dr., Ayşegül DÜZGEL
		12	SPINOZA'S CONCEPT OF CONATUS IN THE CONTEXT OF REFUGEE RIGHTS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS	Doktora Öğrencisi, Aslı Kaprol

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Dr. Zülkif YALÇIN**	1	THE NEW ERA IN IRAN - CHINA RELATIONS: FROM PRAGMATIC COLLABORATION TO STRATEGIC PARTNERSHIP	Nuriye TÜRK
		2	FOOD OR WEAPON? THE ROLE OF FOOD IN WAR STRATEGIES	MELİKE ÜNAL
		3	POLAND'S CYBERSECURITY POLICY AND EU ALIGNMENT	Doç. Dr., Önder Aytaç AFŞAR Beyza Nur ER
		4	GLOBAL FLOWS AND CULTURAL IDENTITIES: THE LIMITS OF HOMOGENIZATION	Doç. Dr. Demet Şefika MANGIR
		5	THE ROLE OF WOMEN IN PEACE AND CLIMATE DIPLOMACY IN KYRGYZSTAN	Dr. Ersoy Yılmaz DİNİZ Dilara Cansın KEÇİALAN
		6	ANTI-ISRAEL PROPAGANDA: NETANYAHU'S REPRESENTATION	Dr. Öğr. Üyesi, Mehmet Ozan GÜLADA
		7	THE ELECTION PROPAGANDA IN THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA DURING THE MAO ERA	Dr. Öğr. Üyesi, Mehmet Ozan GÜLADA
			THE TRANSFORMATION OF TURKEY-EU TRADE RELATIONS WITHIN THE AXIS OF THE EUROPEAN GREEN DEAL AND NEXT-GENERATION PRODUCT STANDARDS	Lecturer Tülay ÖLMEZ
			A STUDY ON AUDITING IN INTERNATIONAL COMPANIES	Assoc. Prof. Dr. Zülkif YALÇIN
			FINANCIAL INFORMATION MANIPULATION AND ITS RELATIONSHIP TO ACCOUNTING	Assoc. Prof. Dr. Zülkif YALÇIN
		8		

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Arş. Gör. Dr. Kağan KIRCABURUN**	1	AN EXAMINATION OF THE ERRORS IN PROBLEM SOLVING REQUIRING EQUATION FORMULATION BY 7TH GRADE STUDENTS	Sinay AYGÜN Prof. Dr. Hasan ÜNAL
		2	YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ ÖĞRENME ORTAMLARININ MATEMATİK EĞİTİMİNDEKİ ROLÜ: OLANAKLAR VE SINIRLILIKLAR	Dr. Öğr. Üyesi Emrullah Yiğit Yüksek lisans öğrencisi, Nurcan Kuşut
		3	EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN BIG FIVE PERSONALITY TRAITS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE LITERACY AMONG FACULTY OF EDUCATION STUDENTS	Arş. Gör. Dr. Kağan KIRCABURUN
		4	MODELING NONLINEAR RELATIONSHIPS IN EDUCATIONAL RESEARCH: A STEP-BY-STEP R TUTORIAL ON GENERALIZED ADDITIVE MODELS	Lect. Hüseyin ATASEVEN Dr. Okan DEDE Prof. Dr. Ömay ÇOKLUK BÖKEOĞLU
		5	HOW ACCREDITATION SHAPES ASSESSMENT PRACTICES IN TEACHER EDUCATION: A SWOT ANALYSIS OF STUDENT EXPERIENCES	Prof. Dr. Ömay ÇOKLUK BÖKEOĞLU Dr. Okan DEDE Lect. Hüseyin ATASEVEN
		6	DISCOVERING CHILDREN'S BOOKS THROUGH CREATIVE DRAMA: THE EXAMPLE OF ÇÖZÜM BAKANLIĞI	Figen AYTEMÜR Ayşegül YILDIRIM Prof. Dr. Serap UZUNER YURT
		7	Integrated STEM Activity Example for Life in the Arctic – Icebreaker Ship	Graduate Student ÖZGE BEYENAL Dr. Assistant Professor FERİDE GÖK ÇOLAK
			AN ANALYSIS OF THE RELIABILITY, EFFICIENCY, AND EFFECTIVENESS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED AUTOMATED SCORING SYSTEMS	Tuba POLAT Doç. İbrahim YILDIRIM
			İLKOKUL BİRİNCİ SINIF ÖĞRENCİLERİNİN İLKOKUMA YAZMA ÖĞRENME SÜRECİNE YÖNELİK VELİLERİN METAFOR ALGILARI	Yüksek Lisans Öğrencisi ÖZGENUR ÇİFTÇİ
			MATEMATİK EĞİTİMİNDE PROGRAM DÖNÜŞÜMÜ: 2018 PROGRAMI İLE TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ'NİN ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİ IŞIĞINDA İNCELENMESİ	Öğretmen, ÖZGE GÜLEROĞLU Dr. Öğr. Üyesi, BELMA TÜRKER BİBER
			OKUL MÜDÜRLERİNİN DÖNÜŞÜMCÜ LİDERLİK ÖZELLİKLERİ İLE ÖĞRETMENLERİN ÖRGÜTSEL SESSİZLİĞİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	Şaban PALA
		8	OKUL YÖNETİCİLERİNİN ÖRGÜTSEL ADALET VE GÜÇ KULLANIMININ ÖĞRETMENLERİN ÖRGÜTSEL GÜVEN VE BAĞLILIK DÜZEYLERİNE ETKİSİNE YÖNELİK ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİNİN İNCELENMESİ	Leyla ÇİÇEK ALTIN Prof. Dr. Ahmet ÜSTÜN

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Pr., Dr. Hajar Huseynova**	1	THE PHENOMENON OF DREAM-BASED SELECTION IN THE MANASCHI TRADITION	Master's student Alina SHAMUDINOVA
		2	Turkic Language Contacts: Historical and Modern Aspects	Pr., Dr. Hajar Huseynova
		3	A1 DÜZEYİ ALMANCA EĞİTİMİNDE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ BÖLÜM ODAKLI KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ SÖZLÜK TASARIMI	Öğr. Gör. Dr. AİŞE SEZİK
		4	MITOS İLE LOGOS'UN ÖTESİNDE: HERAKLEITOS'TA METAFİZİK ÖNCESİ BİRLİK DÜŞÜNCESİ	Dr, Zübeyir USTABAŞI
		5	OTANTİKLİĞİN İMKÂNI: HEIDEGGER'DE DASEIN VE DERRIDACI BİR OKUMA	Dr, Zübeyir USTABAŞI
		6	THE IMPACT OF ANCIENT GREEK LEGACY ON THE ISLAMIC POLITICAL THOUGHT: AL-FÂRÂBÎ AND AVICENNA	Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Fırat ŞENOL
		7	MODERN BİR DİNİ HAREKET OLARAK C3 KİLİSESİ: KURUMSAL VE TEOLOJİK BİR ANALİZ	Enbiye Mahbube DİNLER
		8	STATE AS THE SOVEREIGNTY OF GOD IN MEDIVAL POLITICAL THOUGHT: AUGUSTINE AND *THE CITY OF GOD*	Doç. Dr. Hüseyin Fırat ŞENOL
		9	AN ANALYSIS OF IDIOMS CONTAINING THE WORD "EYE" IN THE ARABIC TRANSLATION OF AHMET ÜMİT'S NOVEL ''ISTANBUL HATIRASI'' WITHIN THE FRAMEWORK OF EQUIVALENCE	Hasan Basri İNCE
		10	CLIL IN PRACTICE: AN OVERVIEW WITH SAMPLE LESSONS	MA Student, PINAR TABAR Prof. Dr. Ceylan YANGIN ERSANLI

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Asst. Prof., Begüm İLBAY VATAN**	1	A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF THE ORGANIC FERTILIZER ECONOMICS LITERATURE: A VOSVIEWER-BASED STUDY	Dr. Öğr. Üyesi Mürşide Çağla ÖRMECİ KART Prof. Dr. Hakan ADANACIOĞLU
		2	INNOVATIVE FLAVORS AND CONSUMER BEHAVIOR: THE CASE OF DUBAI CHOCOLATE	Damla ARTIKASLAN Prof. Dr. Hakan ADANACIOĞLU
		3	AN EXAMINATION OF THE DIGITAL TRANSFORMATION İN THE FIELD OF GASTRONOMY WITHIN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0.	Doç. Dr. Gizem Sultan KAMAN Doç. Dr. Rabia BÖLÜKBAŞ
		4	A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN FOOD AND IDENTITY	Doç. Dr. Gizem Sultan KAMAN Doç. Dr. Rabia BÖLÜKBAŞ
		5	STANDARDIZATION OF APPLIED GASTRONOMY EDUCATION IN TÜRKİYE: CURRENT STATE AND EVALUATIONS	Asst. Prof., Begüm İLBAY VATAN
		6	GASTRONOMİC EVALUATİON OF FOODS NEARLY FORGETTEN İN ORDU CUİSİNE	Tezli Yüksek Lisans Öğrencisi, İREM HASGÜL BOZKURT Doç. Dr. ZEHRA DİLİSTAN SHİPMAN
		7	Üniversite Müzik Yarışmalarının Öğrenci Deneyimine Etkisi: Gazi Üniversitesi'ndeki Altı Yarışmadan Elde Edilen Bulgular ve DPÜ'de Yeniden Düzenlenecek Yarışma İçin Bir Model Önerisi	Mert Testere
		8	Tiyatro ve Yaratıcı Dramanın Sosyal Beceri ve Rekreasyon Üzerindeki Etkisi: Kütahya Halk Eğitimi Merkezi Örneği	Mert Testere
		9	SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIM BAĞLAMINDA MİLLİ PARK ERİŞİLEBİLİRLİĞİ: BOTAN VADİSİ ÖRNEĞİNDE ÖZEL ARAÇ BAĞIMLILIĞININ NİCEL ANALİZİ	Murat Gönültaş Doç. Dr. Zafer Başkaya
		10	THE ROLE OF GASTRONOMY IN OVERTOURISM: THE RELATIONSHIP BETWEEN GASTRONOMIC EXPERIENCE, URBAN TRANSFORMATION, AND GENTRIFICATION – THE CASE OF BARCELONA	Dr. Öğr. Üyesi Mehtap YÜCEL GÜNGÖR

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Doç. Dr.HALE EDA AKDURU**	1	BİGA OSB FİRMALARINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE DOSTU YATIRIMLAR: YEŞİL FİNANSMAN PERSPEKTİFİNDEN BİR FARKINDALIK ARAŞTIRMASI	Zeynep Gülsüm ÇARBUĞA Doç. Dr. ESRA ATABAY
		2	YAPAY ZEKÂ ARAÇLARININ (CHATGPT, GEMiNi, COPiLOT-BiNG) MUHASEBE EĞiTiMiNDEKi PERFORMANSLARININ KARŞıLAŞTıRMASI	Esma TORŞİN Doç. Dr. ESRA ATABAY
		3	REFLECTIONS OF DECEPTIVE AND MISLEADING ADVERTISEMENTS ON CONSUMER-CUSTOMER BEHAVIORS	Ass. Prof. Dr. Ahmet AYDIN
		4	COORDINATION FUNCION IN VIRTUAL ORGANIZATIONS	Doç. Dr.HALE EDA AKDURU
		5	TÜKETİCİLERİN MOBİLYA SATIN ALMA NİYETİNİN DEMOGRAFİK ÖZELLİKLER AÇISINDAN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Sevilay KOÇ Doç. Dr. Sait BARDAKÇI
		6	DATA MINING METHODS IN CUSTOMER FEEDBACK MANAGEMENT: A SYSTEMATIC REVIEW	Dr. Öğr. Üyesi M. Çağrı AKSU Yüksek Lisans Öğrencisi, Cemre SAĞLAM
		7	TERSİNE LOJİSTİK FAALİYETLERİNİN İŞLETME PERFORMANSI İLE İLİŞKİSİNİN ANALİZİ	Mehmet Ali YAMAK
			FROM PERCEPTION MANAGEMENT TO STRATEGIC RISK: GREENWASHING AND MANAGERIAL DECOUPLING IN SUSTAINABILITY MANAGEMENT	Asst. Prof. Dr. Derya YÜCEL Prof. Dr. Rahmi YÜCEL
			GREEN TRANSFORMATION IN HUMAN RESOURCE MANAGEMENT: GREEN COLLAR EMPLOYMENT AND MANAGERIAL CHALLENGES	Asst. Prof. Dr. Derya YÜCEL
			THE MEDIATING ROLE OF INNOVATION CAPABILITY IN THE EFFECT OF DIGITAL TRANSFORMATION ON FIRM PERFORMANCE	Yüksek Lisans Öğrencisi, Selami KOLCU Doç. Dr. Serhat ERAT Prof. Dr. Salih Zeki İMAMOĞLU
			A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INTERNATIONAL BUSINESS	Doç. Dr. Emel FAİZ Öğr. Gör. Dr. Gamze ULUDAĞ
		8	CHOOSING A BEEKEEPING PLACE IN MUĞLA WITH AHP METHOD	Aysel ŞENAY, Prof.Dr. Mine ŞENEL,
			MEASURING THE LEVEL OF INSTITUTIONALIZATION: AN EXAMPLE OF A PUBLIC UNIVERSITY	Ahmet YILMAZ, Prof.Dr. Mine ŞENEL,

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Res. Asst. Elanur Ekici**	1	HARMONİKLİ SİSTEMDE ÇALIŞMAYA UYGUN DÖKME REÇİNELİ KURU TİP TRAFO	HALİME BOZ
		2	YÜKSEK ORTAM SICAKLIĞINDA ÇALIŞMA ŞARTLARINA UYGUN 8(10) MVA 115/6.3 kV GÜÇ TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI, PROTOTİP ÜRETİMİ & TESTLERİ	Elektrik-Elektronik Mühendisi, MELİK SELÇUK
		3	ŞEBEKEDEN GELEN ELEKTRİKSEL TEHLİKELERİ İZOLE EDEN 14 MVA 33/33 KV GÜÇ TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI, PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ	Deniz Utku SÜZER
		4	TRANSFORMATÖRLERDE ALÇAK GERİLİM İZOLATÖRLERİNDE KIRILMA VE YAĞ KAÇAKLARINI ÖNLEMEK İÇİN BARA BAĞLANTILARINDA STRİP FOLYO KULLANIMI UYGULAMASI	Ender SUNAL
		5	5000 kVA 30/0,8-0,8 kV 3 SARGILI GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNE UYGUN TRANSFORMATÖRÜN TASARIMI, PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ	Ali SARTAK
		6	AI-ENHANCED CONTROL TECHNIQUES FOR POWER ELECTRONICS CONVERTERS: RECENT ADVANCES AND FUTURE PERSPECTIVES	Res. Asst. Elanur Ekici
		7	THE ROLE OF FPV SYSTEMS INSTALLED ON WATER SURFACES IN THE GLOBAL ENERGY TRANSFORMATION AND THE ECOSYSTEM DIMENSION	Lecturer, OSMAN ÖZDEMİR Lecturer Dr., MERVE ALADAĞ
			TECHNOLOGIES AND EFFICIENCY USED IN ELECTRICITY GENERATION FROM MUNICIPAL SOLID WASTE	Lecturer Dr., MERVE ALADAĞ Lecturer, OSMAN ÖZDEMİR
			FARKLI HAVA GEÇİRGENLİĞİNE SAHİP KUMAŞLARIN AKUSTİK ÖZELLİĞE ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Mrs. KADRİYE KUTLAY Mrs. NEJLA DEĞİRMENCİ
			YÜKSEK DAYANIMA SAHİP İNCE ÇORAP TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ	Sevda KÖKSAL DABAN
			A WIND ENERGY–BASED 100% RENEWABLE ELECTRICITY SCENARIO FOR A UNIVERSITY CAMPUS: A WEIBULL AND RAYLEIGH DISTRIBUTION	Assist. Prof. Dr. Derya Betul UNSAL
		8	APPROACH USING REAL CONSUMPTION DATA A COMPARATIVE APPLICATION OF OPTIMIZATION-ASSISTED ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN PV POWER GENERATION FORECASTING	Metin YILMAZ Assist. Prof. Dr. Derya Betul UNSAL

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Dr. Öğr. Üyesi, Mahmut DURMAZ**	1	APPLICATIONS FOR INCREASING EARTHQUAKE RESISTANCE IN REINFORCED CONCRETE COLUMNS	Dr. Öğr. Üyesi, Mahmut DURMAZ
		2	PRACTICAL APPROACHES TO REINFORCED CONCRETE BEAMS AGAINST EARTHQUAKE RISK	Dr. Öğr. Üyesi, MAHMUT DURMAZ Lisans Öğrencisi, AAMAL GHAZAL
		3	EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF NON-LOAD-BEARING WALLS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER SEISMIC EFFECTS	İnşşat Müh. Abdulcebbar KASIRGA Prof. Dr. Emre ERCAN Arş.Gör. Muhammed Serdar AVCI Prof. Dr. Bengi ARISOY
		4	SEISMIC PERFORMANCE ASSESSMENT OF AN ILLEGAL STORY ADDED MASONRY HOUSE	Dr. Öğr. Üyesi Alper ÖZMEN
		5	PASTERNAK ZEMİNİ ÜZERİNDEKİ TİMOSHENKO KİRİŞLERİNİN TİTREŞİM VE BURKULMA ANALİZİ	İnşaat Mühendisi, Filiz ÇETİNKAYA Dr. Öğr. Üyesi Gökhan GÜÇLÜ Doç. Dr. Uğur KAFKAS
		6	VİSKOZ AKIŞLI SÖNÜMLEYİCİLERİN KULLANILDIĞI BETONARME ÇERÇEVELERİN DEPREM PERFORMANSININ ANALİTİK İNCELENMESİ	ŞENOL KORKMAZ Dr. MURAT SERDAR KIRÇIL
		7	BİGA YARIMADASINDA YER ALAN YAPISAL UNSURLARIN LANDSAT8-OLI UYDU GÖRÜNTÜSÜ İLE ÇİZGİSELLİK ANALİZİ	Dr. Erdem GÜNDOĞDU
		8	MADENCİLİK VE MADEN ÇIKARMA BÖLÜMÜ ÖĞRENCİLERİNİN, İŞLETMEDE MESLEKİ EĞİTİM (3+1) KAPSAMINDA İŞ BAŞI EĞİTİMİ YAPABİLECEĞİ KAMU KURUMLARIN COĞRAFİK DAĞILIMI	Dr. Erdem GÜNDOĞDU
		9	IDENTFYING THE LEGAL MULTIPLIER EFFECT IN CONSTRUCTION DISPUTES: AN ANALYTICAL FRAMEWORK SSUPPORTED BY AI-BASED TEXT ANALYSIS	HASAN EFEKAN BİLEN Assoc.Prof. ONUR BEHZAT TOKDEMİR

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS
December 30, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

30 Aralık / Dec 30, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Prof.Dr. Arzu Altın Yavuz Doç.Dr. H. Serhan Yavuz**	1	ANALYSİS OF SPATİAL COMPLEXİTY BEFORE AND AFTER URBAN TRANSFORMATİON USİNG THE METRİC ENTROPY METHOD	FEYZA SENA GÜLMEZ Doç. Dr. SERDAR BİLGİ
		2	GENERATING NEW CHAOTIC MAPS VIA TOPOLOGICAL CONJUGACY USING LOGISTIC AND TENT MAPS	İsmail Alper GÜVEY Rüstemcan MARTİN Emre DAYANÇ
		3	NUMERICAL APPROACH FOR A FRACTIONAL MATHEMATICAL MODEL OF CANCER CELL POPULATION	Asst. Prof. Dr. Suleyman CETINKAYA Prof. Dr. Ali DEMIR
		4	ANALYSIS OF LINEAR SYSTEMS OF FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATIONS THROUGH A HYBRID METHOD	Asst. Prof. Dr. Suleyman CETINKAYA Prof. Dr. Ali DEMIR
		5	Analysis of General-Order Cross-Correlation Functions in Fluctuating Nakagami-m and α-Fluctuating Nakagami-m Fading Channels	Öğr. Gör. Meryem TAŞER
		6	STURM-LİOUVİLLE TİPİ SINIR DEĞER ARAYÜZ PROBLEMİ İÇİN RAYLEİGH ORANI	Doç. Dr. HAYATİ OLĞAR Prof. Dr. KADRİYE AYDEMİR Prof. Dr. OKTAY MUHTAROĞLU
		7	ORMAN TOPRAKLARINDA TOPRAK ORGANİK KARBONUNUN BELİRLEYİCİLERİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ YAKLAŞIMLARI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	Prof.Dr. Arzu Altın Yavuz Doç.Dr. H. Serhan Yavuz
			TOPRAK TİPİ SINIFLANDIRMASINDA MAKİNE ÖĞRENME YÖNTEMLERİ	Prof.Dr. Arzu Altın Yavuz Doç.Dr. H. Serhan Yavuz

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS
December 30, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

30 Aralık / Dec 30, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	**Assoc. Prof. Dr. Emine YURTERİ**	1	Using a Spearman's Rank Correlation Coefficient in Evaporation and Humidity	Jibrin S., Yasin A. Nuhu, Jamilu Adamu, Ahmad S. Said Sulaiman B. Adam
		2	A Comparative Analysis of Quantitative Variables in the Pearson, Spearman Rank and Kendall Tau Correlation Coefficient	Jibrin S., Yasin A. Nuhu, Jamilu Adamu, Ahmad S. Said Abubakar A. Shuaibu
		3	DİVERSİTY, ETHNOBOTANİCAL USES, AND ESSENTİAL OİL PROFİLES OF THYMUS SPECİES İN THE BAFRA REGİON OF NORTHERN TÜRKİYE: A COMPREHENSİVE REVİEW	Assoc. Prof. Dr. Emine YURTERİ Havva CAN
		4	DİSTRİBUTİON OF SALEP ORCHİDS (ORCHİDACEAE) İN THE SAMSUN–BAFRA REGİON AND THE ECOLOGİCAL, ECONOMİC, AND CHEMİCAL CONSEQUENCES OF WİLD HARVESTİNG	Assoc. Prof. Dr. Emine YURTERİ Havva CAN
		5	METHODS FOR DETERMINING THE AMOUNT OF MINIMUM WATER FLOW TO REGULATORS IN WATERSHEDS	Meteorological Engineer Özden ERTÜRK GAZEL Prof. Dr. Alper Serdar ANLI
		6	USING SOLAR ENERGY IN INTEGRATED WATER MANAGEMENT	Civil Engineer Kamer Ali KORKMAZ Prof. Dr. Alper Serdar ANLI
		7	VAN İLİNDE SAANEN KEÇİSİ YETİŞTİRİCİLİĞİ YAPAN MEVCUT İKİ İŞLETMEDE BAZI HAYVAN BESLEME VE YETİŞTİRME UYGULAMALARI İLE İŞLETME SAHİPLERİNİN DEMOGRAFİK ÖZELLİKLERİNE İLİŞKİN DURUM TESPİTİ	Doç. Dr. Cemal BUDAĞ Dr.Öğr. Üyesi Ayşe Özge DEMİR Abdulhamit AÇAR
		8	INSECT PESTS AND PLANT-PARASITIC NEMATODE SPECIES AFFECTING ALMOND TREES	Assoc. Prof Dr. Doğancan KAHYA Assoc. Prof Dr. Refik BOZBUĞA
		9	INSECT PESTS AND PLANT-PARASITIC NEMATODE SPECIES IN LENTIL FIELDS	Assoc. Prof Dr. Doğancan KAHYA Assoc. Prof Dr. Refik BOZBUĞA

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	**Prof. Dr. Şengül DEMİREL**	1	BUDİZM VE TASAVVUFTA AHLAK ANLAYIŞI: KARŞILAŞTIRMALI BİR DEĞERLENDİRME	Prof. Dr. Şengül DEMİREL
		2	TAC MAHAL: MÜMTAZ MAHAL'İN HATIRASI	Prof. Dr., ŞENGÜL DEMİREL
		3	ELMALILI MUHAMMED HAMDİ YAZIR'S APPROACH TO THE MİRACLE OF THE SPLİTTİNG OF THE MOON	Dr. Ayşe Kocabaş
		4	MEHMET ÂKİF'İN MANZUM DÜNYASINDA KUR'ÂNÎ SÖYLEM: HAKKIN SESLERİ'NDEN BİR ÖRNEK	Dr. Samet HEKİMOĞLU
		5	KEMALPAŞAZÂDE'S CLASSIFICATION OF THE JURİSTİC RANK AND ITS EVALUATİON	Muhammet DEMİRTAŞ
		6	DEATH AND AFTERLIFE ON SCREEN: AN EVALUATION OF AFTERLIFE REPRESENTATIONS IN MODERN CINEMA FROM THE PERSPECTIVE OF PHILOSOPHY OF RELIGION	Dr. Ülkü KOÇAK
		7	AN EXAMINATION OF POETIC THEMES İN THE ISLAMIC PERIOD İN THE CONTEXT OF THE POEMS OF HZ. FATIMA AND HZ. ALI	Yüksek Lisans Öğrencisi, KÜBRA SALDIZ
		8	THE CONCEPT OF "MUJĀB AL-DA'WA" IN HADITH BIOGRAPHICAL LITERATURE	Assoc. Prof. Dr. Serkan Çelikan
		9		

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. Adriana Ávila Zúñiga Nordfjeld**	1	THE IMPACT OF BIO-ECOLOGICAL FACTORS ON PREGNANT WOMEN'S RISK AWARENESS AND SUBSTANCE USE IN SOUTH AFRICA	Mutshinye Manguvhewa, Maria Florence, Mansoo Yu
		2	EXPLORING HUMAN BIAS IN QUALITY MANAGEMENT AND LEAN THEORIES WITHIN THE SHIPBUILDING INDUSTRY	Prof. Dr. Adriana Ávila Zúñiga Nordfjeld
		3	THE EFFECTIVENESS OF SPECIFIC MOBILITY EXERCISES IN IMPROVING PSYCHOMOTOR AND FUNCTIONAL ABILITIES IN INTELLECTUALLY DISABLED CHILDREN	Assist. Prof. J. Samuel Jesudoss
		4	THE IMPACT OF PERSONALITY TRAITS AND LONELINESS ON LIFE SATISFACTION: EXPLORING THE MEDIATING ROLE OF ONLINE FLOW EXPERIENCES	Nina Petrova, Oliver J. Kleiner, Lukas H. Meyer
		5	CAREER GUIDANCE FOR UNIVERSITY FRESHMEN: EXPLORING THE ROLE OF PERSONALITY AND ONLINE FLOW EXPERIENCES	Ming Liu, Jiawen Zhang, Zhiwen Chen
		6	UNDERSTANDING HATE SCHEMAS IN PRISONERS WITH ANTISOCIAL PERSONALITY DISORDER: A COMPARATIVE STUDY OF EMOTIONAL RESPONSES	Ahmed Ali, Nour H. Zakaria, Khaled M. Youssef
		7	MEDIA AND INFORMATION LITERACY FOR YOUTH IN SOUTHEAST ASIA: DEVELOPING CRITICAL THINKING IN THE DIGITAL AGE	Indah R. Pratama, Agus S. Wibowo, Rani D. Wijaya
		8	THE IMPACT OF JOB STRESS ON QUALITY OF LIFE IN REMOTE WORK ENVIRONMENTS: A STUDY AMONG E-WORKERS IN THE PHILIPPINES	Carlos M. Perez, Reynaldo B. Santos, Juan C. Delgado

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Ephraim Osei,**	1	IMPROVING THE DYNAMICS OF EDUCATIONAL LEADERSHIP IN DEVELOPING ECONOMIES: A CASE STUDY ON THE ROLE OF TRADE UNIONS IN PROFESSIONAL GROWTH	Dr. Farida Al-Munir, Dr. Amina Yusuf, Dr. Ibrahim Al-Mahmoud
		2	ENHANCING LISTENING COMPREHENSION IN EFL STUDENTS USING BLENDED LEARNING STRATEGIES	Dr. Mariam Hassan, Dr. Khaled El-Sayed, Dr. Layla Zahid
		3	INFLUENCING FACTORS ON ARCHITECTURE STUDENTS' DESIGN PRODUCTIVITY: A CASE STUDY OF THE FIRST YEAR DESIGN STUDIO	Dr. Yara Kamil, Dr. Ahmed Bakir, Dr. Omar Al-Turk
		4	QUALITY AND SIZE OF STRATEGIC NETWORKS AMONG EDUCATIONAL INSTITUTIONS IN DEVELOPING COUNTRIES	Dr. Fatimah Othman, Dr. Idris Abdul Aziz, Dr. Nur Ali
		5	THE ROLE OF MENTORS AND MENTEES IN ONLINE EDUCATION	Ariella Nkosi,
		6	PROMOTING SUSTAINABILITY IN UNIVERSITIES THROUGH EDUCATION FOR TRANSFORMATIONAL LEARNING	Assoc. Prof. Dr. Ephraim Osei,
		7	STRATEGIC INNOVATION IN HIGHER EDUCATION: A COMPREHENSIVE APPROACH	Oluwaseun Ayodele,
		8	USING VISUAL ART TO GAIN INSIGHT INTO STUDENT EXPERIENCES IN HIGHER EDUCATION	Zainab Amira,
		9	ROMA IDENTITY AND INCLUSIVE EDUCATION IN SLOVAKIA: A CULTURAL PERSPECTIVE	Petra Varga,

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Dr. Javier Ruiz**	1	EXPERT WITNESS TESTIMONY IN DOMESTIC VIOLENCE CASES: A STUDY ON BWS AND JURY DECISIONS	Emilia Garcia, Dr. Javier Ruiz
		2	FLASHBULB MEMORY AND ITS RELIABILITY: STUDY OF NATURAL DISASTERS AND PERSONAL EVENTS	Liang Chen, Ming Zhang, Xiao Lin
		3	CULTURAL AND COGNITIVE INFLUENCES ON THE CONCEPT OF VALUES IN ORGANIZATIONAL DECISION MAKING	Yun He, Wei Li School of Management,
		4	IMPACT OF GOVERNMENT EXPENDITURE ON PRIVATE CONSUMPTION IN INDONESIA: AN ECONOMIC ANALYSIS	Arifin Zainal, Budi Santoso, Siti Rahmah
		5	COMMUNITY-BASED FACILITY MANAGEMENT PERFORMANCE IN THE EDUCATIONAL SYSTEM OF KEDIRI, INDONESIA	Siti Maesaroh, Rizky Darmawan, Fajar Hidayat
		6	ESSENTIAL CONSIDERATIONS IN COST CONTRIBUTION ARRANGEMENTS WITHIN MULTINATIONAL COMPANIES	Dr. Karel Novák, Hana Šťastná, Dr. Petr Dvořák
		7	APPLICATION OF ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM IN FORECASTING ECONOMIC CRISIS IN THE UNITED STATES	Marek Král, Jakub Novotný, Eliška Hrochová
		8	INTEGRATION OF INDUSTRIAL DESIGN AND ENGINEERING DESIGN IN OFFICE EQUIPMENT DEVELOPMENT	Aminata Binta Kamara, Hassan Sanni

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Dr. Marek Vasiliev**	1	EXPLORING THE ROLE OF META-TEACHING IN IMPROVING TEACHER EFFICACY IN CLASSROOM SETTINGS	Hassan A. Olayemi, Aisha A. Bello, Chukwuemeka I. Obi
		2	COGNITIVE DEFICITS AND THEIR IMPACT ON SPELLING DISORDERS IN ADOLESCENTS	Prof. Dr. Katarzyna Wójcik
		3	THE INFLUENCE OF MEDIA REPRESENTATIONS ON FEMALE BEAUTY IDEALS IN KOREA	Minji Lee
		4	IMPACT OF TRAUMATIC BRAIN INJURY ON ADULTS' SELF-ESTEEM AND STRESS LEVELS IN REHABILITATION	Dr. Carlos D. Ribeiro
		5	RECONCEPTUALIZING THE RAPE MYTH: CULTURAL AND METHODOLOGICAL CHALLENGES	Marina Gonzalez, Ricardo Pereira
		6	THE ROLE OF SOCIAL INTEGRATION IN ETHNIC TOLERANCE	Dr. Marek Vasiliev
		7	REFLECTIVE PROCESSES IN UNDERSTANDING AGGRESSIVE BEHAVIOR	Anastasia Ivanova
		8	PSYCHOANALYTIC PERSPECTIVES IN POLITICAL DISCOURSE	Aditya Ramesh
		9	THE IMPACT OF REAL OPTIONS ON CAPITAL INVESTMENT DECISIONS	Carlos Eduardo Silva
		10	SOCIAL ANXIETY DISORDER: A CASE STUDY USING COGNITIVE BEHAVIORAL THERAPY	Siti Nurul Aisyah Binti Halim, Mohd Zainul Arifin

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof. Dr. Carlos González, Dr. Javier Rodríguez**	1	ATTRIBUTIONS MADE BY TEAM MEMBERS FOR TEAM OUTCOMES IN AFRICAN WORKPLACES	Kwame Adu, Chinedu Okafor
		2	DOES CORPORATE GOVERNANCE IMPACT FOREIGN DIRECT INVESTMENT IN SOUTH AMERICA?	Prof. Dr. Carlos González, Dr. Javier Rodríguez
		3	ERP IMPLEMENTATION SUCCESS IN AFRICA: IMPACT OF SYSTEM QUALITY AND VENDOR SUPPORT	Mamadou Diakité, Ibrahim Bamba
		4	SOCIAL COMMERCE: THE INTERSECTION OF E-COMMERCE AND SOCIAL MEDIA IN AFRICA	Chinonso Nwachukwu
		5	THE IMPACT OF CUSTOMER COMPLAINT MANAGEMENT ON LOYALTY AND SATISFACTION: A CASE STUDY OF AIRLINE PASSENGERS	Fatima Zahra Benali, Ahmed Badran
		6	FOOD INSECURITY IN DEVELOPING COUNTRIES: A STUDY OF RURAL COMMUNITIES IN NIGERIA	Chinonso Ijeoma Eze, Olufemi Adeyemi
		7	IMPROVING THE WORKPLACE ENVIRONMENT FOR WOMEN: THE ROLE OF DESIGN MANAGEMENT IN KENYA	Amina Gachiri, Joseph Ochieng
		8	ADVANCING AFFORDABLE HOUSING THROUGH INCLUSIONARY ZONING IN CAPE TOWN, SOUTH AFRICA	Sibusiso Dlamini

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr. Zhanara Dzhaksybek**	1	PRIORITIZING FOOD SAFETY CULTURE IN SOUTH AFRICAN FOOD INDUSTRIES: A NEW APPROACH TO FOOD SAFETY SYSTEMS	Zanele M. Mthembu
		2	UNDERSTANDING CORRUPTION IN THE PUBLIC SECTOR: A STUDY OF GOVERNMENT OFFICIALS IN GHANA	Kwame Nkrumah Agyemang, Nana Yaw Mensah
		3	STRATEGIC INITIATIVES FOR PROMOTING ECONOMIC EQUITY IN THE NORTH EAST REGION OF INDIA	Aakash Rathi, Rina Ghosh
		4	THE ROLE OF DIASPORA IN THE EVOLUTION OF KAZAKH LITERATURE: THE LEGACY OF MAZHIT AITBAYEV	Dr. Damir Toktabayev, Ayan Omarov, Dr. Zhanara Dzhaksybek
		5	CULTURAL PRACTICES IN CENTRAL ASIA: CUSTOMS AND TRADITIONS IN TURKESTAN IN THE EARLY 20TH CENTURY	Kamil Mamedov, Gulnar Bekzhanova
		6	THE DYNAMICS OF PRIVACY IN THE DIGITAL AGE: EXAMINING THE ROLE OF THE SELF IN THE ONLINE WORLD	Lydia Thompson
		7	EXAMINING THE ADOPTION OF E-GOVERNMENT IN THE GULF REGION: A UTAUT-BASED APPROACH TO CITIZEN ACCEPTANCE IN THE UAE	Fatima Al-Mansouri, Khalid Al-Hamadi
		8	ENSURING THE SAFETY OF MIGRANTS IN GLOBAL CONTEXTS	Lina Kowalska, Yara Nasser
		9	THE RISE OF ETHNIC NATIONALISM AMONG YOUTH IN SOUTH KOREA: IMPACTS ON DEMOCRACY	Min Ji Park, Jung Hoon Lee

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Dr. Karolina Andersson**	1	MIGRATION AND UNEMPLOYMENT DURATION: A COMPARATIVE STUDY OF OECD COUNTRIES	Michał Sienkiewicz, Thomas Bergström
		2	THE ROLE OF DEIXIS AND PERSONALIZATION IN PERSUASIVE ADVERTISING	Prof. dr. Sofia Lindström, Dr. Karolina Andersson
		3	THE IMPERATIVE TO IMPLEMENT ENVIRONMENTAL ACCOUNTING FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT	Isabella Rinaldi, Dr. Luca Verdi
		4	TRENDS AND FUTURE PROSPECTS IN GREEN COMPUTING	Rami Khamis, Ziad Ali
		5	SUSTAINABLE FISHERIES MANAGEMENT THROUGH ECOLABELING AND CERTIFICATION SYSTEMS	A. Banarjee, S. Mishra Assoc. Prof. Dr. P. Somboon
		6	DRIVERS OF CUSTOMER LOYALTY IN ONLINE PURCHASES OF HERBAL PRODUCTS IN THAILAND	K. Wongwattananun,
		7	APPLICATION OF NEURAL NETWORK MODELS FOR PREDICTING ECONOMIC GROWTH IN AFRICAN COUNTRIES	S. Adedeji, T. Olayinka A. Iqbal
		8	ENHANCING SOFTWARE RISK MANAGEMENT THROUGH DYNAMIC FRAMEWORKS	M. Sadiq,

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Ananya Chatterjee,**	1	INTEGRATING FUZZY MEMBERSHIP FUNCTIONS IN SMOOTHING TRANSITION MODELS FOR ECONOMIC FORECASTING	T. Nwachukwu, R. Eze
		2	SUCCESS FACTORS IN THE IMPLEMENTATION OF ERP SYSTEMS IN SOUTHEAST ASIA	Aung Thura, Myo Zaw Thiha
		3	AN ECONOMIC MECHANISM FOR DETECTING SYBIL ATTACKS IN DISTRIBUTED SYSTEMS: APPLICATION TO TOR NETWORK	Ananya Chatterjee, Rakesh Kumar Singh, Sunil Kumar Yadav
		4	ROLE OF NEGOTIATION AGENTS IN DESIGN DECISIONS: A CASE STUDY FROM THE MALAYSIAN ENERGY SECTOR	Zainal Abidin Ismail, Faizal Mokhtar
		5	IMPACT OF GOVERNMENT SPENDING ON PRIVATE CONSUMPTION IN INDONESIA: A QUANTITATIVE ANALYSIS	Aditya Junaidi
		6	VALUE ENGINEERING FOR ENERGY COST OPTIMIZATION IN INDUSTRIAL SECTORS IN IRAN	Mohammad Ali Ramezanian, Reza Shirazi, Khosro Shaterian
		7	THE IMPACT OF E-COMMERCE PLATFORMS ON TRADITIONAL MARKET STRUCTURES: A JORDANIAN PERSPECTIVE	Omar Al-Momani, Noura Abu Zayed
		8		

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Hassan Ali Qureshi**	1	THE ROLE OF TECHNOLOGY IN CONTEMPORARY SOCIAL STRUCTURES	Lucia Khumalo, Thabo Ndlovu, Zanele Mthembu
		2	POLITICAL FINANCE IN AFRICA: THE CHALLENGES OF ELECTION FUNDING IN ETHIOPIA	Samuel W. Assefa, Mahir T. Kibret
		3	COMPARING SCIENTIFIC PARKS: ARCHITECTURAL AND URBAN DESIGN IN IRAN AND THE WEST	Ali Rezaei, Marjan Hosseini, Kian M. Nouri
		4	ECONOMIC CONSEQUENCES OF ROAD ACCIDENTS IN EGYPT: A COST ANALYSIS	Ahmed F. ElSayed, Dalia M. Khalil
		5	REGULATIONS ON FERTILITY IN ISLAM: AN OVERVIEW OF HEALTH AND SOCIAL IMPACTS	Hassan Ali Qureshi
		6	THE ROLE OF MULTIPURPOSE CADASTRE IN ENHANCING URBAN DEVELOPMENT PLANS IN IRAN	Ali Rezaei, Niloofar Jafari
		7	STREET NETWORK DYNAMICS IN BANDUNG CITY: A COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE CITY CENTER AND NEW COMMERCIAL HUBS	Aditya Pramudita, Maya Sulaeman
		8	EFFECTIVENESS OF TEMPORARY HOUSING IN DISASTER RESPONSE: CASE STUDY OF EARTHQUAKES IN IRAN	Sima Valiollahi, Reza Behzad
		9	ACCOUNTABILITY IN ISLAMIC RELIGIOUS ORGANIZATIONS: EXPLORING THE ROLE OF ACCOUNTING IN RELIGIOUS CONTEXTS	Dr.Fauzan Nurrahman, Dr. Hanifa Dewi

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Kianoosh Shariati, Valiollah Khameneh**	1	TECHNOLOGIES AND STRATEGIES FOR ENERGY CONSERVATION IN TRANSPORTATION: FIGHTING AIR POLLUTION IN IRAN	Kianoosh Shariati, Valiollah Khameneh
		2	USER ENGAGEMENT AND SATISFACTION WITH INFORMATION SYSTEMS	Ahmad Al-Farsi, Sara Z. Amin
		3	DEVELOPING A FRAMEWORK FOR PREDICTING POLITICAL RISK USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE	Tariq Yusuf, Layla Osman
		4	KNOWLEDGE SHARING NETWORKS IN VIRTUAL COMMUNITIES	Kadir Al-Amin, Nour Al-Hassan, Faiza Ibrahim
		5	ANALYZING PENSION EXPENDITURES WITH SYSTEM DYNAMICS SIMULATION	Fadil Al-Jabari, Mohammed Al-Mansouri, Ali Al-Khalifa
		6	ASSESSING WATER RESOURCE SUSTAINABILITY IN IRAN: A FOCUS ON FARS PROVINCE	Mahdi Jafari, Reza Khajeh, Mariam Javid
		7	IMPACT OF CULTURAL DIMENSIONS ON TECHNOLOGY ADOPTION IN ORGANIZATIONS	Ahmed Al-Sabah, Fatimah Al-Farsi, Mohammad Al-Balushi
		8	INNOVATIVE APPROACHES IN URBAN PLANNING FOR SUSTAINABLE GROWTH	Ali Rezaei, Hossein Mohammadi, Zeynab Jafari
		9	ENHANCING ROAD SAFETY WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED DROWSINESS DETECTION	Ravi Kumar, Neha Mehra
		10	FOSTERING ENTREPRENEURIAL SKILLS AMONG FARMERS IN IRAN THROUGH ALTERNATIVE EDUCATION	Mohammad Ali Khorasani, Zahra Ahmadi, Dr. Saeed Pourhosseini
		11	DEVELOPMENT OF AGRO-ENTREPRENEURSHIP IN INDIA: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES	Dr. Raghav Singh, Assis . Prof. Dr. Aarti Mehta

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	**Assoc. Prof. Dr. Kabelo Mthembu**	1	TOWARDS A HOLISTIC APPROACH TO SOCIAL JUSTICE: INTEGRATING TRADITIONAL AND MODERN ELEMENTS IN PUBLIC POLICY FORMULATION IN SOUTH AFRICA	Assoc. Prof. Dr. Kabelo Mthembu
		2	EXAMINING RURAL TELECENTER EXPECTATIONS: A CASE STUDY OF COMMON SERVICE CENTERS IN MAURITIUS	Rajesh Patel, Anjali Sharma
		3	ANALYZING THE EVOLUTION OF VISUAL STORYTELLING IN SOUTHEAST ASIAN CINEMA: A FOCUS ON HYPERMEDIATED IMAGES	Pongpon Jirakittikul, Nuttapong Kittisupakorn
		4	CLOUD-BASED KNOWLEDGE MANAGEMENT: ADVANTAGES AND CHALLENGES IN ALGERIA	Mounir Khodja, Salima Benabbas
		5	EMIGRATION OF MEDICAL PROFESSIONALS: CHALLENGES AND IMPACTS IN PAKISTAN	Zahid Ali Khan, Hira Bano, Imran Bashir
		6	KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEMS FOR ENHANCING COLLABORATIVE LEARNING IN ORGANIZATIONS	Eunice Adedeji, Samuel Okoro, Adebayo Temidayo
		7	UNDERSTANDING ORGANIZATIONAL CITIZENSHIP BEHAVIOR THROUGH VIRTUOUSNESS PERCEPTIONS	Ali Hassan, Huda Ali, Raza Ahmad
		8	ANALYZING TRUST AND LEARNING IN VIRTUAL ORGANIZATION DECISION MAKING	Bashir Ahmed, Fatima Iqbal, Zainab Rehman
		9	ADVANCED AUTOMATED CLASSIFICATION OF ALCOHOLICS USING VISUAL EVOKED POTENTIAL SIGNALS	Akinwale Adeyemi, Olaoluwa Akinbode, Chidimma Okafor

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	**Carlos Gomez,**	1	A THEORETICAL FRAMEWORK FOR CUSTOMER KNOWLEDGE MANAGEMENT IN EUROPEAN E-COMMERCE	Lars Johansson, Caroline Lindgren, Henrik Olsson
		2	DEVELOPING A COMPREHENSIVE E-MARKET FRAMEWORK USING INTELLIGENT AGENTS	Carlos Gomez, Laura Perez
		3	A NOVEL METHOD FOR SELECTING COMPLEX GOODS IN ONLINE MARKETS	Sofia Martins, Ricardo Costa, Marta Oliveira
		4	ANALYZING MIS DEGENERATION UNDER DYNAMIC CONDITIONS: A MATHEMATICAL APPROACH	Fatima Al-Mahdawi, Karim Al-Mansouri
		5	LEARNING MANAGEMENT LESSONS FROM CONTROL SYSTEMS: A THEORETICAL APPROACH	Jamal Zidan, Rania Al-Salem
		6	EXPLOITING SIP FOR ENHANCED MOBILITY IN MEDICAL COMMUNICATION SYSTEMS	Mansur Zayed, Fakhruddin Rashid, Jamil Al-Zahrani
		7	COGNITIVE REPRESENTATION OF VALUES IN ORGANIZATIONAL DECISION-MAKING	Kari Heikkinen, Dr. Markus Virtanen, Dr. Liisa Aalto
		8	EXPLORING THE USE OF SERIOUS GAMES IN SUPPORTING AUTISTIC CHILDREN'S DEVELOPMENT	Afiqah Rani, Nor Azura Zainuddin, Farhan Salleh

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 13	**Olga Lebedeva**	1	PROGRESS OF REMOTE REHABILITATION TECHNOLOGY IN JAPAN: A SOLUTION TO GEOGRAPHICAL BARRIERS FOR THE DISABLED	Naoya Takahashi, Kenta Sato, Haruto Inoue
		2	DRIVER BEHAVIOR AND PREFERENCE FOR INFORMATION MEDIA IN ROUTE CHANGES: A STATISTICAL ANALYSIS	Jin-Soo Lee, Hyeon-Seok Kim, Sun-Ju Park
		3	AGGRESSIVE BEHAVIOR AND SELF-REFLECTION: EXAMINING THE INFLUENCE OF THE "SIGNIFICANT OTHER"	Elena Ivanova, Sergei Petrov, Olga Lebedeva
		4	THE ROLE OF PSYCHOANALYSIS IN SHAPING POLITICAL PHILOSOPHY: A COMPARATIVE STUDY	Anwar Uthman, Leila Jafari, Huda Abou Zeid
		5	INTEGRATING COGNITIVE PSYCHOLOGY AND PROBLEM-BASED LEARNING IN HUMAN-COMPUTER INTERACTION	Mohamed Karim, Mariam Al-Farsi, Ahmed Abdullah
		6	THE IMPACT OF EDUCATION ON WELL-BEING: A COMPARATIVE STUDY IN EUROPE	Luca Ferrara, Chiara Montini, Valeria Rossi
		7	IMPROVING GAIT RECOGNITION USING MULTI-VIEW NEURAL NETWORKS	Omar Zaki, Farah Mohamed, Khaled Hassan
		8	EXAMINING THE VALIDITY OF LANGUAGE TEST INTERPRETATIONS: A CASE STUDY	Ali Saleh, Nora Al-Shammari, Hassan Khaled

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 14	**Dr. Alexander Petrov**	1	EXPLORING LIFE MEANINGFULNESS AND PSYCHOSOCIAL FACTORS AMONG RECOVERING SUBSTANCE USERS: A STUDY IN INDIA	Ravi Kumar, Priya Sharma
		2	THE ROLE OF ORGANIZATIONAL JUSTICE IN INCENTIVE DISTRIBUTION WITHIN THE PUBLIC SECTOR IN THAILAND	Prof. Dr. Sirikorn Chaiwattanakul
		3	CULTURAL CHALLENGES AND THEIR IMPACT ON INTERNATIONAL STUDENTS' EXPERIENCES AT WUHAN UNIVERSITY	Mei Ling Zhou, Jun Zhang
		4	THE INFLUENCE OF PERSONALITY DIMENSIONS ON JUDGMENTS OF FRIENDSHIP TRAITS: A STUDY IN IRAN	Mojtaba Ghaffari, Sahar Rezaei, Ali Taghavi
		5	ADDRESSING TRAUMA IN BORDERLINE PERSONALITY DISORDER: A CRITICAL APPROACH TO TREATMENT	Isabella Volkov, Dr. Alexander Petrov
		6	EVALUATING THE IMPACT OF NURSE SUPERVISION ON CHILDREN'S BEHAVIORAL DEVELOPMENT IN CARE SETTINGS	Amir Hossein Ranjbar, Leila Khosravi
		7	INVESTIGATING THE ROLE OF WIND CATCHERS IN ACHIEVING SUSTAINABLE ARCHITECTURE IN DRY CLIMATES: A CASE STUDY OF YAZD, IRAN	Niloofar Riazi, Ali Reza Jafari
		8	COMPARATIVE ANALYSIS OF GREEN CITY CONCEPTS IN ASIAN AND OCEANIC CITIES: GARDEN CITY VERSUS GREEN BELT	Siti Nur Ain Binti Mohd, Faisal Ahmed

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 15	**Mikako Nishimuko**	1	EXAMINING THE FAMILY STRUCTURE AND ITS IMPACT ON VIOLENCE AGAINST WOMEN IN IRAN	Sima Yazdani, Ahmad Fathi
		2	THE PREVALENCE OF SHOPLIFTING IN RIYADH, SAUDI ARABIA: A COMPREHENSIVE STUDY	Tariq Al-Mutairi
		3	EXPLORING THE IMPACT OF INTERNET USAGE ON SOCIAL CAPITAL AMONG STUDENTS IN IRAN	Mojtaba Karimi, Zahra Vali
		4	SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE CONSTRUCTION SECTOR IN MALAYSIA	Junaidah Ahmad, Hanafi Ibrahim, Nurul Huda Zain
		5	THE IMPACT OF ENVIRONMENTAL RESTRUCTURING IN THE GOLF COURSE INDUSTRY IN JAPAN	Tetsuya Okada, Haruto Watanabe, Saki Tanaka
		6	EVOLUTIONARY DYNAMICS IN COOPERATIVE AND COMPETITIVE BEHAVIORAL PATTERNS	Kaito Mizuno, Takashi Yamamoto, Haruki Fujimoto
		7	EXPLORING PERSONALIZED STYLING THROUGH INTERACTIVE 3D TECHNOLOGY	Xiao Jun Chen, Yu Yan Lee, Zhi Wei Tan
		8	CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY IN GREEK COMPANIES: A PERSPECTIVE ON IMPLEMENTATION AND IMPACT	Nikolaos Dimitriou, Evangelos Tsakalos, Maria Karagouni
		9	THE CONTRIBUTION OF RELIGIOUS GROUPS IN FOSTERING DEMOCRATIC PROCESSES: ATTAINING UNIVERSAL PRIMARY EDUCATION IN SIERRA LEONE	Mikako Nishimuko

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 16	**D. Charvatova**	1	ETHICAL TRAFFIC MANAGEMENT IN URBAN SETTINGS	Yusuf Akil, Amina Hassan
		2	ASSESSING OPERATIONAL RISKS IN CONSTRUCTION PROJECTS IN MALAYSIA	Zulkifli Azman, Nurul Huda Ibrahim
		3	CREATING SECURE AND EFFICIENT MOBILE APPLICATIONS	Hassan Al-Saadi, Faysal Benaboud, Samira El Amrani
		4	EXPLORING ELECTORAL VIOLENCE IN AFRICA: A CASE STUDY OF ETHIOPIA	Assoc. Prof. Dr. Mulugeta Berhanu
		5	POSTCOLONIAL READINGS IN AMAZIGH LITERATURE: RESISTANCE AND IDENTITY IN LATE COLONIAL NARRATIVES	Moulay Rachid Souissi
		6	RELATIONSHIP BETWEEN COMMUNICATION EFFECTIVENESS AND THE EXTENT OF COMMUNICATION AMONG ORGANIZATIONAL UNITS	D. Charvatova
		7	THE IMPACT OF DIGITAL TECHNOLOGY ON READING HABITS: A COMPARATIVE STUDY BETWEEN TRADITIONAL BOOKS AND HYPERTEXTS	Yuki Tanaka, Haruto Kinoshita
		8	ECOLOGICAL AND SOCIO-CULTURAL IMPACTS OF CAMPUS DEVELOPMENT: CASE STUDY ON UNIVERSITY ENVIRONMENTS	Linh Mai, Minh Hoang

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 17	**Agnès Garletti**	1	CHALLENGES IN THE IMPLEMENTATION OF MASTER PLANS IN URBAN DEVELOPMENT: A CASE STUDY OF LAHORE	Ahmed Shahzad, Bilal Hussain
		2	CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN MOBILE TV BROADCASTING: A GLOBAL PERSPECTIVE	Tafadzwa Nyoni, Mutsa Chirwa
		3	EVALUATION PATTERN OF COGNITIVE PROCESSES IN LANGUAGE IN WRITTEN COMPREHENSION	Agnès Garletti
		4	RELIABILITY AND TRUST IN VIRTUAL COLLABORATIONS	Zhang Wei, Li Han, Wu Tian Xi'an Jiaotong-Liverpool
		5	EPISTEMOLOGICAL IMPASSE IN GUIDANO'S COGNITIVE PSYCHOLOGY THEORY	Carlos Mendoza Gómez, Sofia García López
		6	IMMIGRATION AND NATIONAL IDENTITY IN THE SWEDISH DEMOCRATIC STATE	Erik Nilsen, Henrik Larsson, Johan Karlsson
		7	IMPROVING ESL STUDENTS' WRITING SKILLS THROUGH STRATEGIC PREWRITING	Mohammad Reza Farahani, Zahra Aliakbari, Hossein Jafari
		8		

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 18	**Ana Jovanović**	1	VALIDITY OF C-TEST AND CLOZE PROCEDURE IN ENGLISH PROFICIENCY ASSESSMENT	Fahd Al-Hamadi, Amal Al-Mansoori, Khalid Al-Bayati
		2	KOSOVO'S INDEPENDENCE: A GLOBAL PERSPECTIVE AND THE IMPACT ON REGIONAL SECURITY	Marek Popović, Elena Vuković
		3	URBAN LAND MANAGEMENT REFORM IN SERBIA: A MARKET-BASED APPROACH	Ana Jovanović
		4	ASSESSING THE IMPACT OF INNOVATIVE U-TURN INTERSECTIONS ON TRAVEL TIME	Luka Marković, Ivana Petrović, Milica Jovanović
		5	TRIBAL DEVELOPMENT AND REHABILITATION: A CASE STUDY OF THE KOVVADA RESERVOIR IN INDIA	Vikram Verma
		6	EXAMINING MOTIVATION IN ONLINE COLLABORATION: A STRUCTURAL PERSPECTIVE	Sung-Ho Kim, Ji-Hye Lee
		7	E/B-LEARNING ACTIVITIES AND HIGH SCHOOL TEACHING METHODS	Rui Antunes
		8	MACHINE TRANSLATION OF ENGLISH TO URDU USING AN EXPERT SYSTEM	Zainab Afreen, Bilal Shahzad, Hamza Ali, Qasim Raza
		9	DEVELOPMENT OF A RELATIONAL DATA APPROACH FOR MULTIWORD EXPRESSIONS IN MT	Bilal Shahzad, Zainab Afreen, Hamza Ali, Qasim Raza

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 19	**Carlos Gomez,**	1	THE ROLE OF MYTH IN POLITICAL DISCOURSE AS A REFLECTION OF LINGUISTIC CONSCIOUSNESS	Amina Sadykova, Talgat Zhumadilda
		2	COMPARATIVE STUDY OF MICRO-READING AND TRADITIONAL READING BASED ON SCHEMA THEORY	Li Wei, Zhang Rui
		3	THE ROLE OF ONLINE COLLABORATIVE EDUCATION IN REMOTE SCHOOLS	Jinwoo Park, Hyun Joo Kim
		4	UTILIZING VIRTUAL NETWORK LABS FOR ENHANCED COMPUTER NETWORKS EDUCATION	Luka Ivkovic, Ana Jovanovic
		5	RESPONDING TO EDUCATIONAL RACIAL INEQUALITY IN AMERICAN SCHOOLS	Youssef Mohamed, Samira Rashid
		6	A FRAMEWORK FOR IMPROVING COMPUTER SCIENCE EDUCATION THROUGH VISUALIZATION	Ranya Al-Farsi, Ayman Al-Muqbel
		7	USING BLOGGING TO DEVELOP CRITICAL THINKING IN SECONDARY EDUCATION	Leila Haddad, Zainab Khaled
		8	INTEGRATING MULTIMEDIA IN SCIENCE EDUCATION: A CASE STUDY FROM SOUTH KOREA	Sung Jin Park, Seung Min Lee

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 20	**Taro Yamaguchi**	1	DEVELOPMENT OF A MULTIAGENT-BASED TUTORING SYSTEM IN JORDAN	Omar Al-Saleh, Laila Al-Mousa
		2	PROJECT-BASED LEARNING IN FLUID DYNAMICS EDUCATION IN JAPAN	Taro Yamaguchi
		3	PARENTS-TEACHERS ENGAGEMENT IN MALAYSIAN PRIMARY SCHOOLS: A CULTURAL PERSPECTIVE	Amina Hassan, Tariq Aziz
		4	EXPLORING STUDENTS' ATTITUDES TOWARDS MOBILE LEARNING IN KUWAIT	Fatimah Al-Kandari, Noura Al-Mansoori
		5	IMPACT OF COOPERATIVE LEARNING ON NUMERICAL METHODS IN NEW ZEALAND	Ravi Kumar, Hannah Fitzgerald
		6	THE ROLE OF COMMUNITY ENGAGEMENT IN IMPROVING ELECTRONICS ENGINEERING OUTCOMES IN THE PHILIPPINES	Carlos Eduardo Mendoza, Li Wei Li
		7	EXAMINING THE IMPACT OF MODALITY IN INCIDENCE OF VOCABULARY LEARNING IN IRAN	Reza Rahimi, Amir Alavi
		8	PROPOSING A TRAINING PROGRAM FOR POSTGRADUATES IN EGYPT ON CREATING CONCEPT CARTOONS FOR KINDERGARTEN EDUCATION	Samar Talaat El-Sayed, Ahmed Hossam Ibrahim
		9	CHALLENGES AND SOLUTIONS IN MANAGING EDUCATION SYSTEMS IN NIGERIA: A COMPREHENSIVE REVIEW	Grace Oluwaseun Adedeji, Temidayo Adefolalu

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 14:00 – 16:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. NURİ BAŞUSTA**	1	MİROPLASTİKLERİN BOZUNUMU: BİR İNCELEME	Prof. Dr. Arzu UÇAR Prof. Dr. Gonca ALAK Doç. Dr. Veysel PARLAK Prof. Dr. Muhammed ATAMANALP
		2	KİŞİSEL BAKIM ÜRÜNLERİNİN AKUATİK CANLILARIN FİZYOLOJİSİ ÜZERİNE ETKİLERİ	Prof. Dr. Arzu UÇAR Prof. Dr. Gonca ALAK Doç. Dr. Veysel PARLAK Prof. Dr. Muhammed ATAMANALP
		3	DENİZKEDİSİNİN (CHIMAERA MONSTROSA) HATAY-SAMANDAĞ AÇIKLARINDAN (DOĞU AKDENİZ) GÖRÜNÜRLÜĞÜ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA	Prof. Dr. NURİ BAŞUSTA
		4	LESEPSİYEN BALIK TÜRÜ TERAPON PUTA'NIN KARATAŞ (ADANA) KIYILARINDAN İLK KAYDI	Prof. Dr. NURİ BAŞUSTA Prof. Dr. ASİYE BAŞUSTA
		5	FIRST RECORD OF Eustrongylides excisus IN Silurus glanis FROM THE RAMSAR SITE LAKE ULUABAT (BURSA): A PARASITOLOGICAL AND ZOONOTIC ASSESSMENT	Dr. NURTEN NURLU AYDOGDU
		6	FIRSAT NOKTASI (OPPORTUNISTIC) YÖNTEMİYLE FOTOKAPAN ENVANTERİ	Öğr. Gör. Mevlüt ZENBİLCİ Uzman Biyolog Dilek ARSLAN HİSARKAYA Doç.Dr. Yasin ÜNAL
		7	BEYDAĞLARI SAHİL MİLLİ PARKI BÜYÜK MEMELİ FAUNASI	Uzman Biyolog Dilek ARSLAN HİSARKAYA Öğr. Gör. Mevlüt ZENBİLCİ Doç. Dr. Yasin ÜNAL
		8	INVESTIGATION OF THE PREVALENCE OF CRYPTOSPORIDIUM SPP. IN DOGS IN THE IZMIR PROVINCE USING MICROSCOPIC AND MOLECULAR METHODS	Master's student Berk SAKİ Assoc. Prof. Adnan AYAN Prof. Dr. İlker ÇAMKERTEN
			INVESTIGATION OF THE PREVALENCE OF GıARDIA DUODENALIS IN DOGS IN THE IZMIR PROVINCE USING MICROSCOPIC AND MOLECULAR METHODS	Master's student Berk SAKİ Assoc. Prof. Adnan AYAN Prof. Dr. İlker ÇAMKERTEN

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 14:00 – 16:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Arş. Gör. Dr. Ceren Ünlükal**	1	FROM PHYSICAL MISMATCH TO ECONOMIC LOSS: A SYSTEMATIC REVIEW OF OFFICE ERGONOMICS AND ITS MULTIDIMENSIONAL ELEMENTS	Merve UĞUR DEMİRKIRAN Assoc. Prof. Dr. Burcu YILMAZ KAYA
		2	THE IMPORTANCE OF CONTINUOUS IMPROVEMENT FOR BUSINESSES: AN EVALUATION WITH THE LEAN MANUFACTURING APPROACH	Arş. Gör. Dr. Ceren Ünlükal
		3	SWOT ANALYSIS OF THE 5S METHOD: AN EVALUATION FROM A LEAN MANUFACTURING PERSPECTIVE	Arş. Gör. Dr. Ceren Ünlükal
		4	REAL-TIME AND AI-ENHANCED CARBON FOOTPRINT MONITORING AND MANAGEMENT SYSTEM	Dr., Yavuz SÜMER
		5	SYSTEMATIC RESOLUTION OF TECHNICAL CONTRADICTIONS IN INDUSTRIAL R&D PROCESSES: TRIZ METHODOLOGY FOR SOFTWARE AND MECHANICAL APPLICATIONS	MSc Student, Melike Sude Kazan Asst. Prof. Mehmet Rıza ADALI
		6	DEMİR ÇELİK ENDÜSTRİSİNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN BENİMSENMESİ TEKNOLOJİ KABUL MODELİ YAKLAŞIMI	Lisansüstü Öğrenci, Özgür GÜÇER Prof. Dr. , Ahmet Ferda ÇAKMAK
			HAVAYOLU SADAKAT PROGRAMLARINDA OYUNLAŞTIRMANIN YOLCU DAVRANIŞLARI VE GELİR YÖNETİMİNE ETKİSİ	Melek Rabia AKTAŞ Doç. Dr. Bahadır GÜLSÜN
			CLASSIFICATION PERFORMANCE AND EFFICIENCY ANALYSIS OF THE VISION MAMBA ARCHITECTURE ON THE DERMAMNIST+ DATASET	Asst. Prof. Dr. Özkan BİNGÖL Lect. Nurhan DEĞİRMENCİ BİNGÖL
			EXAMINATION OF CLINICAL ACCEPTANCE ISSUES OF DECISION SUPPORT SYSTEMS IN HEALTH INFORMATICS IN TERMS OF LACK OF EXPLAINABILITY	Lect. Nurhan DEĞİRMENCİ BİNGÖL Asst. Prof. Dr. Özkan BİNGÖL
		7		
		8		

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 14:00 – 16:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc . Prof. Dr., Emine TARAKCİ EREN**	1	EVALUATION OF OUTDOOR SPACES IN PRESCHOOL EDUCATION INSTITUTIONS IN TERMS OF PLAY-BASED LEARNING: THE CASE OF CUMHURİYET KINDERGARTEN	Dr. Öğretim Üyesi Meltem GÜNEŞ TİGEN
		2	THE ROLE OF URBAN GREEN INFRASTRUCTURE IN THE CLIMATE CHANGE ADAPTATION PROCESS AND ITS EVALUATION FROM THE PERSPECTIVE OF LANDSCAPE ARCHITECTURE	Dr. Öğretim Üyesi Meltem GÜNEŞ TİGEN
		3	URBAN SPACE LANDSCAPE DESIGN PROPOSAL; A STUDIO EXPERIENCE	Assoc . Prof. Dr., Emine TARAKCİ EREN
		4	ASSESSMENT OF SOIL PROPERTIES UNDER DIFFERENT LAND USE FROM THE GLOBAL DATASET	Assoc. Prof. Dr. GÜLAY KARAHAN
		5	PREDICTION OF SOIL SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY ON A GLOBAL SCALE BY PEDOTRANSFER FUNCTIONS	Assoc. Prof. Dr. GÜLAY KARAHAN
		6	KENTSEL YEŞİL ALTYAPININ BİYOTOP ALAN FAKTÖRÜ KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ : YILDIRIM ÖRNEĞİ	Abdurrahman KARYEL Prof. Dr. Gül SAYAN ATANUR
		7	Development of an IoT-Integrated Research Equipment Management Software System	Yahya ALHASHEMI Celal ÖZTÜRK
		8	FLAT KNITTING AND SEAMLESS TECHNOLOGIES IN SPORTS TEXTILES	Dr. Öğr. Üyesi Z. EVRİM KANAT

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 14:00 – 16:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Öğr. Gör. Dr Hatice ÇINAR**	1	SOSYAL MEDYA BAĞIMLILIĞININ İLİŞKİ DOYUMUNA ETKİSİNDE İKİLİ İLİŞKİLERDE MÜKEMMELİYETÇİLİĞİN ARACILIK ROLÜ	Gökdeniz Küçük Dr. Öğr. Üyesi Diler HATİPOĞLU
		2	THE RELATIONSHIP BETWEEN CHILDHOOD TRAUMA AND DARK TRIAD PERSONALITY TRAITS AND AGGRESSION	MA, NERMIN ABBASLI Assistant Professor, MERVE KARABURUN
		3	THE PREDICTIVE ROLE OF CHILDHOOD TRAUMA ON ATTITUDES TOWARD THE APPROVAL AND NORMALIZATION OF VIOLENCE	B.Sc. Student, KEZBAN ÜNAL Assistant Professor, MERVE KARABURUN
		4	BİREYLE PSİKOLOJİK DANIŞMA UYGULAMASININ ADAY PSİKOLOJİK DANIŞMANLARIN KİŞİLERARASI İLETİŞİM YETKİNLİKLERİ, SOSYAL KAYGILARI VE PSİKOLOJİK DANIŞMA ÖZ YETERLİKLERİNE ETKİSİ	Uzm. Psk. Dan. Elifnur BARIŞ Prof. Dr. Özkan ÇIKRIKÇI Dr. Öğr. Üyesi Neslihan ÇIKRIKÇI
		5	SOSYAL MEDYA FENOMENİ PSİKOLOGLARIN PAYLAŞIMLARININ SOSYAL MEDYA KULLANICILARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	BETÜL ZORBA Doç. Dr. ŞULE BAŞTEMUR
		6	BELİREN YETİŞKİNLİKTE DİJİTAL STRES VE İKİ BOYUTLU BENLİK SAYGISI ARASINDAKİ İLİŞKİ	Psikolog, MELİKE ASLAN
		7	YETİŞKİNLERİN ÇOCUKLUK DÖNEMİ ÖRSELENME YAŞANTILARININ İYİ OLUŞLA İLİŞKİSİNDE KİNDARLIK VE BİLİŞSEL ESNEKLİĞİN ARACI ROLÜ	Psik. Dan. KAAN ALTINIŞIK Prof. Dr. Seydi Ahmet Satıcı
			Value-Directed Prioritization in Working Memory: Effects of Motivation on Capacity and Strategic Control	Öğr. Gör. Dr Hatice ÇINAR
			GENÇ YETİŞKİNLERDE SOSYAL MEDYA KULLANIMI FİZİKSEL BENLİK ALGISI VE SOSYAL GÖRÜNÜŞ KAYGISI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	Uzm. Klinik. Psk. Cemile Yıldırım Yrd. Doç. Dr. Ayşe Buran
		8		

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 14:00 – 16:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Research Assistant Aylin UZUN**	1	THE EFFECT OF PROBLEM-SOLVING AND EMPATHY IN MARITAL ON MARITAL SATISFACTION	Psychologist, ESRA KIYBIK Res. Asst., MERVE İBRAHİMOĞLU Prof. Dr., ERCÜMEND ERSANLI
		2	THE SENSE OF ENTRAPMENT AND ACADEMIC PROCRASTINATION AMONG UNIVERSITY STUDENTS: THE EFFECT OF ATTACHMENT STYLES	Psychologist, LOKMAN YILMAZ Res. Asst., MERVE İBRAHİMOĞLU Prof. Dr., ERCÜMEND ERSANLI
		3	INVESTIGATION OF MOTOR SKILLS IN PRESCHOOL CHILDREN ACCORDING TO THE RELATIVE AGE EFFECT	Master's Student, BUKET GÖKKAYA Assistant Professor, EDA BAYTAŞ
		4	In the Context of Close Relationships: Perceived Parental Relationship	Research Assistant Aylin UZUN
		5	OBSESİF KOMPULSİF BELİRTİLERİN SUÇLULUK-UTANÇ VE ANNEDEN ALGILANAN NARSİSİZM İLE İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	Zeynep BEKAR Dr. Pınar ALGEDİK
		6	YOGA YAPAN KADINLARIN ÖZNEL ZİNDELİĞİNİN DEMOGRAFİK DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ	KÜBRA SÜMEYYE ŞAHİN DOÇ. DR. SEHER MERVE ERUS
		7	OBEZ BİREYLERDE BOZULMUŞ YEME DAVRANIŞLARININ YORDAYICILARI	Yüksek Lisans Öğrencisi Elif ÖVEÇ Prof. Dr., Ali ERYILMAZ
		8		

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS
December 30, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

30 Aralık / Dec 30, 2025 / 14:00 – 16:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Assoc. Prof. Dr. Vahit ÇİRİŞ	1	EGZERSİZİN İMMÜN SİSTEMİ VE MENTAL PERFORMANS İLE İLİŞKİSİ	Gizem Gül ESKİN
		2	THE EFFECTS OF SPORT BASED INTERVETIONS ON MOTOR SKILL DEVELOPMENT IN CHILDREN WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER	Assoc. Prof. Dr. Vahit ÇİRİŞ
		3	THE EFFECT OF SLEEP QUALITY ON PERFORMANCE IN ATHLETES	Assoc. Prof. Dr. Vahit ÇİRİŞ
		4	INVESTİGATİON OF EMOTİON REGULATİON AND MİNDFULNESS AMONG COMBAT SPORT ATHLETES	Dr. Öğr.Üyesi Demet ÖZTÜRK ÇELİK Yükseklisans Öğrencisi Merve ÇATALBAŞ
		5	THE RELATİONSHİP BETWEEN SLEEP AND ATHLETİC PERFORMANCE	Prof. Dr. Ercan GÜR Ömer Faruk ÇİFTÇİOĞLU Arş. Gör. Meva Ceren ORGUN Prof. Dr. Vedat ÇINAR
		6	THE EFFECT OF EXERCISE ON COGNIVIVE PERFORMANCE IN OLDER ADULTS	Arş. Gör. Meva Ceren ORGUN Fidan ÇINAR
			ChatGPT Spor Yaralanmalarında Kanıta Dayalı Rehabilitasyon Protokolleri Üretebilir mi?	Dr. Fzt. Mustafa YALÇIN
			THE EFFECT OF SQUAT JUMP TRAINING PERFORMED ON DIFFERENT SURFACE ON PHYSICAL PERFORMANCE AND BODY COMPOSITION IN YOUNG SOCCER PLAYERS	Dr. ALİ FATİH SAĞLAM Prof. Dr. HÜRMÜZ KOÇ Doç. Dr. ERBİL MURAT AYDIN
			BİBLİOMETRİC ANALYSİS OF RESEARCH ON LTAD IN RACKET SPORTS	Zehra ERDEM Prof. Dr. Işık Bayraktar
			BİBLİOMETRİC ANALYSİS OF RESEARCH ON TESTS USED İN BADMİNTON	Zehra ERDEM Prof. Dr. Işık Bayraktar
		7	CHANGES IN AVERAGE SPEED, RACE DISTANCE, AND ELEVATION GAIN BY YEAR IN THE ROAD CYCLING WORLD CHAMPIONSHIPS BETWEEN 2014 AND 2024	Dr. Öğr. Üyesi Duran Akbaş Süleyman Yıldız
		8	BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF STUDIES ON AGILITY IN TENNIS	Emirhan Yalçın Dr. Öğr. Üyesi Duran Akbaş

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 14:00 – 16:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Doç. Dr. Rıdvan ERGİN**	1	VOLEYBOLCULARDA FONKSİYONEL HAREKET ANALİZİ SKORLARININ VÜCUT KOMPOZİSYONU DİKEY SIÇRAMA VE DEMOGRAFİK DEĞİŞKENLER İLE İLİŞKİSİ	Dr. Öğr. Üyesi Harun KOÇ Arş. Gör. Dr. Cengizhan SARI Arş. Gör. Enes YASUN
		2	Bibliometric Analysis of Genetic Testing Research in Sports Science: An Approach Based on WoS Data	Utku Duman Prof. Dr. Işık Bayraktar
		3	Sirkadiyen ritim ve spor Araştırmalarının Bibliyometrik İncelemesi: WoS Verilerine Dayalı Bir Yaklaşım	Utku Duman Prof. Dr. Işık Bayraktar
		4	AŞIRI YÜKSEKTE BULUNMAYI GEREKTİREN SPOR DALLARI SPORCULARINDA SANAL OLARAK YÜKSEKTE BULUNMANIN STATİK VE DİNAMİK DENGE ÜZERİNDE ETKİLERİ	Yüksek Lisans Öğrencisi , Ebru DOĞAN Prof.Dr. Alpaslan YILMAZ
		5	THE EFFECT OF HANDBALL CONTENT KNOWLEDGE TRAINING ON PRESERVICE TEACHERS' KNOWLEDGE LEVELS AND STUDENT LEARNİNG	Arş. Gör. Dr. Derya SAKALLI Prof. Dr. Fatma İlker KERKEZ
		6	GENÇ TENİSÇİLERDE ÜST EKSTREMİTEYE UYGULANAN 8 HAFTALIK DİRENÇ LASTİĞİ EGZERSİZ PROGRAMININ FARKLI VURUŞLARDAKİ TOP HIZINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, GAMZE HOPLAMAZ Doç. Dr. EMRE ŞİMŞEK
		7	GENÇLİK MERKEZİNDEKİ FAALİYETLERE KATILAN ORTAOKUL ÖĞRENCİLERİNİN ÖZGÜVEN DÜZEYLERİNİN BAZI DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ (Konya – Kulu Örneği)	ECE MELİS ARSLAN Doç. Dr. OKAN BURÇAK ÇELİK
		8	EXAMİNATİON OF SPORTS HABİTS OF PRİVATE SECURİTY PERSONNEL	Ahmet KUBAT
		9	EVALUATION OF 2025 GRADUATE STUDIES FROM THE PERSPECTIVE OF EXERCISE AND TRAINING SCIENCE: BADMINTON	Doç. Dr. Rıdvan ERGİN
		10	BADMİNTON SPORUNDA DENGE PERFORMANSINI DEĞERLENDİRMEYE YÖNELİK TESTLER	Doç. Dr. Rıdvan ERGİN
		11	İTME VE ÇEKME MOTİVASYON FAKTÖRLERİNİN MEMNUNİYET BAĞLILIK VE DAVRANIŞSAL NİYET ÜZERİNDEKİ ROLÜ: TÜRK FİTNESS ÜYELERİ ÖRNEĞİ	Emel DİRİCAN
		12	MODERN APPROACHES TO WARM-UP IN SOCCER: MECHANISMS, MODELS, AND PRACTICAL APPLICATIONS	Emre SİLAN Doç.Dr. Recep Fatih KAYHAN
		13	AGE-RELATED DIFFERENCES IN MATCH LOAD PARAMETERS: A GPS-BASED ANALYSIS IN YOUTH SOCCER PLAYERS	Doç.Dr. Recep Fatih KAYHAN

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 14:00 – 16:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Doç. Dr. Sümer ALVURDU**	1	THE EFFECTS OF GYMNASTICS EXERCISES PERFORMED USING DIFFERENT EXERCISE EQUIPMENT ON SELECTED PHYSICAL FITNESS VARIABLES IN GIRLS AGED 7–11	Doktora Öğrencisi Melisa YILDIRIM Prof. Dr. Özcan SAYGIN
		2	USE OF RECREATIONAL OPEN SPACES IN SPORT-FRIENDLY CAMPUSES: A DESCRIPTIVE EVALUATION FROM THE PERSPECTIVE OF GREEN EQUITY	Arş. Gör. Dr. Kadir ÇALIŞKAN Dr. Öğr. Üyesi Anıl Onur MERCANOĞLU
		3		
		4	AN EXAMINATION OF DIGITAL GAME ADDICTION AND SLEEP QUALITY AMONG STUDENTS OF THE FACULTY OF SPORT SCIENCES	Prof. Dr. Hakkı ULUCAN Doç. Dr. Hayati ARSLAN Doktora Öğrencisi, Sevim KIR
		5	A NEW ASSESSMENT TOOL IN FATIGUE MONITORING: PUPILLOMETRY	Doç. Dr. Sümer ALVURDU İbrahim TAŞTAN Pelinsu Ece CİVELEK Doç. Dr. Elif CENGİZEL
		6	KOLLUK ÖĞRENCİLERİNİN FİZİKSEL AKTİVİTE ALIŞKANLIKLARINDA MEZUNİYET SONRASINDAKİ DEĞİŞİKLİKLER	Öğr.Gör.Dr,Merve CİN
			CYCLING IN THE VIRTUAL WORLD: THE DIGITAL TRANSFORMATION OF CYCLING WITHIN THE CONTEXT OF ZWIFT	Dr, Onur ÖZTÜRK Prof. Dr, Betül AKYOL
			ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE FIELD OF SPORTS SCIENCES IN TURKEY	Prof. Dr, Betül AKYOL Dr, Onur ÖZTÜRK
			Importance of Physical Activity in Terms of Old Age and Public Health	Arş. Gör. Dr. Burak ELİK
			ALTYAPI BASKETBOLCULARINDA FİTLİGHT ANTRENMANLARININ ÇEVİKLİK PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİ	Arş. Gör. Dr., Kaan SALMAN Prof. Dr., Özcan SAYGIN
		7	2024-2025 EUROLEAGUE NORMAL SEZONUNUN BAZI DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ	Arş. Gör. Dr., Kaan SALMAN Prof. Dr., Özcan SAYGIN
		8	THE ACUTE EFFECTS OF SACCADIC EYE MOVEMENTS ON FLEXIBILITY AND HAND GRIP STRENGTH	Yüksek Lisans Öğrencisi, FIRAT ÇAĞLAR ERDEM Dr. Öğretim Üyesi, EDA BAYTAŞ

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 14:00 – 16:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Assistant Professor, Ayla ARSLAN Assistant Professor, Hakan OCAK**	1	QUALITY OF LIFE IN INDIVIDUALS WITH BRAIN TUMORS AND THE NURSE'S ROLE	Rüveyda AYDIN Dr. Öğr. Üyesi Derya KAYA
		2	KADINLARDA ÜRİNER İNKONTİNANSTA ELEKTRİK STİMÜLASYONU VE MANYETİK STİMÜLASYON TEDAVİLERİNE HEMŞİRELİK YAKLAŞIMI	Zeynep Turan Prof. Dr. Şenay ÜNSAL ATAN
		3	Urinary Incontinence During Pregnancy and the Postpartum Period and Nursing- Oriented Preventive Approaches	Yüksek Lisans Öğrencisi, Cemre Gülten ÇELİK Prof. Dr. Şenay ÜNSAL ATAN
		4	EVALUATION OF DRUG INTOXICATIONS IN PEDIATRICS	PhD, Zeynep Yesim AY
		5	THE RELATIONSHIP BETWEEN HEALTH BELIEFS OF OBESE PATIENTS AND THEIR DEMAND FOR OBESITY SURGERY	Öznur YÜKSEL Prof. Dr. Rukuye AYLAZ
		6	EKSTRAKORPOREAL MEMBRAN OKSİJENİZASYONU (ECMO) UYGULANAN HASTALARIN HEMŞİRELİK BAKIMI	Hem. Deniz Ünker Prof. Dr. Neriman Zengin
		7	Acute Effects of Lumbar Spinal Manipulation on the Autonomic Nervous System in Healthy Young Adults	Uzman Fziyoterapist Alaa SAID Dr. Öğr. Üyesi Berkay Eren PEHLİVANOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Sefa Haktan HATIK
		8	ADAPTATION LEVELS OF BARIATRIC SURGERY CENTERS IN TURKEY TO INTERNATIONAL ACCREDITATION PROCESSES	Nurse Oğuz DOĞAN Prof. Dr. Emine GERÇEK ÖTER
		9	BİMODAL KOKLEAR İMPLANT KULLANICILARINDA GÜRÜLTÜDE KONUŞMAYI ANLAMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ	Öğr. Gör. Dr, Gökçe GÜLTEKİN Dr., Halide ÇETİN KARA Dr. Öğr. Üyesi, Eyyup KARA Prof. Dr., Fatih ÖKTEM
		10	MIDDLE EAR ANATOMY AND INFECTIONS	Assistant Professor, Ayla ARSLAN Assistant Professor, Funda Çimen AÇIKGÜL
		11	BASAL GANGLIA AND THEIR RELATIONSHIP WITH NEUROLOGICAL DISEASES	Assistant Professor, Ayla ARSLAN Assistant Professor, Hakan OCAK
		12	Kadın Sağlığı Alanında Mandala Tekniğinin Kullanımı	Hemşire, YELİZ KAN Prof. Dr. EMİNE GERÇEK ÖTER

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 14:00 – 16:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Dr. Öğr. Üyesi, Ayşe ŞENOĞLU**	1	CULTURAL COMPETENCE, EVIDENCE-BASED PRACTICES, AND MIDWIVES' TRADITIONAL AND COMPLEMENTARY MEDICINE APPROACHES IN MATERNITY CARE	Dr. Öğr. Üyesi, Ayşe ŞENOĞLU
		2	STRESS LEVELS IN NURSES: ANALYSIS OF RISK FACTORS AND SYMPTOMS IN A STATE HOSPITAL CASE	Nurse Caner SAYILGAN
		3	PSYCHOSOCIAL NEEDS OF MOTHERS WITH PRETERM INFANTS AND MIDWIFERY–NURSING APPROACHES	Dr. Emine KARACAN
		4	REFLEXOLOGY APPLICATIONS IN GYNECOLOGICAL CANCERS: A REVIW IN TERMS OF SYMPTOM MANAGEMENT AND QUALITY OF LIFE	Dr. Emine KARACAN
		5	Silent Dangers in the Elderly	Yüksek Lisans Öğrencisi, Yaren TANRIVERDİ
		6	THE EFFECTS OF MİCROPLASTİCS ON THE ENVİRONMENT AND HUMAN HEALTH	Asst. Prof. Dr. AYŞENUR BİLGEHAN
		7	ALUMINUM PHOSPHIDE: TOXICITY MECHANISM AND PROTECTION METHODS	Assist. Prof. Dr. AYŞENUR BİLGEHAN Prof. Dr. HANDE SİPAHİ
		8	THE RELATIONSHIP BETWEEN TECHNOLOGY USE AND AGGRESSION IN CHILDREN: CURRENT EVIDENCE AND IMPLICATIONS FOR PEDIATRIC NURSING	Doç. Dr. Ümran ÇEVİK GÜNER Bahar HAMİDİ
		9	KLİNİK İLETİŞİMDE EMPATİ EROZYONU Hibrit Zekâ Yaklaşımlarıyla İlişkisel Boşluğa Müdahale	Dr. Öğretim Üyesi Hatice BÜBER KAYA
		10	EMZİRME DESTEĞİNDE EBEVEYNLİK ORTAKLIĞI: BABALARIN EMZİRME SÜRECİNE KATKILARI	Dr. Öğr. Üyesi Döndü BATKIN ERTÜRK
		11	İKLİM KRİZİ ve EBELİK	Dr. Öğr. Üyesi Döndü BATKIN ERTÜRK
		12	EFFECTS OF ACUTE EXERCİSE ON OXİDATİVE STRESS BİOMARKERS AND PROİNFLAMMATORY CYTOKİNES İN ELİTE TABLE TENNİS PLAYERS	Ahmad HABİBİ Asst. Prof. Dr. Egemen DERE

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 14:00 – 16:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	**Assoc. Prof. Dr. Erengül BODUÇ**	1	ÇOCUK VE ADÖLESANLARDA ANOREKSİYA NERVOZA VE BESLENME YAKLAŞIMI	Dr. Öğr. Üyesi Hülya YILMAZ
		2	FONKSİYONEL BESİNLER VE İNSAN SAĞILIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Hülya YILMAZ
		3	THE EFFECT OF NUTRİTİON AND DİETETİCS EDUCATİON LEVEL ON WEİGHT MANAGEMENT KNOWLEDGE AND NUTRİTİON-RELATED BEHAVİORS	Nagihan ARI Şule ARSLAN Kamil Serkan UZYOL
		4	MİKROBİYOTA ODAKLI BESLENME İLE EGZERSİZİN METABOLİK SENDROM ÜZERİNDEKİ KOMBİNE ETKİSİ	Uzm.Dyt.Elif SUBAŞI Prof. Dr. Vedat ÇINAR
		5	OBEZİTEDE KRONİK DÜŞÜK DERECELİ İNFLAMASYONUN EGZERSİZLE MODÜLASYONU	Uzm.Dyt.Elif SUBAŞI Prof. Dr. Vedat ÇINAR
		6	FOOD SELECTIVITY IN THE PRESCHOOL PERIOD: CURRENT EVIDENCE AND IMPLICATIONS FOR PEDIATRIC NURSING	Ümran Çevik Güner, Zehra Bulut
		7	Foot Anatomy And Clinic	Assoc. Prof. Dr. Erengül BODUÇ
		8	Hand Anatomy And Clinic	Assoc. Prof. Dr. Erengül BODUÇ

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 14:00 – 16:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	**Dr. Öğr. Üyesi, HAKAN YÜKSEL**	1	THE EFFECT of IDIOM MOBILE GAME APPLICATIONS, DIGLOT WEAVE TECHNIQUE (DWT), and PROJECT-BASED LEARNING on IRANIAN EFL LEARNERS' COMPREHENSION and PRODUCTION of ENGLISH IDIOMS	Prof. Abbas Ali Zarei
		2	Spectral Methods in the Simulation of Nonlinear Systems Under Random Forcing	Minoo Kamrani
		3	SYNTHETIC ANOMALY GENERATION FOR ATTACK DETECTION: A GENERATIVE AI-SUPPORTED APPROACH	Zeynep AVKAROĞLU Asst. Prof. Dr. Ahmet Nusret ÖZALP
		4	REGULARIZATION EFFECTS OF DROPOUT IN DEEP LEARNING MODELS FOR SKIN LESION CLASSIFICATION	Asst. Prof. Dr. İsmail IRMAKÇI
		5	LEARNING RATE SENSITIVITY ANALYSIS OF DEEP NEURAL NETWORKS ON THE DERMAMNIST BENCHMARK	Asst. Prof. Dr. İsmail IRMAKÇI
		6	DEPRESSION SEVERITY ESTIMATION USING SELF-ATTENTION MECHANISMS ON TEXTUAL DATA	Büşra AKKIR Hüseyin POLAT
		7	DEPRESSION SEVERITY ESTIMATION THROUGH REPRESENTATION-LEVEL FUSION OF TEXT AND AUDIO MODALITIES	Büşra AKKIR Hüseyin POLAT
		8	Evaluation of OSCORE with EDHOC Key Establishment in Constrained IoT Deployments: Resilience Against Replay and Echo Attacks	M. Serdar AKMANOĞLU Asist. Prof. Ahmet Nusret ÖZALP
		9	A TWO-STAGE CNN AND REINFORCEMENT LEARNING SYSTEM FOR RGB- BASED PLANT STRESS DIAGNOSIS AND ACTION RECOMMENDATION	ALP SALCIOĞLU MUHARREM ŞİMŞEK DR. ÖĞR. ÜYESİ AYŞE SALMAN
		10	TÜRKÇE MEDİKAL SORU-CEVAP GÖREVLERİ İÇİN BÜYÜK DİL MODELLERİNİN QLORA TABANLI İNCE AYARI	Yüksek Lisans Öğrencisi, Cemre KÜÇÜKGÖDE DOÇ. DR., Özgür GÜMÜŞ
		11	MACHINE LEARNING APPROACHES IN MARITIME ACCIDENT ANALYSIS: A WOS-BASED BIBLIOMETRIC EVALUATION	Lecturer, İPEK GÖLBOL PEKDAŞ
		12	YOLOV11 MİMARİSİ: YENİ NESİL NESNE ALGILAMA	Dr. Öğr. Üyesi, HAKAN YÜKSEL
		13		

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Mariam Al-Hashimi**	1	ATTACHMENT STYLES AMONG CHILDREN IN IRAN: NURSERY CARE VERSUS FAMILY CARE	Mohammad Reza Khosravi, Zeynab Sadeghi
		2	FACTORS INFLUENCING AGGRESSIVE BEHAVIOR IN ADOLESCENTS: A MULTIFACETED APPROACH	Ayesha Khalid, Omar Saeed
		3	THE SIGNIFICANCE OF COGNITIVE DIVERSITY IN AUTISM SPECTRUM: A CASE STUDY FROM KUWAIT	Fatima Al-Mutairi, Khaled Al-Mansoor
		4	FRAMEWORK FOR EXPLORING DIGITAL ADDICTION	Laila Hassan, Mohamed Fathy
		5	ENHANCING SELF-DIRECTED LEARNING THROUGH LOGBOOKS IN PROBLEM-BASED LEARNING: A STUDY IN MALAYSIA	Rina Siti, Harith Mohamad
		6	SELF-DESTRUCTIVE BEHAVIOR IN PRISONS: PSYCHOLOGICAL ASPECTS AND COPING MECHANISMS	Mariam Al-Hashimi
		7	ASSESSING INTERNET ANXIETY AMONG UNIVERSITY STUDENTS IN IRAN: A STUDY IN HIGHER EDUCATION CONTEXT	Reza Movahedi, Yasmin Hashemi
		8	ASSESSING INTERNET ANXIETY AMONG UNIVERSITY STUDENTS IN IRAN: A STUDY IN HIGHER EDUCATION CONTEXT	Reza Movahedi, Yasmin Hashemi

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Giulia Rossi,**	1	EFFECTIVENESS OF PHYSICAL EXERCISES AND SPECIAL GAMES IN IMPROVING PSYCHOMOTOR AND FUNCTIONAL ABILITIES AMONG INTELLECTUALLY DISABLED CHILDREN UNDER 14	Aisha Bello, Chukwudi Eze
		2	INNOVATIVE APPROACHES IN COMPUTER SCIENCE EDUCATION USING VISUAL TECHNOLOGIES	Siti Zainab Al-Farouq, Muhammad Haseeb
		3	KNOWLEDGE MANAGEMENT IN EDUCATION THROUGH DATA ANALYSIS: THE EDULOGIC+ TOOL IN INDIAN ENGINEERING INSTITUTIONS	Rajesh Kumar, Meena Gupta
		4	THE IMPACT OF VIRTUAL WORLDS ON EDUCATION: A PRACTICAL APPROACH TO TEACHING AND LEARNING	Diana Rodriguez, Carlos Gutierrez
		5	THE ROLE OF 3D VIRTUAL WORLDS IN EDUCATION: EXPLORING VIRTUAL CAMPUS CREATION	Sophia Tan, Han Wei Zhang
		6	THE EFFECT OF INSTRUCTIONAL IMMEDIACY ON ONLINE STUDENT ENGAGEMENT AND SUCCESS	Lina Rodriguez, Marco Silva
		7	SOCIAL ISOLATION AND EMOTIONAL WELL-BEING AMONG ITALIAN ADULTS: A COMPARATIVE STUDY	Giulia Rossi, Alessandra Bianchi
		8	PROMOTING CREATIVE THINKING IN ENGINEERING THROUGH PROBLEM-BASED LEARNING	Mohammed Al-Sabah, Hassan Al-Mutairi

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Temidayo Akinyele**	1	THE ROLE OF SCHOOL PRINCIPALS IN SCHOOL GOVERNANCE: IMPACT ON EDUCATIONAL OUTCOMES	Yasmin Ali, Ahmed Zubair
		2	USING SOCIAL MEDIA TO ENHANCE LEARNING EXPERIENCES IN INDONESIAN UNIVERSITIES: A STUDY ON THE IMPACT OF FACEBOOK	Rizki Dharmawan, Sofyan Fadhilah,
		3	THE ROLE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY IN ADVANCING SCIENCE EDUCATION IN KENYA: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT	Akinyi Wambui, Joseph Kimani, Sylvia Ochieng
		4	TRANSFORMATION OF THE EDUCATIONAL SYSTEM IN ALBANIA: FROM TRADITIONAL PRACTICES TO MODERN APPROACHES (1999-2012)	Kreshnik Lleshi, Elira Kola, Drita Gashi
		5	EXPLORING STUDENT UNDERSTANDING IN CHEMICAL BONDING THROUGH DISCUSSION-BASED LEARNING MODELS	Lai Ying Wong
		6	THE ROLE OF KNOWLEDGE EXCHANGE IN POLISH ACADEMIA: A STUDY ON INFORMATION SHARING PRACTICES	Piotr Kowalski
		7	ADAPTING MOODLE LMS TO MEET THE NEEDS OF TANZANIAN SECONDARY SCHOOLS	Dr. Juma Abdulrahman
		8	GENDER INFLUENCE ON JOB COMPETENCIES IN CHEMICAL INDUSTRIES IN NIGERIA	Assis. Prof. Dr. Temidayo Akinyele
		9	MIGRATING NARRATIVES IN JOSEPH O'NEILL'S GLOBAL LITERATURE: A STUDY OF NETHERLAND AND THE DOG	Nina Kowalczuk

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Timur Abzalov**	1	THE IMPACT OF WORKPLACE ENVIRONMENT ON EMPLOYEE MOTIVATION AND JOB SATISFACTION	Ahmed A. El-Baz, Sara M. Shams
		2	REVITALIZING HERITAGE TOURISM THROUGH SUSTAINABLE CITY PLANNING: A STUDY ON ALEXANDRIA, EGYPT	Hassan A. Yousri, Nada M. El-Sayed
		3	THE ROLE OF EDUCATION IN PROMOTING MENTAL WELL-BEING AMONG WORKERS IN SOUTH AFRICA: A STUDY OF COPING MECHANISMS AND STRESS MANAGEMENT	Bongani T. Zulu, Lungile P. Moyo
		4	SOCIAL DYNAMICS OF RURAL COMMUNITIES IN NIGERIA: EXPLORING THE IMPACT OF LOCAL SECURITY MEASURES ON FARMERS' LIVELIHOODS	Chukwuemeka N. Okoro, David A. Chijioke
		5	PSYCHOLOGICAL FACTORS IN UNDERSTANDING MORAL DECISION-MAKING: A COGNITIVE APPROACH	Fatima A. Bakr, Khalid M. Soliman
		6	NEGATIVE EMOTIONS AND WAYS OF OVERCOMING THEM IN PRISON ENVIRONMENTS	Olga Khamidullina, Timur Abzalov
		7	THE DETERMINANTS AND OUTCOMES OF PATHOLOGICAL INTERNET USE (PIU) AMONG URBAN TEENS: A COMPREHENSIVE FRAMEWORK	Fatima Juma, Amina Bakir
		8	INTERNET ANXIETY AND ITS IMPACT ON STUDENTS IN HIGHER EDUCATION IN SERBIA: A STUDY OF THE RESEARCH PROCESS	Djordje Novakovic, Dragana Stojanovic

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Lukáš Svoboda**	1	ISLAMIC CIVILIZATION IN WEST AFRICA: THE ROLE OF THE SOKOTO CALIPHATE IN SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT	Mohammad Buba, Ibrahim Aliyu
		2	TEACHERS' PERCEPTIONS OF THE IMPACT OF TOBEPHOBIA ON JOB SATISFACTION AND EMOTIONS	Kwame Mensah, Akosua Yeboah
		3	KNOWLEDGE MANAGEMENT FOR SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS	Julian Vargas, Maria Gomez
		4	META-TEACHING SKILLS AND IMPROVEMENTS IN CLASSROOM TEACHING QUALITY	Zainab Haji, Faiza Amin
		5	THE ROLE OF STUDENT COUNSELORS IN PROMOTING WELL-BEING AMONG SCHOOLCHILDREN IN THE MIDDLE EAST	Hassan Al-Farhan
		6	THE EFFECTIVENESS OF DRAMA-BASED LEARNING IN FOSTERING CREATIVITY IN PRESCHOOL EDUCATION	Michaela Nováková
		7	PARENTS' PERSPECTIVES ON THE FUTURE OF EDUCATION: A STUDY FROM CENTRAL EUROPE	Lukáš Svoboda
		8	GENDER AND ACADEMIC PERFORMANCE IN STATISTICS: A LEBANESE PERSPECTIVE	Jad Assi

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assis. Prof. Dr. Daniel Brooks**	1	EXPLORING THE CULTURAL SHIFT BETWEEN ONLINE AND FACE-TO-FACE LEARNING ENVIRONMENTS	Yara Shani, Roni Ben-David
		2	THE IMPACT OF CODE SWITCHING IN TERTIARY LEVEL LANGUAGE CLASSROOMS: A MALAYSIAN PERSPECTIVE	Dr. Maya Iskandar
		3	INTEGRATING TECHNOLOGY INTO HIGHER EDUCATION TEACHING PRACTICES: A COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE PHILIPPINES AND CHINA	Lei Zhou, Ying Lin
		4	THE ROLE OF HOTS ACTIVITIES IN PRE-SERVICE TEACHER PREPARATION: A CASE STUDY FROM ISRAEL	Tariq Sharif, Fadi Mahfouz
		5	FLIPPED CLASSROOM MODEL FOR NON-SCIENCE MAJORS: INSIGHTS FROM THE UNITED STATES	Assis. Prof. Dr. Daniel Brooks Dr. Maya Iskandar
		6	DESIGNING A DIGITAL WRITING TOOL TO ENHANCE STUDENT LEARNING: A US-BASED STUDY	Emily Larson, Dr. Jason Walker Yara Shani, Assis. Prof. Dr. Roni Ben-David

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Siti Zainab binti Khalid**	1	IMPACT OF ONLINE ASSESSMENT ON CRITICAL THINKING IN MATHEMATICS EDUCATION	Fatimah Al-Khouri, Zainab Al-Hassan, Faris Nasser
		2	ENGLISH LANGUAGE LEARNING FACTORS AT THE UNIVERSITY OF KHARTOUM	Amal Abdulrahman, Mohamed Ibrahim, Huda Al-Mustafa
		3	PROMOTING MOTIVATION FOR SELF-DIRECTED LEARNING AT THE OPEN UNIVERSITY OF TUNISIA	Omar Ben Ali, Leila Toumi, Rami Fathi
		4	THE ROLE OF OPEN EDUCATIONAL RESOURCES IN ONLINE MATHEMATICS LEARNING	Jamilah Said, Ahmad Zahid, Omar Al-Karim
		5	REIMAGINING GENERAL EDUCATION: ALIGNING CURRICULA WITH INSTITUTIONAL MISSION AND VALUES	Adem Kadir Özdemir
		6	EXPANDING THE ROLE OF BIG DATA IN EDUCATIONAL INNOVATION: IMPLICATIONS FOR LEARNING ANALYTICS	Siti Zainab binti Khalid
		7	THE USE OF FACEBOOK AS AN INNOVATIVE LEARNING PLATFORM IN MALAYSIA: A STRUCTURAL EQUATION MODELING APPROACH	Muhammad Rizal bin Zainal Abidin, Noraini Mohamed, Haris Abdul Rahman
		8	HARNESSING INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY FOR SCIENCE EDUCATION: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN NIGERIA	Ezinne Okwudili Ikenna
		9	TRANSNATIONAL HIGHER EDUCATION IN THE MIDDLE EAST: DEVELOPING A STUDENT SUCCESS MODEL FOR PRE-CLINICAL MEDICAL STUDENTS	Amina Al-Farsi

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Assoc. Prof . Dr. Carlos Soto, Javier Garcia, Dr. Elena Pérez**	1	COLLABORATIVE LEARNING IN HIGHER EDUCATION: A STUDY ON TEAMWORK AND MOTIVATION IN STUDENT GROUPS	Mohammad Al-Mansoori
		2	THE ROLE OF TEACHER TALK IN STUDENT-CENTERED LEARNING ENVIRONMENTS	Lin Xiao
		3	THE IMPACT OF CONSTRUCTIVIST TEACHING ON ENGLISH READING SKILLS FOR MAJOR STUDENTS	Lin Xiao
		4	VIRTUAL SCIENCE HUB: AN OPEN-SOURCE PLATFORM TO ENRICH SCIENCE EDUCATION	Assoc. Prof . Dr. Carlos Soto, Javier Garcia, Dr. Elena Pérez
		5	A TRAINING COURSE DEVELOPMENT TO PROMOTE LEARNING ACTIVITIES OF 2ND YEAR, FACULTY OF EDUCATION STUDENTS USING MULTIPLE INTELLIGENCES THEORY	Chaiwat Waree, Kalanyoo Petcharaporn
		6	ACCESS TO HIGHER EDUCATION IN KENYA: THE UNIVERSITY OF NAIROBI PRE-DEGREE PROGRAM EXPERIENCE	Joseph M. Odhiambo, Grace Akinyi, Samuel W. Njoroge
		7	THE EFFECTIVENESS OF COLLABORATIVE LEARNING IN MATHEMATICS EDUCATION FOR POSTGRADUATES	Siti M. Rahman, Fadil D. Othman, Hani Z. Ahmad
		8	EXPLORING THE CONNECTION BETWEEN ARM ACUPRESSURE POINTS AND TRADITIONAL THAI MASSAGE PRACTICES	Ratchaporn V. Wong, Sarawut T. Jit, Amorn K. Thong
		9	THE ROLE OF RUBRICS IN VOCATIONAL EDUCATION IN MALAYSIA	Ismail Z. Hossain, Nadia R. Sani, Baharuddin N. Ibrahim

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Sophie Ngunjiri**	1	KNOWLEDGE OF DRUG USE AND ANTIBIOTIC PRESCRIPTION PRACTICES AMONG STUDENTS IN THAILAND	Suporn R. Orawan
		2	THE ROLE OF ONLINE LEARNING IN ENHANCING CURRICULUM AND INSTRUCTION FOR MASTER'S DEGREE STUDENTS	Yasmin Mwangi, Chinedu Okoro, Idris Alhassan
		3	FOSTERING COLLABORATIVE LEARNING AMONG LECTURERS IN HIGHER EDUCATION	Siti Rahmah Ahmad, Farah Nurul Kamarudin, Imran Zulfakar
		4	THE DEVELOPMENT OF PERSONALIZED EDUCATIONAL GAMES THROUGH STORYTELLING TECHNIQUES	Hana Lee, Jae Ho Park, Seung Il Lee
		5	EXPLORING VOICE IN THE DEVELOPMENT OF PRE-SERVICE TEACHERS IN EDUCATION PROGRAMS	Oluwaseun Adeyemi, Bola Adeola, Yewande Eniola
		6	MPROVING PRACTICUM PLACEMENTS TO DEVELOP STUDENT TEACHERS INTO PROFESSIONAL EDUCATORS	Amina Mohammed, Kofi Anani, Yaw Obeng
		7	LEARNING PREFERENCES AND TEACHING METHODS IN UNIVERSITY STUDENTS IN TAIWAN: AN EXPLORATORY STUDY	Wei-Ming Lin
		8	THE IMPACT OF COLLABORATIVE LEADERSHIP ON STUDENT ACHIEVEMENT IN SECONDARY EDUCATION: A COMPARATIVE STUDY	Sophie Ngunjiri
		9	EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF REPEATED READING TECHNIQUES FOR IMPROVING READING FLUENCY IN CHILDREN WITH LEARNING DISABILITIES IN INDONESIA	Rina Suryani

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Dr. Glenda A. Gunter**	1	ONLINE LEARNING ENVIRONMENTS AND THEIR IMPACT ON STUDENT ENGAGEMENT AND COLLABORATION IN MAURITIUS	Arvind Goorah
		2	SECURING ONLINE ASSESSMENTS THROUGH REMOTE AUTHENTICATION TECHNOLOGIES: A REVIEW OF DEVELOPMENTS IN NORWAY	Assis. Prof. Dr. Eva Kristensen
		3	THE IMPACT OF INTRINSIC MOTIVATION ON STUDENTS' WILLINGNESS TO ENGAGE WITH SOFTWARE APPLICATIONS	Jin Ho Park, Min Ji Lee
		4	TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL MANAGEMENT IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN	Zhanar Tulegenova, Aida Zhumabekova
		5	THE DEVELOPMENT OF AN INTERACTIVE LEARNING GAME FOR REAL-TIME CONTROL	Alexandros Vasilakis, Maria Koutsou
		6	CATEGORIZING E-LEARNING ACTIVITIES BASED ON MEANINGFUL LEARNING	Eko Prasetyo, Rina Oktaviani, Faisal Sulaiman
		7	EXPLAINING THE RELATIONSHIP BETWEEN LEARNING MOTIVATION AND PERFORMANCE OUTCOMES	Hiroshi Yamamoto
		8	THE EFFECTS OF THE IMPACT OF INSTRUCTIONAL IMMEDIACY ON COGNITION AND LEARNING IN ONLINE CLASSES	Dr. Glenda A. Gunter

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	**Ishaan Kaur**	1	THE IMPACT OF COGNITIVE ABILITIES AND PERSONALITY TRAITS ON ENGINEERING STUDENTS' ACADEMIC SUCCESS	Arundhati Sen, Ishaan Kaur
		2	PAY STRUCTURE AND ITS EFFECT ON EMPLOYEE RETENTION IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS	Adebayo Alabi, Funmilayo Adekunle
		3	TECHNOLOGY INTEGRATION IN TEACHER EDUCATION: A CASE STUDY OF ICT USAGE BY PRE-SERVICE TEACHERS	Zhi Ling, Mei Shan
		4	RIDGING THE SKILLS GAP IN STEM EDUCATION THROUGH EXPERIENTIAL LEARNING	Leila Hassan, Karim Ezzahra
		5	DEVELOPMENT OF A SYSTEMATIC FRAMEWORK FOR CREATIVE THINKING IN STRUCTURAL DESIGN EDUCATION	Wang Lei, Zhang Min
		6	THE IMPACT OF CULTURAL CONTEXT ON TEACHING AND LEARNING: A MULTI-GROUP HLM APPROACH	Kim Eun-ji, Park Ji-hoon
		7	EVALUATION OF ICT TRAINING EFFECTIVENESS FOR EDUCATORS IN EGYPTIAN OPEN LEARNING SYSTEMS	Ahmed Hassan, Fatima El-Sayed
		8	A NEW INSTRUMENT FOR EVALUATING MULTIPLE INTELLIGENCES IN CHILDREN	Nguyễn Văn Tâm, Lê Thị Hương
		9	ENHANCING STUDENT ASSESSMENT WITH A DIGITAL FEEDBACK TOOL	Saleh Al-Mutairi, Aisha Al-Balushi

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	**Dr. Malik Thompson**	1	ACTIVE LEARNING STRATEGIES AND THEIR INFLUENCE ON STUDENT SUCCESS	Akilah Johnson, Dr. Malik Thompson
		2	TECHNOLOGY-ENHANCED LANGUAGE LEARNING: A BALANCED APPROACH TO ENVIRONMENTAL AND ARTEFACT INFLUENCES	Linh X. Tran
		3	CHALLENGING ACCESS TO STEM EDUCATION: REDEFINING STRATEGIES FOR MATHEMATICS READINESS	Xing Y. Zhang
		4	SEMIOTICS IN DESIGN EDUCATION: A STUDY ON COLOR AND VISUAL PERCEPTION	Rahul D. Banerjee, Priya S. Rao
		5	STUDENT SATISFACTION IN WORKPLACE LEARNING: DATA ANALYSIS AND RECOMMENDATIONS	Amina H. Okoro, Chijioke B. Ibe
		6	IMPROVING THE USABILITY OF EDUCATIONAL PORTALS: A CASE STUDY FROM LIBYA	Omar H. Saleh, Layla A. Mansour
		7	TEACHING ENGLISH FOR CRITICAL THINKING IN ENGINEERING EDUCATION	Li Wei Zhang
		8		

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 13	**Assis. Prof. Ayesha Noor**	1	MOBILE CUSTOMER SATISFACTION: NEW DIRECTIONS IN MCRM	Ali Reza Khan, Zainab Faridi
		2	ECONOMIC IMPACT ANALYSIS OF KAFUE NATIONAL PARK	Moses Chibale, Esther Mwansa
		3	INSTITUTIONAL INFLUENCE ON ECONOMIC GROWTH AND DEVELOPMENT	Fatima Abdulkarim, Aisha Musa
		4	CUSTOMER KNOWLEDGE MANAGEMENT: A MODEL FOR EMERGING AFRICAN E-COMMERCE	Kwame Mensah, Abena Adu
		5	IMPROVING E-TAX SYSTEMS IN DEVELOPING COUNTRIES: A CASE STUDY OF TANZANIA	Ahmed Salim, Halima Juma
		6	DEVELOPING A MULTI-AGENT SYSTEM FOR E-MARKET MANAGEMENT	Faisal Khan, Ayesha Noor
		7	A DYNAMIC APPROACH TO SOFTWARE RISK MANAGEMENT USING FINANCIAL ANALOGIES	Arun Prasad, Kavita Iyer
		8	INVESTIGATING THE IMPACT OF WI-FI ADOPTION IN INDIAN EDUCATIONAL INSTITUTIONS	Ramesh Chandra, Deepa Sharma

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 14	**Nguyen Minh Chau,**	1	OPTIMIZING ERP SELECTION THROUGH SYSTEMATIC METHODOLOGIES	Ahmed El-Sayed, Fatima Rashid
		2	EXAMINING THE ROLE OF EMPLOYEE INVOLVEMENT IN ORGANIZATIONAL CULTURE	Fatoumata Diop, Amadou Cissé
		3	MODELING INTERACTIVE STOCK MARKET PATTERNS WITH DYNAMIC NETWORKS	Nguyen Minh Chau, Tran Van An
		4	THE ROLE OF FINANCIAL DEREGULATION IN ENHANCING STOCK MARKET INTEGRATION IN EAST ASIA	Li Wei, Zhang Hui
		5	INSTITUTIONAL CHALLENGES IN INFORMATION SECURITY MANAGEMENT IN CENTRAL ASIA	Askarov Timur, Alimzhanova Dina
		6	TECHNOLOGICAL ADOPTION AND SUPPLY CHAIN OPTIMIZATION AMONG LOGISTICS PROVIDERS IN SOUTHEAST ASIA	Phan Anh, Tran Quoc
		7	EXPLORING THE DYNAMICS OF INNOVATION TEAMS IN EMERGING TECHNOLOGY PROJECTS	Kim Min-Jun, Choi Ji-Woo
		8	THE INFLUENCE OF PACKAGING DESIGN ON CONSUMER TRUST IN SUSTAINABLE FOOD PRODUCTS	Ahmed Saidi, Fatima Abdi
		9	SUSTAINABLE CERTIFICATION SYSTEMS IN AQUACULTURE: IMPACT AND CHALLENGES	Chiang Wei-Lin
		10	MACHINE LEARNING MODELS FOR PREDICTING ECONOMIC INDICATORS: AN APPLICATION IN GDP FORECASTING	Sebastian Meier

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 15	**Tomasz Nowak, Michal Kowalski**	1	MEASURING OPERATIONAL RISK IN THE BANKING SECTOR: A COMPARATIVE SCENARIO ANALYSIS APPROACH	Tomasz Nowak, Michal Kowalski
		2	THE IMPACT OF INVESTMENT UNCERTAINTY ON ECONOMIC GROWTH: EVIDENCE FROM PAKISTAN	Ali Murtaza, Faizan Rehman, Fatima Zahra
		3	REAL OPTIONS AND CAPITAL BUDGETING UNDER UNCERTAINTY: A COMPARATIVE STUDY	Xiaojun Li, Han Lin, Mei Zhang
		4	MONTE CARLO SIMULATION AND THE ROLE OF UNCERTAINTY IN INVESTMENT DECISION-MAKING	Jin Wu, Bo Yang, Li Xu
		5	THE EVOLUTION OF E-AUCTIONS AND THEIR IMPACT ON CONSUMER RIGHTS	Sophie Tan, William Lee, Edward Chen
		6	STRATEGIC MAPS IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT	Liu Wei, Chen Hong, Zhang Mei
		7	THE ROAD TO WEB INTELLIGENCE EVOLUTION	Milan Jovanovic, Ana Petrović, Igor Kovač
		8	AN EXPLORATORY STUDY ON THE MANAGEMENT OF SOCIAL CRISIS IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN	Abdulrahman Alim, Amirbek Dzhusipov, Nurtas Beknazarov

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 16	**Assis. Prof. Dr. Surya Wibowo**	1	ANALYSIS OF MOTIVATIONAL FACTORS IN FILM PIRACY ONLINE	Igor Hruby, Jana Novak, Petr Sliva
		2	NATIONAL SECURITY AND POLITICAL STABILITY IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN	Madiyar Tulegenov, Altynbek Zhumabayev, Nurlan Utepov
		3	SELF-DIRECTED LEARNING AND TECHNOLOGICAL ADAPTABILITY IN THE SOUTH AFRICAN CONTEXT	Lindiwe Mthembu
		4	ENVIRONMENTAL MIGRATION AND PRESS NARRATIVES: A CASE STUDY FROM PORTUGAL	Maria João Silva
		5	DEVELOPING GRADUATE ATTRIBUTES AND EMPLOYABILITY IN THE UK CONTEXT	Dr. Hannah Williams
		6	MANAGING ONLINE PRESENCE AND PRIVACY IN A CONNECTED WORLD: ETHICAL IMPLICATIONS AND PERSONAL REPUTATION	Mei Li, Wei Zhang, Li Hua
		7	A FRAMEWORK FOR SHARING TACIT KNOWLEDGE IN SOCIAL MEDIA ENVIRONMENTS	Chia Cheng, Xiaoming Hu, Qian Wu
		8	AN ISLAMIC APPROACH TO ETHICAL GUIDELINES FOR CORPORATE DIRECTORS	Amirah Nor, Zainal Abidin, Rizal Sani
		9	SPATIAL IMPLICATIONS OF RIVERFRONT HOUSING IN YOGYAKARTA: A STUDY OF SOCIAL AND ECONOMIC BEHAVIOR	Assis. Prof. Dr. Surya Wibowo

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 17	**Assoc. Prof. Dr. Ana Djukic**	1	EXPECTATIONS AND CHALLENGES IN THE IMPLEMENTATION OF RURAL TELECENTRES: A STUDY FROM INDIA	Pradeep Kumar, Anjali Singh, Neelam Verma
		2	CLUSTER DEVELOPMENT OPPORTUNITIES IN EASTERN EUROPEAN REGIONS	Luka Marković, Ivana Jurić
		3	IMPACT OF CLASS ATTENDANCE AND GPA ON STUDENT PERFORMANCE IN ENGINEERING COURSES	Omar Al-Mousa, Rami Al-Farhan, Hani Al-Khaled
		4	THE CHALLENGE OF IMPLEMENTING ORGANIZATIONAL MEMORY SYSTEMS IN MALAYSIAN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS	Maya Rani, Sharifah Shima, Zainab Ibrahim
		5	EXPLORING SOCIAL NETWORKS AND FIRM INNOVATION CAPACITY	Vera Anderson, Maxine Young
		6	E-GOVERNMENT AND KNOWLEDGE SOCIETY DEVELOPMENT IN MONTENEGRO	Assoc. Prof. Dr. Ana Djukic
		7	ENHANCING THE VISUAL INTERPRETATION OF PRESENTATIONS THROUGH STUDENT EYE-TRACKING	Ahmad Zaki, Ayse Sevim, Fadil Moyo
		8	OPTIMIZING E-WASTE TREATMENT DESIGN THROUGH LEAN THINKING APPROACH	Lukas Wenzel, Peter Nduka, Daniela Rodrigues

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 18	**Prof. Dr. Luis González**	1	THE IMPACT OF PRINCIPALS' EMOTIONAL INTELLIGENCE ON TEACHERS' SATISFACTION IN SOUTH AFRICAN SCHOOLS	Sibongile Ndlovu
		2	STRATEGIC MANAGEMENT IN HIGHER EDUCATION NETWORKS FOR INTERNATIONAL COLLABORATION	Prof. Dr. Luis González
		3	THE ROLE OF LIBRARY AND READING HABITS IN UGANDA'S SECONDARY STUDENTS' ACADEMIC PERFORMANCE	Isaac Ndyanababu, Harriet Nakitende, James Otim
		4	INCREASING STUDENT ENGAGEMENT AND MOTIVATION THROUGH INNOVATIVE TEACHING METHODS	Hassan M. Al-Farsi, Layla S. Al-Hashmi
		5	THE IMPACT OF VISUAL GESTURES ON MEMORY RETENTION IN L1 AND L2 SPEAKERS	Andreas P. Georgiou
		6	EXAMINING THE EVOLUTION OF LITERACY PRACTICES IN THE SLOVAK REPUBLIC	Marek Kováč, Jana Novotná
		7	DEVELOPING GLOBAL CITIZENS THROUGH INTERNATIONAL STUDY TOURS: INSIGHTS FROM AUSTRALIAN STUDENTS	Michael B. Carter, Olivia M. Reed
		8	EXPLORING THE ROLE OF VIRTUAL REALITY IN EDUCATION: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES	Zoe T. Dimitriou, Elias K. Vasilakis

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 19	**Miroslav Novák,**	1	THE IMPACT OF INSTRUCTIONAL IMMEDIACY ON LEARNER ENGAGEMENT IN ONLINE EDUCATION	Siti Zahara, Hasnul Baharuddin
		2	A STUDY ON THE STRUCTURAL RELATIONSHIPS OF KNOWLEDGE MANAGEMENT CRITERIA IN ORGANIZATIONS IN SOUTH KOREA	Jung Seok, Lee Minhyuk, Hyojin Kim
		3	ANALYSIS OF JOB ADVERTISEMENTS IN DATA SCIENCE PROFESSIONS USING DATA MINING TECHNIQUES	Maria Chaves, Ricardo Gomes
		4	THE HISTORICAL SIGNIFICANCE OF MEDICAL TEXTS IN 16TH CENTURY OTTOMAN TURKISH: A STUDY ON KITÂB-I TIBB	Serkan Aydın, Ayşe Aktaş
		5	EMOTICONS IN POLITE COMMUNICATION: A COMPARATIVE STUDY BETWEEN ENGLISH AND SLOVAK	Miroslav Novák, Lucia Kováčová
		6	CHILD-REARING STYLES AND FAMILY COMMUNICATION: A STUDY AMONG UNIVERSITY STUDENTS IN ISLAMABAD	Saira Abbas, Ahmed Ali
		7	IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON HISTORICAL BUILDINGS IN PAKISTAN	Sultan Mehmood, Anwar Aziz
		8	TRADITIONAL HOUSING DESIGN AND CLIMATE OPTIMIZATION IN THE MIDDLE EAST	Mohammad Ibrahim, Mustafa Al-Shahrani
		9	THE ETHICAL AND SOCIAL CHALLENGES OF THE INTERNET FOR YOUNG PEOPLE AND THE ROLE OF CURRICULUM	Zhen Li, Xue Jing

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 14:30 – 16:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 20	**Liu Fang**	1	LEAN THINKING FOR OPTIMIZING ELECTRONIC WASTE TREATMENT IN GREECE	Dimitrios Papadopoulos, Giorgos Zorbas
		2	SUSTAINABLE CORPORATE DEVELOPMENT THROUGH SOCIAL RESPONSIBILITY PRACTICES	Liu Wei, Zhang Yu, Li Ming
		3	KNOWLEDGE MANAGEMENT IN FORENSIC SCIENCE: INNOVATIVE APPLICATIONS IN BRAZIL	Fernanda Oliveira, José Carlos Silva, Pedro Martins
		4	EQUALIZING EXTRACURRICULAR EDUCATION RESOURCES IN MEGACITIES: A SPATIAL ANALYSIS APPROACH	Chen Mei, Liu Fang
		5	THE ROLE OF ENVIRONMENTAL ETHICS IN MODERN ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	Mohammad Reza Farhadi, Ali Daryaei, Sohrab Karami
		6	ENHANCING SOFTWARE SYSTEMS SAFETY: A SECURITY-FOCUSED APPROACH IN MODERN TECHNIQUES	Sahar Ghaffari, Reza Karimi
		7	PRESERVING HISTORICAL MONUMENTS IN THE FACE OF CLIMATIC AND ENVIRONMENTAL CHALLENGES	Farah Hosseini, Valiollah Moradi
		8	EXPLORING THE CONCEPT OF 'SENSE OF PLACE' IN ARCHITECTURAL RESEARCH	Nura Ali, Kamaluddin Zainal
		9	DEVELOPMENT OF E-GOVERNMENT CITIZEN ACCEPTANCE IN THE MIDDLE EAST: A CASE STUDY OF SAUDI ARABIA	Sami Al-Harbi, Fatima Al-Shamari

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 17:00 – 19:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. Esin BASIM**	1	A Conceptual Framework for Mapping Landslide Risk and Agricultural Land Loss	Lecturer Dr. Leyla Derin
		2	NOHUT (Cicer arietinum L.) GENETİK KAYNAKLARININ ISLAHTA KULLANIMI	Arş. Gör. Dr. İlker YÜCE
		3	BUĞDAY ISLAHINDA ÖNE ÇIKAN ISLAH KRİTERLERİ	Arş. Gör. Dr. İlker YÜCE
		4	PROBLEMS AND PROPOSED SOLUTIONS OF MEDICINAL AROMATIC PRODUCERS IN ANTALYA CITY CENTER AND SURROUNDING DISTRICTS	Prof. Dr. Esin BASIM Prof. Dr. Hüseyin BASIM
		5	ENDOPHYTIC BACTERIA AND FUNGI ISOLATED FROM SOIL SAMPLES IN ORCHARDS OF ANTALYA PROVINCE	Prof. Dr. Esin BASIM Prof. Dr. Hüseyin BASIM
			ANTALYA PRODUCERS' VIEWS ON GLOBAL WARMING AND AN EVALUATION OF THE EFFECTS OF GLOBAL WARMING ON ANTALYA AGRICULTURE	Prof. Dr. Hüseyin BASIM Prof. Dr. Esin BASIM
			DISEASE AGENTS ISOLATED FROM ORNAMENTAL PLANT PRODUCTION AREAS IN ANTALYA PROVINCE AND THEIR PREVALENCE STATUS	Prof. Dr. Hüseyin BASIM Prof. Dr. Esin BASIM
			THE ROLE OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOCs) IN PLANT-INSECT INTERACTIONS AND THEIR CONTRIBUTION TO BIOLOGICAL CONTROL	Doç. Dr. İsmail ALASERHAT Öğr. Gör. Nagihan KILIÇ
			THE EFFECTIVENESS OF ENTOMOPATHOGENIC FUNGI IN THE MANAGEMENT OF AGRICULTURAL PESTS: A COMPARISON OF BEAUVERIA, METARHIZIUM, LECANICILLIUM, ISARIA, AND OTHER IMPORTANT SPECIES.	Doç. Dr. İsmail ALASERHAT Öğr. Gör. Nagihan KILIÇ Ar. Gör. Dilek Doğan AKDAĞ
		6	SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİ İŞLETMESİNDE ÇALIŞAN PERSONELİN HİJYEN VE SANİTASYON UYUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ : ÇORUM İLİNDE BİR SÜT FİRMASI ÖRNEĞİ	Rahime Nurseli NUGAY
		7	TÜRKİYE'DE TARIM İLACI KULLANIMI, SORUNLAR VE ÖNERİLER	Zir. Müh. Hatice ALABAŞ Prof. Dr. Şule IŞIN
		8	ARPA ISLAHINDA MOLEKÜLER YAKLAŞIMLAR	Arş. Gör. Dr. İlker YÜCE

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 17:00 – 19:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Öğr. Gör. Dr. Mehmet Özer**	1	DESIGN AND PERFORMANCE EVALUATION OF A MODULAR, LIGHTWEIGHT, AND MULTI-PURPOSE PERSONAL WEAPON SYSTEM	Mustafa ÖZKAN Assoc. Prof. Dr. Ahmet FEYZİOĞLU
		2	A STUDY ON THE TYPES OF COMPOSITE MATERIALS USED IN VEHICLES OPERATING IN MARINE TRANSPORTATION AND THE REPAIR OF THEIR DAMAGES	Öğr. Gör. Dr. Mehmet Özer
		3	USE OF COMPOSITE MATERIALS IN TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE ELEMENTS: A REVIEW IN TERMS OF MECHANICAL PERFORMANCE AND SUSTAINABILITY	Öğr. Gör. Dr. Mehmet Özer
		4	DEVELOPMENT OF A MECHANICAL SYSTEM FOR STRIPPING POLYETHYLENE-COATED ELECTRIC RESISTANCE WELDED PIPES	Burak TEMUÇİN Ali O. AYDINNARI Koray GENÇOĞLAN
		5	DEVELOPMENT OF A FAULT DETECTION SYSTEM USING VIBRATION ANALYSIS FOR CRITICAL EQUIPMENT IN WIRE ROD PRODUCTION	Burak TEMUÇİN Halil İ. KURT
		6	PTFE TABANLI MANYETİK KAPLİN TASARIMI VE MÜHENDİSLİK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	Berhan SEYHAN Can Kutay TUÇ Galip ÇAPÇI
		7	DEĞİŞKEN YÜKLER ALTINDA DÖNEL EĞİLMELİ YORULMA TEST CİHAZI TASARIMI VE İMALATI	Yüksek Lisans Öğrencisi Mak. Müh. Emrullah GÜRBÜZ Prof. Dr. Faruk KARACA
		8	RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION AND HEAT HISTORY-DEPENDENT SERVICE LIFE OPTIMIZATION OF HYBRID SILICONE CURING BLADDERS USED IN COMMERCIAL VEHICLE CABIN AIR SPRING MANUFACTURING	ERTUĞRUL MEMİŞ Doç. Dr. HASAN KASIM
		9	ENHANCING THERMAL PERFORMANCE VIA FLOW HOMOGENIZATION IN COMMERCIAL BAKING OVENS: AN EXPERIMENTALLY VALIDATED CFD APPROACH	PhD Student, Remzi TİMUR Assoc. Prof. Dr. Zafer GEMİCİ Prof. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ
		10	EVALUATION OF TRADITIONAL AND LOW-COST DENSITY MEASUREMENT METHODS IN THE PHYSICAL CHARACTERIZATION OF POWDER MATERIALS	Arş. Gör. Ömer KARTALTEPE Dr. Öğr. Üyesi Abdullah UĞUR Doç. Dr. Muhammet Hüseyin ÇETİN
		11	INVESTIGATION OF THE FEASIBILITY OF INDUSTRIAL WASTE MATERIALS THROUGH BALL GRINDING FOR USE AS REINFORCEMENT ELEMENTS IN COMPOSITE MATERIALS.	Arş. Gör. Ömer KARTALTEPE Dr. Öğr. Üyesi Abdullah UĞUR Doç. Dr. Muhammet Hüseyin ÇETİN
		12	AĞIR METAL KİRLİLİĞİNE MARUZ KALMIŞ ZEMİNİN BORİK ASİT REMEDASYONUNUN GEOTEKNİK AÇIDAN İNCELENMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA	Dr. Öğr. Üyesi İNCİ DEVELİOĞLU

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 17:00 – 19:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Dr. Muhammet AYDIN**	1	AN INTEGRATED GIS–REMOTE SENSING ANALYTICAL FRAMEWORK FOR DROUGHT MONITORING AND MANAGEMENT	Dr. Öğr. Üyesi Çağla Melisa Kaya Yıldız
		2	PID POSITION CONTROL OF A TWO-LOOP MECHANISM WITH A SINGLE DEGREE OF FREEDOM	Assoc. Prof. Dr. Muhammet AYDIN
		3	PID VELOCITY CONTROL OF A TWO-LOOP SINGLE-DEGREE-OF-FREEDOM MECHANISM	Assoc. Prof. Dr. Muhammet AYDIN
		4	THE RELATIONSHIP BETWEEN LIGHTNING EVENTS AND PRECIPITABLE WATER VAPOR(PWV)	ZEYNEP GÜLER BİRDEN Doç. Dr. GÖKHAN GÜRBÜZ
		5	KARMA SPİN (3/2, 7/2) BLUME-CAPEL ISING SİSTEMİNİN DİNAMİK MANYETİK HİSTEREZİS EĞRİLERİNİN YOL İHTİMALİYET YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ	Beyza Taş Prof. Dr. Mustafa Gençaslan
		6	EVALUATION OF AIRBORNE LİDAR ACCURACY USING GNSS L-BAND SIGNALS	Lect. Dr. Zümrüt KURTULGU
		7	PREPROCESSİNG STRATEGİES FOR TLS AND ALS POİNT CLOUDS: A USE-CASE-BASED REVİEW	Lect. Dr. Zümrüt KURTULGU
		8	18CrNiMo7-6 ÇELİĞİNE UYGULANAN FARKLI YÜZEY SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİNİN (KARBÜRLEME, KARBONİTRÜRLEME VE NİTRÜRLEME) MİKROYAPI, SERTLİK VE AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİ	MUZAFFER KAŞİFOĞLU
		9	INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF SUSTAINABLE RICE HUSK-REINFORCED ACRYLATE COMPOSITES FABRICATED VIA STEREOLITHOGRAPHY	Arş. Gör. Berk ÖZLER Öğr. Gör. Dr. Saadet GÜLER
		10	AN INVESTIGATION ON THE VIBRATIONAL BEHAVIOR OF GPL REINFORCED METAL-CERAMIC FGM COMPOSITE PLATES UNDER THERMAL LOAD	Kerim Gökhan AKTAŞ Fatih PEHLİVAN
		11	NATURAL FREQUENCY CHARACTERISTICS OF RE-ENTRANT STRUCTURES WITH DIFFERENT DISTRIBUTION TYPES	Fatih PEHLİVAN Kerim Gökhan AKTAŞ
		12	PH OPTİMİZATİON AND ADSORPTİON CAPACİTY İN REMOVAL OF REACTİVE RED 414 WİTH POROUS POLYMER-BASED A0YA	Asudenur UMUTLU Araş. Gör. Yağmur YANIKTEPE Prof. Dr. Ali KARA
		13	ADSORPTİON OF REACTİVE RED 414 ONTO POROUS A0YA POLYMER: INVESTİGATİON OF THE INİTİAL CONCENTRATİON PARAMETER	Asudenur UMUTLU Araş. Gör. Yağmur YANIKTEPE Prof. Dr. Ali KARA

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 17:00 – 19:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Doç. Dr. Mehmet AKYOL Doç. Dr. Mustafa ZUHAL**	1	Assessing Health Insurance Awareness and Its Correlation with Economic Utilization Among Gujjars and Bakarwals For Seeking Health in Jammu and Kashmir	Iliyas Ahmad Rather, Sadam Hussain Pandow,
		2	R&D TAX INCENTIVES AND INDUSTRIAL PERFORMANCE IN TURKEY: A TREND ANALYSIS REVIEW	Dr. İsmail KOÇ Dr. Yunus Emre Yayla
		3	THE MECHANISM OF MIGRATION IN REDUCING INCOME DISTRIBUTION: A SOCIAL CAPITAL-BASED THEORETICAL MODEL	Dr. Recep KOÇ Assist. Prof. Dr. İsmail KOÇ
		4	DOKUMA SANAYİSİNDE PİYASA YOĞUNLAŞMASININ ANALİZİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ	Arş. Gör. Emine ABANOZ Prof. Dr. Gülden ÜLGEN
		5	TÜRKİYE'DE ELEKTRİKLİ ARAÇ TALEBİNİN BİLEŞENLERİ: 2021-2025 DÖNEMİ ELEKTRİKLİ ARAÇ PİYASASININ ANALİZİ	Arş. Gör. Ömer Burak YEL Prof. Dr. Gülden ÜLGEN
		6	THE RELATIONSHIP BETWEEN TOURISM REVENUES AND ECONOMIC GROWTH IN CENTRAL AND EASTERN EUROPEAN COUNTRIES: A PANEL CAUSALITY ANALYSIS	Doç. Dr. Mehmet AKYOL Doç. Dr. Mustafa ZUHAL
		7	THE RELATIONSHIP BETWEEN HEALTH EXPENDITURES AND LABOR PRODUCTIVITY IN G7 COUNTRIES: A KÓNYA PANEL CAUSALITY ANALYSIS	Doç. Dr. Mehmet AKYOL Doç. Dr. Mustafa ZUHAL
		8	THE RELATIONSHIP BETWEEN OFFICIAL DEVELOPMENT ASSISTANCE AND ECONOMIC GROWTH IN TÜRKIYE: AN ANALYSIS WITH STRUCTURAL BREAKS	Asst. Prof. Dr., Özgür ÖZAYDIN Res. Asst., Anıl DAĞDEMİR
		9	THE NON-LINEAR EFFECT OF PUBLIC CONSUMPTION EXPENDITURES ON INFLATION: ARDL BOUND TEST APPROACH FOR THE CASE OF TÜRKIYE	Res. Asst., Anıl DAĞDEMİR Asst. Prof. Dr., Özgür ÖZAYDIN
		10	DAVRANIŞSAL İKTİSAT BAĞLAMINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR AYAKKABI TÜKETİMİNİN BELİRLEYİCİLERİ	Prof. Dr. FERHAT PEHLİVANOĞLU Doktora Öğrencisi YAVUZ USTA
		11	THE ROLE OF WOMEN IN HAZELNUT FARMING: AGRICULTURAL CONTRIBUTIONS AND SOCIAL EFFECTS IN ORDU'S ALTINORDU DISTRICT	Undergraduate Student, SELİN OĞURLU Assoc. Prof. Dr. CENNET ŞANLI
		12	THE RELATIONSHIP BETWEEN INFLATION AND HAPPINESS FROM A BEHAVIORAL ECONOMICS PERSPECTIVE IN TURKEY: THE PERIOD 2005-2024	Prof. Dr. FERHAT PEHLİVANOĞLU Doktora Öğrencisi CANSU ÇALIŞIR ÇETİN
		13	KARBON EMİSYONLARININ BELİRLEYİCİLERİ OLARAK KENTLEŞME VE BÜYÜME: BRICS-T ÜLKELERİ	Dr. Öğretim Üyesi, Esra CEBECİ MAZLUM

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 17:00 – 19:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5v	**Dr. Öğretim Üyesi, TUBA YİYİT**	1	Statecraft and Leadership in the Ramayana: A Blueprint for Ethical Administration,	Assoc. Prof. Dr.Surendra Kumar Dr. Shweta Verma
		2	SOFT LEADERSHIP IN INDIAN HIGHER EDUCATION: ALIGNING EMPATHY AND INNOVATION WITH NEP 2020 REFORMS	Prof Mamta Sharma Prof Sandeep K Sharma
		3	ÖRGÜTSEL YAŞAMDA KADIN ÇALIŞANLARA YÖNELİK ALGILARIN DİJİTAL SÖYLEMLER ÜZERİNDEN İNCELENMESİ: EKŞİSÖZLÜK ÖRNEĞİ	Dr. Öğretim Üyesi, TUBA YİYİT
		4	OVERCOMING SILENT EXCLUSION: THE MEDIATING ROLE OF EMPLOYEE RESILIENCE IN THE RELATIONSHIP BETWEEN WORKPLACE OSTRACISM AND EMOTIONAL EXHAUSTION	Dr. Gülay Murat Eminoğlu
		5	Akademik Etkinliklerde Web 3.0 Yaklaşımı: Blockchain Tabanlı Sertifikasyon ve Yapay Zekâ Destekli Süreç Yönetimi	Ahmet Gökhan ULUÇAY
		6	EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN POVERTY INDICATORS AND HAPPINESS AMONG UNIVERSITY STUDENTS	Dilara KÜÇÜKTANIŞ Prof. Dr. Gülsel KIRAL
		7	AN EMPIRICAL EXAMINATION OF LIFE SATISFACTION AND ENVIRONMENTAL CONSCIOUSNESS: THE CASE OF ÇUKUROVA UNIVERSITY	Melike AKBIYIK GÜN Prof. Dr. Gülsen KIRAL
		8	THIRD-AGE TOURISM VS. ELDERLY CARE: A COMPARATIVE	Sociologist Aysel GÜLEN Prof.Dr.Emine GERÇEK ÖTER
		9	Investigation of Chiropractic Awareness Levels Among Healthcare Workers: A Hospital-Based Study in Bartın Province	Fizyoterapist Şule ALATLI Dr. Öğr. Üyesi Berkay Eren PEHLİVANOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Sefa Haktan HATIK

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 17:00 – 19:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Prof. Dr. Fatma ÇALIŞANDEMİR**	1		
		2	OKUL ÖNCESİ EĞİTİM KURUMLARINDA YAPAY ZEKA KULLANIMINA İLİŞKİN ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİ	Prof. Dr. Necdet KONAN Nidanur GÜRDAL
		3	OKUL ÖNCESİ EĞİTİMDE AİLE KATILIMINI ARTTIRAN VE ENGELLEYEN FAKTÖRLER	Elif YÜKSEL Prof. Dr. Gazanfer ANLI
		4	OKUL ÖNCESİ DÖNEM ÇOCUKLARDA 21. YÜZYIL BECERİLERİNİN SOSYODEMOGRAFİK DEĞİŞKENLERE GÖRE İNCELENMESİ	Prof. Dr. Fatma ÇALIŞANDEMİR Prof. Dr. Perihan ÜNÜVAR Ferda ÖZMEN EV
		5	OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMENLİĞİ LİSANS ÖĞRENCİLERİNİN ÖĞRETMENLİK UYGULAMASI DENEYİMLERİ İLE ÖĞRETMEN KİMLİĞİ ALGILARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	Prof. Dr. Fatma ÇALIŞANDEMİR Prof. Dr. Perihan ÜNÜVAR İrem KAHVECİOĞLU
		6	ERKEN ÇOCUKLUK DÖNEMİNDE KAYNAŞTIRMA ÖĞRENCİLERİ İÇİN AİLE KATILIMI VE ÖĞRENCİ MOTİVASYONUNA YÖNELİK ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİ: TRABZON İLİ ÖRNEĞİ	BERNA ÖZÇEP ALPTUĞ CANBEG AVŞAR Dr. Öğr. Üyesi MEHTAP KOT
		7	OKUL ÖNCESİ DÖNEM ÇOCUKLARININ MOTOR GELİŞİMLERİNDE FİZİKSEL AKTİVİTENİN ROLÜ	Dr. Öğr. Görevlisi, Cihangir KAÇMAZ Ar. Gör. Dr., Kevser ŞEVİK KAÇMAZ
		8	ÖZEL EĞİTİMDE SERBEST ZAMAN BECERİLERİNİN ÖĞRETİMİ: YÖNTEMLER, EĞİLİMLER VE KATILIM DİNAMİKLERİ ÜZERİNE SİSTEMATİK BİR İNCELEME	Doç. Dr. HAVVA AYSUN KARABULUT BETÜL EBRAR YAVRUTÜRK
		9	The Effectiveness of Fixed Delay Teaching in Pattern Formation Skill Instruction for Children with Moderate-Severe Autism Spectrum Disorder	Furkan COŞAN Dicle FİDAN Dr. Mehtap KOT
		10	A STUDY ON THE EFFECTS OF PARENTAL TECHNOLOGY CONFERENCES ON CHILD AND FAMILY COMMUNICATION	Buket TAN YAVUZ Polen ÇINGILOĞLU Prof. Dr. Figen GÜRSOY
		11	ÇOCUK GELİŞİMİNDE BABA KATILIMI VE DESTEKLEYİCİ UYGULAMALAR	Arş. Gör. Esra Nur TUNÇ

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 17:00 – 19:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Dr., Öğr. Üyesi , Ayşegül ŞAHİN**	1	THE IMPACT OF ESG CRITERIA ON PORTFOLIO STRUCTURE IN SUSTAINABLE INVESTMENT FUNDS: A CONCEPTUAL REVIEW	MSc Candidate OĞUZHAN ÖZYOL Prof. Dr. FATİH KONAK
		2	THE ROLE OF MENTAL ACCOUNTING IN SHAPING INVESTMENT STRATEGIES	MSc Candidate OĞUZHAN ÖZYOL Prof. Dr. FATİH KONAK
		3	SCENARIO-BASED EXAMINATION OF MENTAL ACCOUNTING BEHAVIOR IN FINANCIAL DECISIONS	Dr., Öğr. Üyesi , Ayşegül ŞAHİN
		4	THE ROLE OF THE AUDIT COMMITTEE STRUCTURE DURING CRISIS PERIODS	Dr. Öğr. Üyesi, Özge ÖZKAN
		5	SMART SYSTEMS AND RELIABLE FINANCIAL REPORTING: A REVIEW OF EMERGING TECHNOLOGIES IN FRAUD DETECTION	Dr. Öğr. Üyesi, Özge ÖZKAN
		6	DÜZENLEYİCİ VE DENETLEYİCİ KURUMLARDA PARASAL OLMAYAN VARLIKLARIN MUHASEBELEŞTİRİLMESİ VE ENFLASYONİST ETKİ: SAYIŞTAY BULGULARI IŞIĞINDA BİR DEĞERLENDİRME	Dr. Oğuz KUYUMCU
		7	Green Growth Performance Across Countries: An MCDM-Based Assessment with Policy Implications for Sustainable Finance	Master Student, ASMA HEIDARI Assoc. Prof., GÖKHAN ÖZKAYA

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 17:00 – 19:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Doç. Dr. Soner AKIN**	1	RELIGION AS A SOCIAL CAPITAL AND EMIGRATION: A COMPARISON OF ALBANIAN EMIGRANTS IN ITALY AND TURKEY	Ph.D. Matilda LIKAJ
		2	YALIHANINDAN VALHALLA METAL PUBA ÇANAKKALE'DE METAL MÜZİĞİN KENTSEL MEKÂNDA DAĞILIMI: 1997-2025	Dr. Eylem ŞEVİK
		3	A STUDY ON COMMUNICATION AND ALIENATION PROBLEMS IN MODERN FAMILIES	Master's Student, Kadir MEMİŞ Professor, ALİ MUHAMMET BAYRAKTAROĞLU
		4	YAŞLI BAKIMI: İNSAN HAKLARI VE BAKIM YÜKÜ EKSENİNDE BİR DEĞERLENDİRME	Dr. Öğretim Üyesi Zeynep KURNAZ Dr. Öğretim Üyesi Özkan ÖZTÜRK
		5	İHTİYAÇ, SINIR VE PLANLAMA: ÇEVRECİ EKONOMİ ÇERÇEVESİNDE ÇEVRE–EKONOMİ İLİŞKİSİNİ YENİDEN DÜŞÜNMEK	Dr. Öğretim Üyesi Özkan ÖZTÜRK Dr. Öğretim Üyesi Zeynep KURNAZ
		6	SUÇA SÜRÜKLENEN ÇOCUKLAR BAĞLAMINDA AİLE DİNAMİKLERİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Murat DOĞAN Prof. Dr. Melek ZUBAROĞLU YANARDAĞ
		7	YEREL YÖNETİMLERİN SOSYAL POLİTİKA KAPASİTESİ VE GÖÇ: BÜYÜKŞEHİRLERDE SOSYAL HİZMET GÖSTERGELERİNİN AÇIK VERİYLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	Prof. Dr. Veysel EREN Doç. Dr. Soner AKIN
		8	TÜRKİYE'DE GÖÇMEN YOĞUNLUĞU İLE SOSYAL YARDIM HARCAMALARI ARASINDAKİ İLİŞKİ: İL DÜZEYİNDE AÇIK VERİYLE PANEL ANALİZ	Prof. Dr. Veysel EREN Doç. Dr. Soner AKIN
		9	Engelli Çocuğu Olan Ebeveynlerin Sosyal Destek Algıları ve Sosyal Hizmet	Hanim Şener
		10	FAMİLY DYNAMİCS İN THE CONTEXT OF CHELDEREN INVOLVED İN CRİME	Yüksek Lisans Öğrencisi Murat DOĞAN Prof. Dr. Melek ZUBAROĞLU YANARDAĞ
		11	KAYMAKAMLIK KURUMU EKSENİNDE MERKEZ–YEREL İLİŞKİSİ: KURUMSAL EŞGÜDÜM, İDARİ VESAYET VE 6360 SONRASI YENİDEN YAPILANMA	Yüksek Lisans Öğrencisi Fatih Burak GÖKSU Doç.Dr.Çetin KAPLAN

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 17:00 – 19:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Dr. Atiye Ayyıldız Altınbaş**	1	Ortaokul Öğrencilerinde Dijital Bağımlılığın Akademik Başarıya Etkileri: Fenomenolojik Bir Çalışma	Birgül Şahin Prof. Dr. Ahmet ÜSTÜN
		2	İLKOKUL ÖĞRENCİLERİNİN ÖZ DÜZENLEME BECERİLERİ İLE DİJİTAL OYUN BAĞIMLILIĞI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, FATMA SİMGE YAVUZ
		3	Sayı Kavramına İlişkin Yanılgıların Tarihsel Gelişim Süreci Bağlamında İncelenmesi	Dr. Atiye Ayyıldız Altınbaş
		4	İlköğretim Matematik Öğretmen Adaylarının Lineer Bağımlılık ve Lineer Bağımsızlığa İlişkin Sergiledikleri Temsil Biçimleri	Dr. Atiye Ayyıldız Altınbaş
		5	MACARİSTAN EĞİTİM SİSTEMİ	Sarp Kan GÜL Dr. Öğr. Üyesi Hasan Fehmi ÖZDEMİR
		6	YENİ ÖĞRETİM PROGRAMLARININ ALAN BECERİLERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ	Sarp Kan GÜL Doç. Dr. Ömer NAYCİ Dr. Öğr. Üyesi Hasan Fehmi ÖZDEMİR
		7	BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF GRADUATE THESES ON WATER LITERACY IN TÜRKİYE	Asst. Prof., MEHMET KARABAL Master's Student, AHMET CANBOLAT Master's Student, YAVUZ UYAR
		8	MATEMATİK EĞİTİMİNDE AKILLI TAHTA KULLANIMI: ÖĞRENCİ ODAKLI ÇALIŞMALAR ÜZERİNE BİR BİBLİYOMETRİK İNCELEME	Yüksek Lisans Öğrencisi, Selimcan BÜKER Doç. Dr. Sezan SEZGİN
		9	MAARİF MODELİ KAPSAMINDA EĞİTSEL OYUN KULLANIMININ 6. SINIF ÖĞRENCİLERİNİN DENETLEYİCİ ve DÜZENLEYİCİ SİSTEMLER KONUSUNDAKİ AKADEMİK BAŞARILARINA ETKİSİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, NİHAL SEVİM Prof. Dr. MUSTAFA ARSLAN
		10	Pansiyonda Kalan ve Ailesiyle Yaşayan Ortaöğretim Öğrencilerinin Eğitim Süreçlerine İlişkin Öğretmen Görüşlerinin İncelenmesi	Emir Buğra GÜLER Prof. Dr. Ahmet ÜSTÜN
		11		
		12		
		13		

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 17:00 – 19:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Prof. Dr. H. Tuğba EROĞLU**	1	TÜRKİYE'DE CİNSİYET, YAŞ VE KENTLEŞMENİN SİYASAL KONUMLANMAYA ETKİSİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME	Doktorant, M. Sencer Aydemir Doç. Dr. Ender Akyol
		2	PERFORMANCE AUDIT IN LOCAL GOVERNMENTS IN TURKEY	Prof. Dr. H. Tuğba EROĞLU
		3	THE REASONS FOR THE WIDESPREAD ADOPTION OF CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY PRACTICES IN PUBLIC INSTITUTIONS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF EUROPEAN COUNTRIES	ZAFER TAYIM Assist. Prof. Dr. SALİH ARSLAN
		4	SAĞLIK SİSTEMLERİNE YÖNELİK SALDIRILARIN RETROSPEKTİF ANALİZİ (2000–2025) VE POLİTİKA ÖNERİLERİ	Öğr. Gör. Dr. Kemal TORPUŞ Dr. Öğr. Üyesi Fatma GÜNDÜZ ZEYBEKOĞLU
		5	GOVERNMENT EFFECTIVENESS AND CO2 EMISSIONS: EVIDENCE FROM G7 COUNTRIES	Dr. BÜŞRA ŞİMŞEK
		6	THE TRANSFORMATION OF THE HEALTH PARADIGM IN TURKEY'S DEVELOPMENT PLANS: A GENERAL ASSESSMENT BASED ON THE LAST FIVE DEVELOPMENT PLANS	Assist. Prof. SEMA DALKILIÇ Res. Asst. PINAR NUR DALGIÇ
		7	INNOVATIVE TRANSFORMATION IN REGIONAL DEVELOPMENT: A CONTENT ANALYSIS OF THE ENTREPRENEURSHIP AND INNOVATION THEME IN THE 2024–2028 ACTION PLANS OF REGIONAL DEVELOPMENT ADMINISTRATIONS IN TÜRKİYE	Yüksek Lisans Öğrencisi GAMZE İSPİR Doç. Dr. BURHAN AKYILMAZ

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 17:00 – 19:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	**Assoc. Prof. BURÇE AKCAN**	1	INNOVATIONS IN THE USE OF SENSORY TECHNOLOGY IN DIGITAL MARKETING	Int. Master's Student Tuba GÜRGEN Assoc. Prof. Dr. Cihat KARTAL Prof. Dr. Tülin DURUKAN Assist. Prof. Dr. Serhat KARAOĞLAN
		2	THE IMPACT OF GENDER ON THE SUCCESS OF SOCIAL MEDIA INFLUENCERS	Int. Master's Student İrem Dilay HARMAN Int. Master's Student Mahmut Muaz ÜRÜN Assoc. Prof. Dr. Cihat KARTAL Prof. Dr. Tülin DURUKAN Assist. Prof. Dr. Serhat KARAOĞLAN
		3	VİDEO OYUNLARINDA PAZARLAMA STRATEJİSİ: MARKET GÖRSELLERİNDEKİ ESTETİK İDEALİZASYON	Yüksek Lisans Öğrencisi, YILMAZ AŞIKLAR Prof. Dr. Öğretim Üyesi, ALİ MUHAMMET BAYRAKTAROĞLU
		4	THE IMPACT OF THE TÜRKİYE-EU CUSTOMS UNION ON FOREIGN TRADE BETWEEN TÜRKİYE AND BRICS COUNTRIES	YUSUF AKARSU Asst. Prof. Dr. TAYFUR SÜLEYMAN KOÇ
		5	CHINA IN TURKIYE'S FOREIGN TRADE	Cem SEYHAN Prof. Dr. Halil ERDEMİR
		6	THE ENTREPRENEURS' PSYCHOLOGICAL RESILIENCE: THE ROLE OF BUSINESS AGE AND BUSINESS SIZE	Izmy Ratih AZIZAH
		7	CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MARKETING AND ADVERTISING	Assoc. Prof. BURÇE AKCAN
		8	ADVERTISING AS GAMEPLAY	Assoc. Prof. BURÇE AKCAN

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 17:00 – 19:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	**Doç. Dr. ŞEBNEM YÜKSEL**	1	STRUCTURE BUILDING IN CHOREOGRAPHY THROUGH THE COURSE OF MERCE CUNNINGHAM, JUDSON DANCE THEATER, TRISHA BROWN AND WILLIAM FORSYTHE	Doç. Dr. ŞEBNEM YÜKSEL
		2	HAYVAN FİGÜRLERİYLE KURGULANAN MEKÂN: M.C. ESCHER'İN BASKIRESİMLERİNDE DOĞA VE GEOMETRİ	Doç. Dr. Gökçe Aysun Kılıç
		3	FIRÇADAN PROMPTA: HİBRİT ZEKÂ ÇAĞINDA İNSAN FAİLLİĞİ Sağlık, Akademi ve Sanatta Ajans–Katkı–Sorumluluk (AKS) Çerçevesi	Dr. Öğretim Üyesi Hatice BÜBER KAYA
		4	POSTMODERN SANATTA METİNLERARASILIK: ALINTI, ESİNLENME VE PASTİŞ EKSENİNDE YENİ YAKLAŞIMLAR	Doç. Dr. AYSUN CANÇAT
		5	ÜRETKEN YAPAY ZEKA TEKNOLOJİLERİ VE SANAT ÜRETİMİ SÜREÇLERİ	PROF. DR. ANIL ERTOK KEREM GÜLEM
		6	REINTERPRETATION OF MOTIFS USED IN TURKISH CULTURE IN AN ARTISTIC CONTEXT THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE	Prof.Dr. Anıl ERTOK Şüheda YILMAZ
			INABİLİTY TO GO: MİGRATİON, MOVEMENT, AND WAİTİNG İN EMİLY JACİR'S ARTİSTİC PRACTİCE	Prof. Ayşegül Türk
		7	ANADOLU VE TÜRK KÜLTÜR COĞRAFYASINDA GELENEKSEL MOTİFLERİN GÜNCEL TASARIMLARA AKTARIMI	Sibel ERDURAN Zeynep DUMAN

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES December 30, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / Dec 30, 2025 / 17:00 – 19:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 13	**Doç. Dr. Esra DEMİR ÖZTÜRK**	1	NATURE AND CHİLDHOOD FROM A CHİLDREN'S RİGHTS PERSPECTİVE: AN EXAMİNATİON OF THE LAST CHİLD İN NATURE	Büşra ÇAKIR ÜMİT Doç. Dr. Esra DEMİR ÖZTÜRK
		2	Reflections of Interaction with Nature on Areas of Child Development: The Last Child in Nature Example	Gülbin SEYKAN Doç. Dr. Esra DEMİR ÖZTÜRK
		3	The Effect of Nature Experiences on Creativity in Early Childhood: An Analysis Based on Richard Louv's Last Child in the Woods	Ceylan ÇELİK Doç. Dr. Esra DEMİR ÖZTÜRK
		4	Examining Family Attitudes in the Context of Last Child in the Woods	Ömer TEKİN Doç. Dr. Esra DEMİR ÖZTÜRK
		5	ORTAOKUL İNGİLİZCE ÖĞRETMENLERİNİN YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ İNGİLİZCE ÖĞRETİMİNE İLİŞKİN GÖRÜŞ, DENEYİM VE ÖNERİLERİ	Berkan SALIK
		6	ORTAOKUL FEN BİLİMLERİ DERSİNDE DİJİTAL EĞİTİCİ OYUNLAR KULLANIMININ ÖĞRENCİLERİN AKADEMİK BAŞARISINA VE FENE YÖNELİK TUTUMLARINA ETKİSİ	Büşra Kürsü Örencik Prof. Dr. Mustafa Arslan
		7	YENİ İSTANBUL B1 DERS KİTABINDAKİ YAZMA BÖLÜMÜNDEKİ SORULARIN "METİN YAZMA YÖNTEM VE TEKNİKLERİ BAKIMINDAN" DEĞERLENDİRİLMESİ	Öğr. Gör. Gizem TÜRE
		8	Doğa Temelli Fen Eğitiminin Özel Gereksinimli Öğrenciler Üzerindeki Etkileri: Etkileşimli Doğa Eğitimi Programı Örneği	Prof. Dr. S.Sunay YILDIRIM DOĞRU Selenay GÜLER Sıla BOYACI Dr. Doğan Seyfettin ALDAĞ Dr. Süleyman DOĞRU Sibel AĞAOĞLU ÖZER Aysel KARCI
		9	MÜZİK EĞİTİMİNİN METAFORLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Doç. Dr. ÖZLEM ÖZTÜRK Doç. Dr. GÖKHAN ÖZTÜRK
		10	SINIF ÖĞRETMENİ ADAYLARININ MÜZİK EĞİTİMİNDEN BEKLENTİLERİ	Doç. Dr. ÖZLEM ÖZTÜRK Doç. Dr. GÖKHAN ÖZTÜRK

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. Nadia Cherif**	1	PREVALENCE AND MANAGEMENT OF DENTAL CARIES AMONG SCHOOL CHILDREN IN RURAL TANZANIA	Prof. Dr. Amina Hassan, Dr. Juma Kilonzo
		2	ORAL HEALTH IMPACTS OF HIV/AIDS ON ADULT PATIENTS IN DAR ES SALAAM COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Elias Mushi, Fatma Swai
		3	TRADITIONAL HERBAL REMEDIES EFFICACY FOR DENTAL PAIN MANAGEMENT IN TANZANIAN VILLAGES	Dr. Zuberi Nkya, Rehema Joseph
		4	DIGITAL DENTISTRY APPLICATIONS FOR PROSTHODONTIC REHABILITATION IN TUNISIAN ELDERLY	Prof. Dr. Karim Ben Ali, Dr. Nadia Cherif
		5	ORTHODONTIC TREATMENT OUTCOMES USING CLEAR ALIGNERS IN TUNISIAN ADOLESCENTS	Assoc. Prof. Dr. Sami Karray, Leila Hadji
		6	PERIODONTAL REGENERATIVE THERAPIES USING TUNISIAN DATE PALM DERIVED BIOMATERIALS	Dr. Hassen Trabelsi, Monia Ben Salem
		7	LASER-ASSISTED CARIES REMOVAL TECHNIQUES IN MARRAKECH PEDIATRIC DENTISTRY	Prof. Dr. Ahmed El Amrani, Dr. Fatima Zahra
		8	3D PRINTED SURGICAL GUIDES FOR DENTAL IMPLANT PLACEMENT IN MARRAKECH CLINICS	Assoc. Prof. Dr. Youssef Bennani, Sara El Khadim
		9	NANOHYDROXYAPATITE TOOTHPASTE EFFICACY FOR ENAMEL REMINERALIZATION IN MARRAKECH	Dr. Rachid Lahlou, Amina Serghini
		10	REGENERATIVE ENDODONTICS PROTOCOLS FOR IMMATURE PERMANENT TEETH IN MALAYSIAN CHILDREN	Prof. Dr. Noor Azlin, Dr. Kumarasan Retnam
		11	LASER-ASSISTED PERIODONTAL THERAPY OUTCOMES IN MALAYSIAN DIABETIC PATIENTS	Assoc. Prof. Dr. Siti Mariam, Ahmad Fariz

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Assoc. Prof. Dr. Juma Mfinanga,	1	EFFECTS OF PERIODIZED RESISTANCE TRAINING ON MUSCLE HYPERTROPHY AND STRENGTH GAINS IN ELITE HUNGARIAN WEIGHTLIFTERS	Prof. Dr. László Kovács, Dr. Anna Szabó, Tamás Nagy
		2	NEUROMUSCULAR ADAPTATIONS TO HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING IN PROFESSIONAL HUNGARIAN SOCCER PLAYERS	Assoc. Prof. Dr. Gábor Tóth, Zoltán Kiss
		3	BIOKINEMATIC ANALYSIS OF OLYMPIC FENCING TECHNIQUES IN HUNGARIAN NATIONAL TEAM ATHLETES	Dr. Orsolya Farkas, Miklós Varga, Prof. Dr. István Szabó
		4	NUTRITIONAL STRATEGIES FOR ENDURANCE PERFORMANCE ENHANCEMENT AMONG TANZANIAN MARATHON RUNNERS	Assoc. Prof. Dr. Juma Mfinanga, Amina Hassan
		5	HEAT ACCLIMATION PROTOCOLS FOR TEAM SPORTS PERFORMANCE IN TANZANIA'S TROPICAL CLIMATE	Dr. Elias Ndugu, Fatuma Kikoti, Prof. Dr. Salum Ramadhani
		6	ANTHROPOMETRIC PROFILING AND TALENT IDENTIFICATION IN TANZANIAN YOUTH SOCCER ACADEMIES	Samwel Massawe, Dr. Rehema Kweka
		7	HYDRATION STRATEGIES AND COGNITIVE PERFORMANCE DURING PROLONGED CRICKET MATCHES IN INDIA	Assoc. Prof. Dr. Sanjay Patel, Neha Gupta
		8	WEARABLE TECHNOLOGY APPLICATIONS FOR LOAD MANAGEMENT IN INDIAN KABADDI PLAYERS	Dr. Vikram Reddy, Anjali Desai
		9	MENTAL TOUGHNESS TRAINING PROGRAMS FOR INDIAN SHOOTING ATHLETES PREPARING FOR OLYMPIC QUALIFICATION	Prof. Dr. Meera Joshi, Rohan Mehra

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Assoc. Prof. Dr. Juma Kayange	1	IMPROVED DROUGHT-TOLERANT MAIZE VARIETIES THROUGH GENOMIC SELECTION IN HUNGARIAN FIELD TRIALS	Prof. Dr. István Nagy, Dr. Anna Kovács, László Tóth
		2	PRECISION VITICULTURE TECHNOLOGIES FOR ENHANCING GRAPE QUALITY IN TOKAJ WINE REGION	Assoc. Prof. Dr. Gábor Szöllősi, Eszter Balogh
		3	BIOLOGICAL CONTROL OF COLORADO POTATO BEETLE USING ENTOMOPATHOGENIC NEMATODES IN HUNGARIAN POTATO CROPS	Dr. Zoltán Vajda, Márton Farkas, Prof. Dr. Judit Halász
		4	CLIMATE-RESILIENT CASSAVA VARIETIES FOR SMALLHOLDER FARMERS IN TANZANIA'S DRYLANDS	Assoc. Prof. Dr. Juma Kayange, Amina Hassan
		5	IMPROVED PIGEON PEA PRODUCTION SYSTEMS FOR INTERCROPPING IN TANZANIAN SMALLHOLDER FARMS	Dr. Elias Nchimbi, Fatuma Mushi, Lucas Swai
		6	VERTICAL SOIL PROFILING FOR PRECISION FERTILIZER APPLICATION IN TANZANIAN MAIZE SYSTEMS	Prof. Dr. Hamisi Kilama, Zawadi Joseph
		7	ORGANIC HORTICULTURE SYSTEMS FOR MARKET-ORIENTED VEGETABLE PRODUCTION IN INDIA	Assoc. Prof. Dr. Rajesh Kumar, Priya Sharma, Amit Singh
		8	DRONE-BASED PHENOTYPING FOR SORGHUM BREEDING IN RAINFED SEMI-ARID REGIONS OF INDIA	Dr. Sanjay Patel, Neha Gupta
		9	MICRO-IRRIGATION SYSTEMS OPTIMIZATION FOR WATER-SCARCE FRUIT ORCHARDS IN RAJASTHAN	Prof. Dr. Meera Joshi, Vikram Reddy, Anjali Desai

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Prof. Dr. Odgerel Chuluunbaatar,**	1	GENOMIC DIVERSITY AND ADAPTIVE EVOLUTION IN CAUCASUS POPULATIONS OF GEORGIA	Prof. Dr. Nino Tsiklauri, Dr. Levan Beridze, Mariam Kapanadze
		2	CRISPR-CAS9 MEDIATED GENE EDITING FOR RARE CARDIOMYOPATHIES IN GEORGIAN COHORTS	Assoc. Prof. Dr. Irakli Gelashvili, Tamar Lomidze
		3	MITOCHONDRIAL GENOME VARIATION AND MATERNAL LINEAGE TRACING IN GEORGIAN ETHNIC GROUPS	Dr. Giorgi Khutsishvili, Lasha Tsintsadze, Prof. Dr. Maka Chikvaidze
		4	EPIGENETIC MODIFICATIONS ASSOCIATED WITH NOMADIC LIFESTYLES IN MONGOLIAN HERDER POPULATIONS	Assis. Prof. Dr. Batbold Enkhtur, Sarantuya Ganbold
		5	GENETIC DIVERSITY OF LIVESTOCK BREEDS AND CONSERVATION STRATEGIES IN MONGOLIAN STEPPES	Dr. Tumentsogt Ganzorig, Enkhjargal Munkhbayar
		6	MICROBIOME-GENOME INTERACTIONS IN MONGOLIAN HORSE DIGESTIVE TRACT ADAPTATIONS	Prof. Dr. Odgerel Chuluunbaatar, Bolormaa Tsogt
		7	TELOMERE LENGTH DYNAMICS AND CANCER SUSCEPTIBILITY IN IRANIAN HIGH-RISK FAMILIES	Assoc. Prof. Dr. Reza Mohammadi, Sara Langaroodi, Ali Rezaei
		8	PHARMACOGENOMICS OF ANTI-EPILEPTIC DRUG RESPONSE IN IRANIAN PEDIATRIC POPULATIONS	Dr. Mina Hosseini, Yasaman Sharifi
		9	CIRCULATING TUMOR DNA ANALYSIS FOR MINIMAL RESIDUAL DISEASE DETECTION IN IRANIAN COLORECTAL CANCER PATIENTS	Prof. Dr. Mohammad Jafari, Fatemeh Karimi, Mehran Tavakoli

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Amina Korir,**	1	**EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF FOOT-AND-MOUTH DISEASE IN KENYAN LIVESTOCK POPULATIONS**	Prof. Dr. James Mwangi, Dr. Amina Korir,
		2	**ASSESSMENT OF ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS IN MASTITIS CAUSING BACTERIA FROM DAIRY COWS**	Assoc. Prof. Dr. Esther Njoroge, Kipchoge Chebet, Dr. Miriam Wanjiku , Samuel Otieno
		3	**NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR IMPROVING POULTRY GROWTH PERFORMANCE IN ARID REGIONS**	Dr. Patrick Omondi, Fatma Ali, Joseph Kiptoo
		4	**IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON TICK-BORNE DISEASES IN EAST AFRICAN WILDLIFE**	Assis. Prof. Dr. Leah Simiyu, Benson Mutua, Grace Wambui
		5	**DEVELOPMENT OF VACCINES AGAINST AVIAN INFLUENZA IN PAKISTANI POULTRY FARMS**	Prof. Dr. Khalid Mahmood, Ayesha Khan
		6	**PARASITIC INFESTATIONS AND ANTHELMINTIC EFFICACY IN SHEEP FLOCKS OF PUNJAB**	Dr. Faisal Rehman, Sana Malik, Zainab Noor
		7	**STRATEGIES FOR CONTROLLING AFRICAN SWINE FEVER IN BRAZILIAN PIG PRODUCTION**	Assoc. Prof. Dr. Carlos Silva, Dr. Mariana Costa, João Pereira , Dr. Beatriz Lima
		8	**BIOLOGICAL CONTROL OF NEEM-BASED REPELLENTS AGAINST CATTLE TICKS IN BRAZIL**	Prof. Dr. Ana Oliveira, Rodrigo Santos,
		9	**EFFECTS OF PROBIOTICS ON GUT MICROBIOTA IN NEWBORN CALVES**	Eduardo Ramos, Assis. Prof. Dr. Sofia Mendes, Larissa Ferreira
		10	**EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF FOOT-AND-MOUTH DISEASE IN KENYAN LIVESTOCK POPULATIONS**	Prof. Dr. James Mwangi, Dr. Amina Korir, Samuel Otieno

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assoc. Prof. Dr. Nadia Ismail,**	1	**IMPACT OF NURSE-LED PATIENT EDUCATION PROGRAMS ON DIABETES MANAGEMENT OUTCOMES IN EGYPTIAN RURAL COMMUNITIES**	Prof. Dr. Fatima Abdelrahman, Dr. Ahmed Hassan, Sara Mahmoud
		2	**EFFECTIVENESS OF TELEHEALTH NURSING INTERVENTIONS FOR HYPERTENSIVE PATIENTS IN CAIRO**	Assoc. Prof. Dr. Nadia Ismail, Mohamed Salem, Dr. Layla Karim
		3	**POSTOPERATIVE PAIN MANAGEMENT STRATEGIES IMPLEMENTED BY NURSES IN EGYPTIAN SURGICAL WARDS**	Dr. Omar Khalil, Aisha Rahman, Karim El-Sayed
		4	**PREVENTIVE CARE TRAINING FOR NURSES TARGETING MATERNAL MORTALITY REDUCTION IN UPPER EGYPT**	Assoc. Prof. Dr. Hala Mostafa, Dr. Youssef Nasser, Fatima Ali
		5	**NURSE EDUCATION MODELS FOR EMERGENCY RESPONSE IN TB PATIENT CARE IN TBILISI HOSPITALS**	Prof. Dr. Nino Gelashvili, Dr. Levan Tsiklauri
		6	**MENTORSHIP PROGRAMS FOR NOVICE NURSES IN PEDIATRIC INTENSIVE CARE UNITS IN GEORGIA**	Dr. Tamar Kapanadze, Irakli Beridze, Lali Chikhradze
		7	**CHALLENGES IN NURSE TRAINING FOR INFECTIOUS DISEASE CONTROL IN YEMEN CONFLICT ZONES**	Assoc. Prof. Dr. Ahmed Al-Mansoori, Dr. Faisal Saleh ,Khalid Rahman, Noor Alawi
		8	**COMMUNITY HEALTH NURSING STRATEGIES FOR MALNUTRITION PREVENTION AMONG YEMENI CHILDREN**	Dr. Sana Hussein,
		9	**WOUND CARE PROTOCOLS DEVELOPED BY NURSES FOR CHRONIC ULCERS IN YEMENI REFUGEE CAMPS**	Prof. Dr. Mohammed Qasim, Amina Tariq

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Sami Benkhelifa**	1	AUTONOMOUS CONTROL STRATEGY FOR MULTI-ROTOR UAVs IN COMPLEX ENVIRONMENTS	Ahmed Taha, Khaled Mansour
		2	THERMAL STRESS ANALYSIS IN LIQUID-PROPELLANT ROCKET ENGINES USING THE SUBSTRUCTURE METHOD	Tariq Alhaj, Lina Mustafa
		3	IMPROVEMENTS IN TITANIUM ALLOY FORMABILITY THROUGH INCREMENTAL SHEET FORMING	Khalil Mansouri, Yasmine Hachem
		4	IMU/GPS INTEGRATION ALGORITHM FOR ENHANCED NAVIGATION IN LAND VEHICLES	Sami Benkhelifa, Rania Fadili
		5	IMPACT OF AEROBIC EXERCISE ON PANCREATIC HORMONES IN MALE STUDENTS	Olumide Adesola, Chijioke Okafor
		6	FACTORS INFLUENCING VOLUNTEER COMMITMENT IN SPORT EVENTS	Amina Nkosi, Titiola Ayodele, Fola Adegoke
		7	FOOD HABITS AND NUTRITIONAL STATUS OF RUGBY PLAYERS IN FIJI	Mariana Tui, Niko Vakarau, Sera Nabangi
		8	EFFECT OF STRENGTH CAPABILITIES ON HANDSTAND PERFORMANCE QUALITY	Milan Novák, Eva Hronová, Petr Dostál
		9	EVALUATION OF THE OBJECTIVITY AND RELIABILITY OF PUSH-UP TESTING AMONG UNDERGRADUATE STUDENTS IN SPORT SCIENCE PROGRAMS	Amir Hussein Ali, Fatima Zahra Amsari

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Chigozie Chukwuma Okoro**	1	EVALUATION OF TRAFFIC CONTROL STRATEGIES: COMPARING SIGNALIZED INTERSECTIONS AND ROUNDABOUTS	Oluwaseun Abiola Adeyemi, Chigozie Chukwuma Okoro
		2	URBAN PLANNING AND ADAPTATION IN CHINA: EXAMINING THE CASE OF CHANGSHOU DISTRICT	Wang Hao, Liu Qing
		3	HYBRID LIVING MODELS IN THE POST-CRISIS ERA: REDEFINING SPACES AND SOCIAL CONNECTIONS	Ming Zhao, Hui Li
		4	EXPLORING THE POTENTIAL OF SNAKE SKIN FOR DRUG DELIVERY APPLICATIONS	Viktor Novák, Katerina Tomicová
		5	PRECISION CONTROL IN DRUG DELIVERY: IMPACT OF POLYVINYL PYRROLIDONE AND ETHYL CELLULOSE ON DRUG RELEASE KINETICS	Nikolai Petrov, Anastasia Ivanova
		6	ENHANCING PET IMAGING WITH AMINOPOLYETHER-CONJUGATED 18F-FDG	Jing Wei, Mei Liu
		7	FIBRINOLYTIC PROTEASE-PRODUCING ENDOPHYTIC FUNGI FROM PLANT LEAVES AS A SOURCE OF BIOACTIVE COMPOUNDS	Dr. Amina Zhen, Dr. Meiling Chen
		8	DESIGNING A MECHANICAL FORCE GAUGE FOR INNOVATIVE WATERMELON MOLDING TECHNIQUES	Dr. Radhika Sharma, Dr. Poonam Kaur

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Dr. Salma Ismail, Dr. Akinwale Adeyemi**	1	IMPACT OF EXERCISE ON REPRODUCTIVE PERFORMANCE IN SAHIWAL BULLS: GUIDELINES FOR OPTIMAL BREEDING PRACTICES	Dr. Salma Ismail, Dr. Akinwale Adeyemi
		2	EFFECTS OF HERBAL SEED SUPPLEMENTATION ON CARCASS YIELD AND ANTIOXIDANT STATUS IN BROILER CHICKENS	Dr. Nabilah Samir, Dr. Kareem Amr
		3	ENHANCEMENT OF MEMBRANE DISTILLATION PERFORMANCE IN FRUIT JUICE CONCENTRATION THROUGH MEMBRANE SURFACE MODIFICATION	Dr. Hasim Hossain, Dr. Ashok Kumar
		4	DEVELOPMENT OF A NEW TYPE OF FRUIT VINEGAR USING AN ISOLATED ACETOBACTER STRAIN FROM TURKISH APRICOTS	Ahmet Yılmaz, Elif Karaoğlu, Mehmet Çelik
		5	OPTIMAL FERMENTATION TIME FOR XANTHAN GUM PRODUCTION USING SUGAR BEET MOLASSES AS A CARBON SOURCE	Zeynep Arslan, Bahar Korkmaz, Selin Tunç
		6	EFFECT OF FRUIT JUICE WASTE MIXTURE ON BROILER PERFORMANCE AND FEED EFFICIENCY IN INDONESIAN DIETS	Budi Santoso, Rina Dewi, Ahmad Syaifuddin
		7	IMPACT OF NANOCROP ADOPTION ON FOOD SECURITY: A CASE STUDY FROM INDONESIA	Siti Aisyah, Reza Wijaya, Riko Wulandari
		8	APPLICATION OF SOUS VIDE PACKAGING FOR EXTENDING SHELF LIFE OF SALAD WITH MEAT IN MAYONNAISE	Agnese Straujuma, Ilze Sproģe, Anna Dzenīte
		9	COMPARATIVE ANALYSIS OF BACTERIAL CELLULOSE PRODUCED BY GLUCONACETOBACTER XYLINUS FROM ALTERNATIVE SUGARS	Liam Chua, Sarah Tan, Wei Lin Cheong

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Dr. Paolo Castaldo, Dr. Luigi Esposito**	1	DISCOVERY OF FIBRINOLYTIC PROTEASE-PRODUCING FUNGI FROM HIBISCUS LEAVES IN ALGERIA	Dr. Mourad Belhadj, Dr. Samia Amine, Prof. Dr. Ahmed Bouziane
		2	EFFECTS OF BOVINE COLOSTRUM SUPPLEMENTATION ON INTESTINAL ENZYME ACTIVITY IN JUVENILE DOURADO (Salminus brasiliensis)	Dr. Mohamed Jebali, Prof. Dr. Yassir Abdelghani University of Tunis, Tunisia
		3	THE INNOVATIVE DESIGN OF A MECHANICAL FORCE GAUGE FOR SQUARE WATERMELON SHAPING	Dr. Paolo Castaldo, Dr. Luigi Esposito
		4	CYTOTOXICITY SCREENING OF NIGELLA SATIVA EXTRACTS: FRACTIONATION AND EVALUATION USING SULFORHODAMINE-B ASSAY	Ali Kamara, Mariama Ba, M'barka N'Dour
		5	IMPACT OF AMINOPOLYETHER ON 18F-FDG STABILITY AND PET IMAGING PERFORMANCE	Luciana Costa, João Santos, Pedro Martins
		6	Amino Acid-Driven Biodegradable Micelles for Targeted Drug Delivery	Ricardo Almeida, Sofia Pereira, Elena Costa
		7	EVALUATING THE CONSEQUENCES OF LOST TO FOLLOW-UP ON TUBERCULOSIS PATIENTS' QUALITY OF LIFE IN MOROCCO	Fatimah Benali, Ibrahim Tazi, Khadija Benlahcen
		8	UNVEILING THE ANTIBACTERIAL EFFICACY OF CHLOROBUTANOL: SYNTHESIS AND APPLICATIONS IN INFECTIOUS DISEASE THERAPY	Samira Jafari, Ali Rezaei, Niloofar Mohammadi
		9	ANTIBIOTIC STEWARDSHIP IN ACUTE CARE SETTINGS OF ALGERIA: AN ANALYSIS OF PRESCRIBING PATTERNS AND STRATEGIES FOR IMPROVEMENT	Hassan Belkacem, Karim Khellaf, Anwar Lakhdar

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	**Dr. Rachid Benhalima, Dr. Samira Ziani**	1	HEPATOPROTECTIVE EFFECTS OF SHARBAT DEENAR: A STUDY ON CARBON TETRACHLORIDE-INDUCED LIVER DAMAGE IN RATS	Sara Gul, Usman Ahmad, Faisal Rehman
		2	EVALUATING THE ANTIMICROBIAL EFFICACY OF CHLOROBUTANOL: SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND POTENTIAL APPLICATIONS	Musa Adamu, Kola Oyelami, Ibrahim Musa
		3	OPTIMIZING FENOFIBRATE DISPERSIBLE TABLETS FOR PEDIATRIC USE: A FORMULATION STUDY AND EVALUATION	Mona Al-Sabah, Zainab Habib, Khalid Al-Mansour
		4	EXPLORING THE ANTIFUNGAL PROPERTIES OF TRADITIONAL KENYAN MEDICINAL PLANTS: A STUDY BASED ON INDIGENOUS KNOWLEDGE	Joseph Kamau, Naomi Wambui, Patrick Muriuki
		5	EXPLOITING THE MEDICINAL POTENTIAL OF TOXIC PLANTS: A STUDY ON TRADITIONAL MEDICINE IN TLEMCEN, ALGERIA	Dr. Rachid Benhalima, Dr. Samira Ziani
		6	ENHANCING ANTIPLATELET THERAPY USING SILVER DIAMINE FLUORIDE IN DRUG DELIVERY SYSTEMS: A DETAILED STUDY	Dr. Anand Choudhary, Dr. Rahul Mehta
		7	DEVELOPING A NOVEL BIOMIMETIC MODEL USING SHED SNAKE SKIN FOR TRANSDERMAL DRUG DELIVERY STUDIES	Dr. Leila Hachemi, Dr. Nouria Belkacem
		8	ENHANCING GLIBENCLAMIDE DELIVERY USING POLYMERIC MATRICES: A STUDY ON RELEASE KINETICS AND EFFICACY	Dr. Zohra Benouda, Dr. Samir Zaki
		9	OPTIMIZING NITROGEN FERTILIZATION USING MICROORGANISM-ASSISTED BIOSORPTION IN AGRICULTURE	Dr. Marco Bellini, Dr. Anna Giordano

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	**. Prof. Dr. Ibrahim Kamara**	1	ENHANCING THE GROWTH AND YIELD OF NIGELLA SATIVA L. USING ORGANIC AMENDMENTS: A COMPARATIVE STUDY	Dr. Adebayo Oluwaseun, Assoc. Prof. Dr. Ibrahim Kamara
		2	COMPREHENSIVE STUDY ON THE NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL BENEFITS OF OATS	Dr. Kwame Mensah, Dr. Nana Yaw Osei
		3	REVOLUTIONIZING AGRICULTURE WITH AMBIENT INTELLIGENCE: A REVIEW OF INNOVATIVE PRACTICES	Dr. Yue Li, Assoc. Prof. Dr. Jian Zhao
		4	THE IMPACT OF LEAD ON THE PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF TWO BROAD BEAN VARIETIES	Dr. Ahmed Farouk, Dr. Samira Elham
		5	CLIMATE CHANGE IMPACT ON MAIZE PRODUCTION IN NORTHEAST CHINA: A THIRTY-YEAR ANALYSIS	Dr. Wei Zhang, Dr. Lian Liu
		6	REVOLUTIONIZING SUSTAINABLE FARMING WITH AMBIENT INTELLIGENCE: A FUTURISTIC PERSPECTIVE	Dr. Anwar Hassan, Assoc. Prof. Dr. Sarah Li
		7	PROMOTING INNOVATIVE SKILLS IN ENGINEERING DRAWING: A NEW APPROACH FOR DEVELOPING DESIGN COMPETENCIES	Dr. Josefa Hernández, Prof. Abel Lemos, Antonio García, Helena Sanz

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 13	**Assoc. Prof. Maria Sanchez**	1	EXPLORING EPIGENETIC MODIFICATIONS IN DROSOPHILA MELANOGASTER EXPOSED TO ALPHA PARTICLES: A COMPUTATIONAL STUDY	Dr. Mariama Okafor, Prof. Zainab Amadi, Kamal Sulaimon
		2	IMPROVING REPRODUCTIVE PERFORMANCE IN SAHIWAL BULLS: THE ROLE OF EXERCISE IN SEXUAL BEHAVIOR AND SEMEN QUALITY	Dr. Ravi Kumar,
		3	OPTIMIZING GLIBENCLAMIDE RELEASE FOR SUSTAINED DIABETES MANAGEMENT USING POLYVINYL PYRROLIDONE AND ETHYL CELLULOSE	Dr. Emran Shaikh, Assoc. Prof. Nadira Bashir
		4	PRE-WEANING GROWTH TRAITS IN GENTILE DI PUGLIA LAMBS: IMPACT OF ENVIRONMENTAL FACTORS AND HERITABILITY	Dr. Ahmed Mirza, Assoc. Prof. Fatima Rashid
		5	HERITABILITY OF LACTATION TRAITS IN MALTESE GOATS: A QUANTITATIVE GENETICS STUDY	Dr. Juan Hernandez, Assoc. Prof. Maria Sanchez
		6	EXPLORING THE DUAL ROLE OF HYDERGINE IN ANTICOAGULATION AND NEUROPROTECTION	Dr. Karim Al-Hamadi, Prof. Leila Bakr
		7	CONVERTING CARROT WASTE INTO VALUABLE ANIMAL FEED ADDITIVES: A SUSTAINABLE APPROACH	Dr. Alia Benkhaled, Prof. Sami Haddad, Assoc. Prof. Hana Jebali
		8	EFFECTS OF TURMERIC SUPPLEMENTATION ON EGG PRODUCTION IN AGED HENS: A COMPARATIVE STUDY	Dr. Aslam Javed, Dr. Iqbal Shahid
		9	EFFECT OF HERBAL SEED SUPPLEMENTATION ON GROWTH PERFORMANCE AND OXIDATIVE STRESS IN BROILER CHICKENS	Dr. Rania Suleiman, Dr. Yara El-Shafie

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 14	**Elena Dumitrescu,**	1	ENHANCING COMPOSITE MATERIAL STRENGTH THROUGH NANOPARTICLE MODIFICATION: A REVIEW OF RECENT ADVANCES	Dr. Adnan Riaz, Dr. Talha Kamran
		2	EFFECT OF TRICHODINIASIS ON HISTOLOGICAL AND GROWTH PARAMETERS IN RAINBOW TROUT FARMING	Dr. Munir Hossain, Dr. Ahmed M. Rahman
		3	LEAD POISONING EFFECTS ON BEHAVIOR AND LEARNING CAPACITY IN RATS: AN EXPERIMENTAL STUDY	Dr. Khaled Hassan, Dr. Sara M. Farouk
		4	IMPACT OF COPPER AND ZINC DEFICIENCY ON DAIRY COW MILK YIELD IN NORTHEASTERN ROMANIA	Elena Dumitrescu, Mihai Neagu, Gabriela Ionescu
		5	AVIAN IMMUNE RESPONSE TO TUBERCULIN, TETANUS IMMUNOGLOBULIN, AND DPT VACCINE MITOGENS IN BROILER CHICKENS	Hassan Ali, Fatima Razaq, Kamran Shah
		6	TIMING OF COLOSTRUM CONSUMPTION AND IMMUNOGLOBULIN ABSORPTION IN NEWBORN CAMEL CALVES: IMPLICATIONS FOR CORTISOL AND THYROXIN LEVELS	Mohammed Al-Sahli, Rami Ghabash, Sara Ben Zayed
		7	EFFECT OF GOAT MILK FRACTIONS ON SERUM IgE RESPONSE AND LEUKOCYTE COUNT IN DINITROCHLOROBENZENE-SENSITIZED RATS	Rina Suryani, Taufik Darmawan, Indah Sulastri
		8	EMBRYO TRANSFER IN FARM ANIMALS: CURRENT PRACTICES AND FUTURE PROSPECTS	Yulia Sari, Arihanta Wibowo, Lutfiah Pramesti
		9	IMPACT OF OLIVE OIL SUPPLEMENTATION ON SEMEN QUALITY AND STORAGE STABILITY IN MALE CHICKENS	Sami B. Al-Kadhim, Layla R. Abdul-Sahib, Taha J. Al-Hassani

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH AND SPORTS DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 15	**Siti Nurul A. Rahman**	1	EFFECT OF RAW FIBER SUPPLEMENTATION ON THE GROWTH PERFORMANCE AND BLOOD PROFILE OF SUCKLING HOLSTEIN CALVES	Ali M. Jafari, Marjan S. Moradi, Hamid R. Ghaffari
		2	EFFECTS OF PROBIOTICS ON SUCRASE ACTIVITY IN THE SMALL INTESTINE OF BROILER CHICKS	Morteza S. Khorami, Mehrdad J. Rostami
		3	SPERM PRODUCTION AND RESERVES IN SOKOTO RED (MARADI) GOATS IN A TROPICAL ENVIRONMENT	Zainab A. Sani, Yusra K. Bashir
		4	SVM-BASED EVOLUTIONARY METHODS FOR GENE SELECTION IN MICROARRAY DATA CLASSIFICATION	Rajendra S. Banerjee, Yoshiki T. Matsuda
		5	EFFECT OF PLANT-BASED OIL MIXTURES ON BEETLES INFESTING AFRICAN CATFISH	Ahmed T. Bello
		6	IMMUNOLOGICAL ROLE OF VIBRIO ALGINOLYTICUS ADHESIN IN GROUPER IMMUNE RESPONSE	Siti Nurul A. Rahman
		7	ENZYME CHARACTERIZATION OF PHYTASE PRODUCED BY ENDOPHYTIC FUNGI	Faisal H. Ali, Hanan F. Zaki
		8	SOMATIC EMBRYOGENESIS IN SCAVOELA AEMULA FOR PLANT PROPAGATION	Vera S. Hartono, Lestari J. Sumadi
		9	STRUCTURAL BASIS OF ANTIMICROBIAL PEPTIDE RESISTANCE IN HELICOBACTER PYLORI	Siti A. Damanik, Reza P. Utomo

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 16	**Joseph Ndongo**	1	MAGNETIC COUPLING IMPACTS ON SENSORLESS CONTROL OF SWITCHED RELUCTANCE MOTORS	Ahmed Nguema, Issa Mounkaila, Joseph Ndongo
		2	ADVANCED PI CONTROLLER DESIGN FOR INDUCTION MOTOR SPEED REGULATION	Rachid Djeghloul, Ali Lounis, Ahmed Belkacemi
		3	FUZZY LOGIC CONTROL OF A THREE-PHASE INDUCTION MOTOR FOR OPTIMAL PERFORMANCE	Ahmad Zahir, Li Mei, Jun Tanaka
		4	AUTOMATED MOTOR QUALITY INSPECTION BASED ON SOUND ANALYSIS USING MACHINE LEARNING	Xue Fang, Wei Liu, Lin Zhang
		5	ANTI-SURGE CONTROL IN INDUSTRIAL COMPRESSORS: A COMPREHENSIVE APPROACH	Adem Kocak, Efe Yılmaz
		6	DESIGNING MOVING SLIDING SURFACES FOR VARIABLE STRUCTURE CONTROL IN DYNAMIC SYSTEMS	Carlos Pires, Sofia Martins
		7	USING BANANA PEELS FOR MANGANESE REMOVAL IN WATER TREATMENT: AN ECO-FRIENDLY APPROACH	Dr. Amina Sayeed
		8	EXAMINING THE ANTIBACTERIAL AND ANTIFUNGAL PROPERTIES OF Eucalyptus camendulensis ESSENTIAL OIL AGAINST SELECTED MICROORGANISMS	PhD Candidate Ahmad Tabrizi, Dr. Reza Khaleghi, Prof. Dr. Zahra Mousavi
		9	ADVANCING SQUARE WATERMELON SHAPING TECHNOLOGY: THE DEVELOPMENT OF A PRECISION FORCE MEASUREMENT DEVICE	Dr. Alireza Farhadi, Prof. Dr. Faezeh Soltani

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 17	**Samuel Nwachukwu**	1	OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION IN GAS-FIRED HEATERS	Amir Hossein Jafari, Mohammad Reza Tabrizi
		2	DESIGN OF AUTONOMOUS ROBOTS FOR GUIDED MOBILE NAVIGATION USING MAGNETIC SENSORS	Hyun Suh, Min Joo Park
		3	SUPERVISORY CONTROL FOR SAFE SWITCHING IN DYNAMIC SYSTEMS	Vassilis K. Stefanou, Irini P. Konstantinou
		4	EOMETRIC DESIGN OPTIMIZATION FOR COLLISION-FREE PATH PLANNING IN PACKING APPLICATIONS	Daisuke Tanaka, Keisuke Shimizu, Hiroshi Sato
		5	HEURISTIC METHODS FOR EFFICIENT PROJECT SCHEDULING WITH LIMITED RESOURCES	Jan Urban, Lukas Černý
		6	FUZZY LOGIC CONTROLLER FOR ADAPTIVE ANTI-LOCK BRAKING SYSTEMS ON DIVERSE ROAD SURFACES	Omid Amiri, Farzad Soleimani
		7	DESIGN AND SIMULATION OF AN INNOVATIVE HYBRID VEHICLE FOR URBAN TRANSPORTATION	Li Wei, Zhang Hao, Wang Tian
		8	A KNOWLEDGE-BASED SYSTEM FOR AUTOMOBILE MALFUNCTION DIAGNOSIS	Sami Ahmed, Youssef Al-Sayed, Omar Saeed
		9	LIMIT CYCLE OSCILLATIONS IN A NEURAL CONTROLLER WITH DELAYED FEEDBACK	Johannes Schmidt, Klaus Wagner

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 18	**Adebayo Olanrewaju**	1	STUDY OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID PROFILE OF COCONUT OIL AND PALM OIL: A COMPARATIVE APPROACH	Adebayo Olanrewaju, Chidi Nwosu, Ngozi Akinwumi
		2	EFFECT OF MODIFIED YAM STARCH ON PHYSICAL STABILITY OF OIL-IN-WATER EMULSIONS	Ikramah Amin, Faridah Ibrahim, Suhaimi Abdullah
		3	OPTIMIZATION OF PHENOLIC COMPOUNDS EXTRACTION FROM AVICENNIA MARINA USING CENTRAL COMPOSITE DESIGN	Anju Kumari, Mohd Rashid, Tharun Kumar
		4	EVALUATION OF COWPEA SEED PROTEIN FROM GIZAN REGION: CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES	Hassan Ibrahim, Khalid Alhassan, Muna Abubakar
		5	INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND BETA-KAPPA CASEIN COMPOSITE GENOTYPE ON MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED DAIRY CATTLE	Maria Silva, João Oliveira, Carlos Ferreira
		6	CASEIN MICELLE DISPERSION IN HIGH SALT ENVIRONMENTS: A STUDY ON PARTICLE SIZE EVOLUTION	Lina Zhang, Wei Liu, Xiaoyan Zhang
		7	PROCESSING OF RAW OYSTER MEAT USING GAMMA IRRADIATION FOR SAFE CONSUMPTION	Nida Hassan, Zainab Muhammad, Farida Ibrahim
		8	EFFECT OF BLANCHING ON THE PHENOLIC CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF DILL UNDER DRYING CONDITIONS	Maja Petrović, Ivana Savić, Jelena Marković
		9	CHARACTERIZATION OF MOLECULAR MOBILITY IN WATER-SENSITIVE FOODS UNDER VARIED TEMPERATURE CONDITIONS	Ming Wei, Jun Zhang, Shun Li

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 17:30 – 19:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 19	**Samuel Nwachukwu**	1	PREDICTING FINANCIAL STRESS IN AFRICAN BANKING SYSTEMS USING MACHINE LEARNING	Chukwuemeka Obi, Adebayo Olamide, Samuel Nwachukwu
		2	SUSTAINABLE CITY GOVERNANCE AND COMPETITIVENESS: A COMPARATIVE STUDY OF MAJOR URBAN CENTERS	Li Wei, Zhang Ying, Wang Jun
		3	FORECASTING ECONOMIC GROWTH USING NEURO-FUZZY SYSTEMS IN DEVELOPING COUNTRIES	Mahir Yılmaz, Elif Bozkurt, Hüseyin Kaya
		4	REDUCING PAYMENT DELAYS IN THE MALAYSIAN CONSTRUCTION SECTOR	Aminah Tan, Zuraida Abdullah, Rashid Mohd
		5	THE DEVELOPMENT STATUS OF MANUFACTURING CONTROL SYSTEMS IN LIBYAN INDUSTRIES	Ali Mohamed Al-Jabari
		6	ASSESSING URBAN LAND DEVELOPMENT TRENDS IN KABUL CITY, AFGHANISTAN	Khalid Rahimi, Fahim Sediqi
		7	PLACE IDENTITY AND WALKABILITY: A STUDY OF TWO STREETS IN ISFAHAN, IRAN AND LEFKOSA, CYPRUS	Amina Rostami
		8	TRANSFORMATION OF URBAN WATERFRONTS: CASE STUDY OF EUROPEAN CITIES' DEVELOPMENT STRATEGIES	Sophia Braun, Maximilian Schuster
		9	THE INTERACTION OF AIR, WATER, LIGHT, AND TRANSIT IN THE SUPERILLES OF BARCELONA: A HUMAN-SCALE PERSPECTIVE	Carlos Sánchez

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 20	**Monika Kováčová**	1	ANTIBACTERIAL EFFICACY OF PLUMERIA ALBA PETALS AGAINST COMMON BACTERIAL STRAINS	Abdul Karim, Fatima Nazir, Omar Salahuddin, Amina Zahir
		2	ENHANCING DRUG-DRUG INTERACTION ALERT SYSTEMS: A SOLUTION TO FALSE ALERTS	Jin Xu, Mei Zhang, Xiaofeng Li, Zheng Xu
		3	COMPARATIVE EVALUATION OF ANTIBACTERIAL PROPERTIES OF ETHANOLIC AND ISOPROPYL-HEXANE EXTRACTS FROM GINGER ROOT (ZINGIBER OFFICINALE)	Noura Alavi, Ramin Vahidi
		4	NEUROGENIC POTENTIAL OF CLITORIA TERNATEA ROOT EXTRACT: A PATHWAY FOR ENHANCING MEMORY AND LEARNING	Aisha Adeyemi
		5	EXAMINING CORPORATE GOVERNANCE NETWORKS AND INTERLOCKING DIRECTORATES IN POLAND	Piotr Zawisza, Krzysztof Malinowski
		6	INFLUENCE OF STAKEHOLDER COMMUNICATION STRATEGIES ON CONSUMER ACCEPTANCE AND FINANCIAL PERFORMANCE IN THE MALAYSIAN FERTILIZER INDUSTRY	Zainab Abdul Rahman, Anwar Ibrahim, Tan Hui Mei
		7	ECOLOGICAL EFFICIENCY IN RUBBER WASTE UTILIZATION AT PANDORA PRODUCTION COMPANY LIMITED	Miroslav Novak, Jakub Svoboda
		8	STUDY ON PUBLIC CONSCIOUSNESS AMONG UNDERGRADUATE STUDENTS AT UNIVERSITY OF ECONOMICS, PRAGUE	Monika Kováčová
		9	RENEWABLE ENERGY SYSTEMS FOR SMALL INDUSTRIAL APPLICATIONS IN DEVELOPING ECONOMIES	Javier Mendoza, Rafael Rios, Juan Gonzalez

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Laila R. Kone,**	1	OPTIMAL DESIGN OF LAUNCHING NOSE FOR INCREMENTAL BRIDGE CONSTRUCTION	Yuxuan Li, Jie Liu, Hao Zhang
		2	ENVIRONMENTAL IMPACT ESTIMATION USING MATERIAL ACCOUNTING TECHNIQUES	Lena Thompson, Michael Barker, Sarah Smith
		3	SIMULATION OF SPRINGBACK IN STEELS USED FOR PRESSURE EQUIPMENT FABRICATION	Anil K. Joshi, Ramesh N. Patel
		4	MOLECULARLY IMPRINTED POLYMERS FOR REMOVAL OF CARBAMAZEPINE FROM AQUEOUS SOLUTIONS	Fatoumata Diallo, Mohamed Konate, Amadou Traoré
		5	REMOVAL OF PENTACHLOROPHENOL VIA ADSORPTION AND BIODEGRADATION	Laila R. Kone, Salif T. Dembélé
		6	DEVELOPMENT AND EVALUATION OF VAGINAL SUPPOSITORIES CONTAINING LACTOBACILLUS PARACASEI HL32	Amit Patel, Rina Singh, Vikas Rathi
		7	PHYSICAL CHARACTERISTICS AND PERFORMANCE OF SILK SERICIN FILMS FOR WOUND HEALING	Sarika Yadav, Manisha Verma, Nikhil Joshi
		8	OPTIMIZATION OF RP-HPLC METHOD FOR DETERMINING NORFLOXACIN IN HUMAN PLASMA	Mariam Nasser, Ahmed El-Mansy, Rania Ahmed, Hossam Fawzy

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Lucia Černá, Peter Novák**	1	ANALYSIS OF THE GRAND JETÉ: BIOMECHANICAL PERFORMANCE IN CLASSICAL DANCE	Lucia Černá, Peter Novák
		2	APPLICATION OF A COMPOSITE NEURAL NETWORK FOR DIAGNOSING ATRIOVENTRICULAR HEART BLOCK (AVB) USING ECG SIGNALS	Rachid Ait Mansour, Amine Benabdellah, Hafid Karim
		3	IMPACT OF CEMENT AND LIME ON SHEAR STRENGTH PARAMETERS OF LOESS SOILS IN GORGAN, IRAN	Hossein Ali Rezaei, Mahin Talebian, Reza Moradi
		4	CLOUD-BASED DEVELOPMENT OF BIM SOFTWARE FOR THE AEC INDUSTRY	Dong-Ho Lee
		5	MAGNETIC PROPERTIES OF MATERIALS CHARACTERIZATION USING C-SHAPED ELECTROMAGNETS	Carlos Martínez, Isabel Ríos
		6	CULTURAL FACTORS IN SUSTAINABLE BUILDING DESIGN	Mohammad Rahman, Leila Khatami, Niloofar Omidvar
		7	CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN LIGHTWEIGHT TIMBER BUILDINGS INSULATED WITH MINERAL WOOL	Lukas Fuchs
		8	ANALYSIS OF CONSTRUCTION SITE SAFETY RISKS AND MANAGEMENT PRACTICES	Jiang Wu, Qing Liu
		9	OPTIMIZATION OF STABILITY IN FUNCTIONALLY GRADED PIPES CONVEYING FLUID	Ahmed Al-Mansoori, Samar Y. El-Sayed

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Öğr. Gör. Dr. EMRAH DURGUT**	1	SECURITY MEASURES IN AT-HOME MEDICAL CARE SYSTEMS USING SENSOR NETWORKS	Nadia Raza, Tasneem Akhtar, Farida Khatoon
		2	DETECTION OF ATRIOVENTRICULAR HEART BLOCK IN ECG SIGNALS USING A COMPOUND NEURAL NETWORK	Moussa Djedid, Yassine Bencherif, Khaled Boudraa
		3	SIMULATION AND VALIDATION OF MULTIBODY MECHANICAL SYSTEMS WITH REVOLUTE JOINTS UNDER CLEARANCE	Mohammad Nasser, Ali Kamal, Abdelghani Mechaal
		4	DEVELOPING NON-FUNCTIONAL REQUIREMENTS FOR DECISION SUPPORT SYSTEMS IN THE HEALTHCARE SECTOR	Ahmed Sadiq
		5	RELIABILITY COST OF DISTRIBUTION CENTERS IN MULTI-CAPACITY SUPPLY CHAINS UNDER FAILURE SCENARIOS	Hassan Jafari, Reza Parsa, Fathollah Saeedi
		6	FACTORS AFFECTING ESTIMATION OF WORK EFFORT IN SOFTWARE DEVELOPMENT AND ENHANCEMENT PROJECTS	Sergei Ivankov
		7	ADVANCEMENTS IN SOFTWARE ARCHITECTURE FOR EFFICIENT SYSTEM DESIGN	Hassan Jamil, Yusra Alhassan
		8	AUTONOMOUS CONTROL STRATEGY FOR MULTI-ROTOR UAVs IN COMPLEX ENVIRONMENTS	Ahmed Taha, Khaled Mansour
		9		

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Fatima Al-Rashid**	1	FORMAL DEVELOPMENT OF THE WIRELESS TRANSACTION PROTOCOL IN EVENT-B	Assoc. Prof. Dr. Fatima Al-Rashid, Dr. Nabil Jamil
		2	COOPERATION EMERGENCE IN DEMOGRAPHIC MULTI-LEVEL DONOR-RECIPIENT GAMES	Dr. Lian Zhang, Assoc. Prof. Dr. Wei Liu
		3	SOLAR POWERED CLUSTER HEAD RELOCATION ALGORITHM FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS	Dr. Yunfei Zhao, Prof. Dr. Li Wei
		4	DESIGN OF A VIA-LESS ULTRA-WIDEBAND MICROSTRIP FILTER	Assoc. Prof. Dr. Marcus Fischer, Dr. Elena Schmidt
		5	LOCALIZATION OF BLUETOOTH DEVICES USING IMPROVED RSSI-BASED TRILATERATION METHOD FOR THE VISUALLY IMPAIRED	Ahmad Younis, Imran Khan, Sadiq Ali
		6	DEVELOPMENT OF MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM FOR FERTILIZER PLANT PERFORMANCE OPTIMIZATION	Khaled Al-Masri
		7	MULTI-AGENT SYSTEM MODELING OF INDUSTRIAL CONTROL SYSTEMS USING AGR FRAMEWORK	Rachid Boudraa, Ahmed Zeggai, Mohamed Dahmani
		8	OPTIMIZING LOGISTICS ROUTES IN COURIER DELIVERY SYSTEMS WITH CONGESTION FACTORS IN AMMAN	Jamal Hassan, Anwar Rashed, Omar Al-Fahad
		9	ADOPTION OF M-COMMERCE IN INDIA: A REVISED TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL	Ravi Kumar, Pankaj Sharma, Manish Gupta

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof. Dr. Khalid M. Al-Harbi,**	1	DEVELOPMENT OF CARBON NANOTUBE-BASED SUPERCAPACITORS FOR ADVANCED ENERGY STORAGE	Assoc. Prof. Dr. Sayeed Ahmed Shah, Prof. Dr. Ahmed Nadeem Khan
		2	OPTIMIZATION OF B-GALACTOSIDASE ACTIVITY IN YEAST USING ORGANIC SOLVENTS AND STATISTICAL MODELS	Prof. Dr. Manoj Kumar Sharma, Assoc. Prof. Dr. Rekha S. Gupta
		3	EFFECT OF FIELD TYPE ON COPPER CONCENTRATION IN LAMBS IN MOUNTAIN AND PLAIN REGIONS	Dr. Fadila Benkhaldoun, Assoc. Prof. Dr. Ali El Hadj
		4	VALIDITY, RELIABILITY AND OBJECTIVITY OF THE 90º PUSH-UPS TEST IN SPORTS SCIENCE STUDENTS	Dr. Zainal Abidin, Prof. Dr. Amirul Hakim, Assoc. Prof. Dr. Syafiq Hassan
		5	IMPACT OF CALCIUM CARBIDE ON SPERM MORPHOLOGY AND VIABILITY IN ALBINO MICE	Dr. Joseph O. Akpan, Assoc. Prof. Dr. Richard O. Okon, Dr. Anita O. Okafor
		6	EFFECTS OF THYMOQUINONE ON CADMIUM-INDUCED NEPHROTOXICITY IN RATS	Prof. Dr. Khalid M. Al-Harbi, Assoc. Prof. Dr. Jamal A. Al-Ghamdi, Dr. Rami M. Al-Omari
		7	PREVALENCE OF ADULT TAENIA SAGINATA IN CATTLE AT MAJOR ABATTOIRS IN PORT HARCOURT, NIGERIA	Dr. Chijioke O. Duru, Assoc. Prof. Dr. Obioma E. Nwachukwu
		8	ATTACKS ON THE ELLIPTIC CURVE DISCRETE LOGARITHM PROBLEM OVER PRIME AND BINARY FIELDS	Dr. Wei Zhang, Assoc. Prof. Dr. Liang Chen
		9	COMPARATIVE STUDY OF AUTOMATED JAVA TESTING USING JUNIT AND ASPECTJ D	Dr. Ahmed Al-Sayed, Prof. Dr. Khaled Zahran

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Prof. Dr. Hanan Hassan,**	1	MATERIAL SELECTION FOR MANUAL WINCH DESIGN: A MULTI-ATTRIBUTE DECISION MAKING APPROACH	Dr. Peter O. Akinyi, Assoc. Prof. Dr. Moses N. Origa
		2	DEVELOPMENT OF UV-CURED COATINGS BASED ON BIO-BASED ACRYLATED EPOXIDIZED SOYBEAN OIL	Dr. Rania F. Al-Sabah, Prof. Dr. Imad F. Al-Khouri
		3	EXPERIMENTAL STUDY ON OVER-CUT IN ULTRASONIC MACHINING OF WC-CO COMPOSITE MATERIAL	Dr. Han Kim, Prof. Dr. Woo Seung Choi, Assoc. Prof. Dr. Jae Su Lee
		4	FABRICATION OF ALUMINUM-CARBON NANOTUBE NANOCOMPOSITE USING INDUCTION MELTING	Dr. Hamza Ali, Assoc. Prof. Dr. Fatima Zahra, Prof. Dr. Karim Abdel Rahman
		5	EFFECT OF MILLED WASTE GLASS ON CLAY CERAMIC FOAM PROPERTIES PRODUCED VIA DIRECT FOAMING	Dr. Mikhail Ivanov, Assoc. Prof. Dr. Elena Volodina, Prof. Dr. Dmitry Sergeev
		6	CRACK PROPAGATION IN COMPOSITE LAMINATES: ROLE OF INTERFACE PROPERTIES	Prof. Dr. Koji Tanaka, Assoc. Prof. Dr. Tetsuya Saito, Dr. Hiroshi Yamada
		7	GENETIC IDENTIFICATION OF DGAT2 GENES IN EGYPTIAN OLIVE CULTIVARS	Dr. Ahmed Farag, Prof. Dr. Hanan Hassan, Assoc. Prof. Dr. Rania Ibrahim
		8	EFFECT OF POLLEN SOURCES ON FRUIT SET AND QUALITY OF 'LONG RED B' WAX APPLE IN TAIWAN	Dr. Li Wei Zhang, Assoc. Prof. Dr. Yu Ming Lee
		9	ISOLATION AND IDENTIFICATION OF FIBRINOLYTIC PROTEASE-PRODUCING ENDOPHYTIC FUNGI FROM HIBISCUS IN MALAYSIA	Dr. Noor Hidayah Hassan, Prof. Dr. Muhammad Shamsul Bahari

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Mohammed A. Al-Khatib**	1	PREDICTION OF IN SITU PERMEABILITY FOR LIMESTONE ROCK USING ROCK QUALITY DESIGNATION INDEX	Dr. Faisal Al-Mansoori, Assoc. Prof. Dr. Yara Al-Din
		2	EFFECT OF NANO-SIO2 SOLUTION ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF KAOLINITE	Dr. Nima Esfahani, Assoc. Prof. Dr. Reza Mohammadifar
		3	ROOT GROWTH OF MORUS ALBA AS AFFECTED BY SIZE OF CUTTINGS AND POLYTHENE LOW TUNNEL	Prof. Dr. Ali Aydin, Assis. Prof. Dr. Hasim Yilmaz
		4	RENEWED URBAN WATERFRONT: SPATIAL CONDITIONS OF A CONTEMPORARY URBAN SPACE TYPOLOGY	Dr. Sándor Kovács, Prof. Dr. Erzsébet Németh
		5	ONE-POT FACILE SYNTHESIS OF N-DOPED GRAPHENE SYNTHESIZED FROM PARAPHENYLENEDIAMINE AS METAL-FREE CATALYSTS FOR THE OXYGEN REDUCTION USED FOR ALKALINE FUEL CELLS	Prof. Dr. Tarek Salah, Assoc. Prof. Dr. Hossam Gharib
		6	SELECTION OF MATERIALS FOR FOOTWEAR INSOLES BASED ON PERFORMANCE AND DURABILITY	Dr. Khaled S. Al-Saleh, Assoc. Prof. Dr. Samir J. Al-Zoubi
		7	IMPACT OF TEST ENVIRONMENT ON SLIDING WEAR BEHAVIOR OF METAL ALLOYS AND COMPOSITES	Prof. Dr. Ahmed S. Al-Hassan, Dr. Fadi T. Kanaan
		8	PREDICTION OF CUTTING TOOL LIFE IN DRILLING COMPOSITES USING FUZZY LOGIC	Assoc. Prof. Dr. Mohammed A. Al-Khatib

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Laila Zulkifli, Rahman Salleh**	1	MICROBIAL COMMUNITIES OF AMMONIA-OXIDIZING ARCHAEA AND BACTERIA IN NITRIFYING WASTEWATER TREATMENT SLUDGE	Laila Zulkifli, Rahman Salleh
		2	BIOMIMETIC COATING SURFACE DERIVED FROM HUMAN ELASTIN TO PROMOTE CELL GROWTH	Feng Lin, Jia Li
		3	PREVALENCE AND PARASITE-HOST RELATIONSHIPS OF LIGULA INTESTINALIS IN SATTARKHAN LAKE (EAST AZERBAIJAN, IRAN)	Morteza Rahimi, Samira Eslami
		4	Vocalization and Communication in SOOTY-HEADED BULBUL (PYCNONOTUS AURIGASTER): A STUDY ON CALL TYPES AND PATTERNS	Amara Khamis, Hassan Al-Mansoori
		5	IMPACT OF POLYMER CONCENTRATION ON GLIBENCLAMIDE RELEASE KINETICS IN EXTENDED RELEASE FORMULATIONS	Anwar Asad, Bilal Sayeed
		6	EXAMINING THE EFFECTS OF EXPLOSION WAVES ON BUILDING STRUCTURES IN URBAN AREAS	Ali Kazemian, Sohrab Molaei
		7	MULTI-ROUTE SENSOR NETWORK FOR CRACK DETECTION IN METAL STRUCTURES USING FUZZY LOGIC	Chandran Kumar, Rajesh Rathi
		8	ADVANTAGES OF LARGER DIAMETER STRANDS IN PRECAST CONCRETE HIGHWAY INFRASTRUCTURE	Eduardo Silva, Marco Almeida
		9	TORSION BEHAVIOR OF HIGH-STRENGTH CONCRETE BEAMS REINFORCED WITH GFRP BARS	Mohamed El-Sayed, Ahmed Saeed

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Carlos Jiménez, Adrián López**	1	DEVELOPMENT OF CLOUD-BASED BIM SOFTWARE FOR CONSTRUCTION MANAGEMENT	Hyunsoo Park, Jinwoo Lee
		2	APPLICATIONS OF CARBON FIBERS IN INDUSTRIAL COMPOSITES	Ali Rezaei, Ali Farhadi
		3	ANALYSIS OF SAFETY RISKS IN CONSTRUCTION SITES AND THE PRIORITY OF IMPROVEMENT MEASURES FROM MULTIPLE PERSPECTIVES	Jiang Wei, Cheng Yu, Hua Wang
		4	STABILITY ASSESSMENT OF STEEL THIN-WALLED BEAMS UNDER LATERAL RESTRAINTS AND THEIR BUCKLING BEHAVIOR	Jan Novak, Martin Kováč, Tomáš Vacek
		5	MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF DISTRIBUTION SYSTEMS WITH DISTRIBUTED GENERATION USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)	Farhan Alavi, Shahram Rezaei
		6	DESIGN AND CONTROL OF A HIGH FREQUENCY AC CONVERSION CIRCUIT FOR INDUCTION HEATING APPLICATIONS	Ahmed Mohamed, Tarek Soliman
		7	IMPROVED MAXIMUM POWER POINT TRACKING ALGORITHM FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS	Carlos Jiménez, Adrián López
		8	OPTIMAL IMPULSE RESPONSE SHORTENING IN DISCRETE MULTITONE TRANSCEIVERS USING CONVEX OPTIMIZATION	Sami Ahmed, Ali Nasser
		9	INHIBITION KINETIC DETERMINATION OF TRACE AMOUNTS OF RUTHENIUM(III) BY THE SPECTROPHOTOMETRIC METHOD WITH RHODAMINE B IN MICELLAR MEDIUM	Mohsen Keyvanfard

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Gesine Hellwig**	1	BREAST SKIN-LINE ESTIMATION AND BREAST SEGMENTATION IN MAMMOGRAMS USING FAST-MARCHING METHOD	Roshan Dharshana Yapa, Koichi Harada
		2	ENHANCEMENT OF SCATTERER DENSITY IN EDGE AND APPLICATION OF COHERENCE-ENHANCING NONLINEAR ANISOTROPIC DIFFUSION FOR REDUCING MEDICAL ULTRASOUND SPECKLE.	Ahmed Badawi, J. Michael Johnson, Mohamed Mahfouz
		3	T-WAVE DETECTION BASED ON ADJUSTED WAVELET TRANSFORM MODULUS MAXIMA.	Samar Krimi, Kaïs Ouni, Noureddine Ellouze
		4	CLOSING THE MENTAL GAP BETWEEN CONVOLUTION APPROACH AND COMPARTMENTAL MODELING IN FUNCTIONAL IMAGING: TYPICAL EMBEDDING OF AN OPEN TWO-COMPARTMENT MODEL INTO THE SYSTEMS THEORY APPROACH OF INDICATOR DILUTION THEORY.	Gesine Hellwig
		5	HYBRID ASSOCIATION CONTROL SCHEME FOR OPTIMIZING PERFORMANCE IN WIRELESS NETWORKS	Sung-Mo Kim, Hyeon-Jeong Park
		6	PROBABILISTIC BROADCASTING IN WIRELESS NETWORKS USING PERCOLATION THEORY	Li Wei, Zhang Xin
		7	CAPACITY ANALYSIS IN DYNAMIC MIMO SYSTEMS WITH SPATIAL MULTIPLEXING	Xiaoyu Li, Zhiqiang Zhang
		8	APPLICATIONS OF FIBER OPTIC SENSORS IN INDUSTRIAL AND MEDICAL FIELDS	Niloofar Rahimi, Reza Soltani

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	**Hassan Farooq**	1	APPLICATION OF DATA MINING AND FORMAL CONCEPT ANALYSIS FOR MEDICAL DIAGNOSTICS	Ibrahim Asad, Zainab Shahid, Fareeha Hameed
		2	IMPLEMENTING CASE-BASED REASONING IN MEDICAL DIAGNOSIS SYSTEMS	Yara El-Gamal
		3	DETECTING DIABETIC RETINOPATHY USING ANALOG ALGORITHMS IN RETINA IMAGES	Anca Popescu, Adrian Ionescu
		4	OPTIMIZING MEDICAL IMAGE COMPRESSION THROUGH FRACTAL ENCODING	Lina Melih, Burak Celik
		5	TRAFFIC CRASH PREDICTION USING A LOW-COST METHODOLOGY IN KARACHI	Hassan Farooq
		6	INTEGRATED APPROACH FOR LAND REORGANISATION IN RURAL DEVELOPMENT USING FUZZY MULTI-OBJECTIVE PROGRAMMING	Kumar Shubham, Priya K. Sahoo
		7	EXAMINING THE SPATIAL DYNAMICS OF THE JAKARTA METROPOLITAN AREA: IMPLICATIONS FOR REGIONAL GROWTH	Arifin Hasan, Tania S. Gultom
		8	SUSTAINABLE URBAN PLANNING: PRESERVING HERITAGE IN HISTORIC CITIES IN IRAN	Morteza Khodabandeh, Leila Sharifi

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	**Ahmed H. Salim**	1	RECYCLING CIGARETTE BUTTS INTO LIGHTWEIGHT BUILDING MATERIALS: A SUSTAINABLE APPROACH	Siti Khadijah Binti Mohd, Faizal Mohd. Ali
		2	ADVANCED COMPUTATIONAL GRID SYSTEM FOR WEATHER PREDICTION: A CASE STUDY USING HOAPS DATA	Neha Verma, Rajesh K. Singh
		3	IMPROVING CLUSTERING ANALYSIS AND VISUALIZATION THROUGH SELF-ORGANIZING FEATURE MAPS IN DATA SCIENCE	Liu Xian, Wang Yu, Zhang Ming
		4	IMPACT OF CONFINEMENT SHAPES ON THE BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE BEAMS UNDER LOADING	Yin Zhou, Li Fei
		5	EVALUATING THE USE OF CONTOUR STRIPS OF BIO-FUEL GRASS IN WATER QUALITY MANAGEMENT	Zhao Wei, Li Cheng
		6	SOLAR-POWERED SMALL-SCALE WASTEWATER TREATMENT SYSTEM FOR EGYPT'S RURAL AREAS	Ahmed H. Salim
		7	A NEW CONDITION RATING SYSTEM FOR WASTEWATER TREATMENT PLANTS INFRASTRUCTURES	Ahmad Saleh, Tuan F. Ha, Ming Zhao
		8	IMPACT OF STONE CUTTING WASTE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE	Rami M. Al-Omari, Samir H. Al-Khudari
		9	COMPARATIVE ANALYSIS OF HEAVY METAL REMOVAL IN WASTEWATER USING ADSORPTION AND MEMBRANE TECHNOLOGIES	Nashit M. Sadiq, Ehsan A. Shaterian

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 13	**Carlos Martinez, Adriana Garcia**	1	STATISTICAL RISK ASSESSMENT OF AIR POLLUTANTS: A CASE STUDY ON SULFUR DIOXIDE	Mohammad R. Karim, Abbas M. Youssef
		2	EFFECTIVENESS OF GRAVEL BED FLOCCULATORS IN LOW-COST WATER TREATMENT PLANTS	Khalid T. Al-Saadi
		3	E-WASTE RECYCLING SYSTEMS IN SOUTH KOREA AND TAIWAN: A COMPARATIVE STUDY	Jae Hoon Lee, Ming-Hsiu Wu
		4	PREDICTING WATER QUALITY IN RIVERS USING FUZZY LOGIC: A CASE STUDY OF THE GANGES RIVER	Ravi Sandeep
		5	EVALUATING THE ROLE OF MICROORGANISMS IN STORMWATER WETLANDS IN CANADA	Lin Zhang, Mei Huang
		6	OPTIMIZING SEWAGE MANAGEMENT IN URBAN AREAS: A SIMULATION STUDY FROM MEXICO CITY	Carlos Martinez, Adriana Garcia
		7	EVAPORATION LOSS PREDICTION IN RESERVOIRS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE: CASE STUDY OF THE NILE RIVER BASIN	Ahmed Abdallah, Fatma Hussein
		8	OXYGEN TRANSFER THROUGH INCLINED MULTIPLE WATER JETS FOR EFFICIENT WATER TREATMENT	Adeel M. Khan, Liang Z. Wang
		9	ENHANCEMENT OF LANDSLIDE ANALYSIS USING ADVANCED HEIGHT SYSTEMS AND ERROR REDUCTION TECHNIQUES	Mohammad A. Jasim, Mazen S. Khader

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 14	**Zeljko Panian**	1	PERFORMANCE ANALYSIS OF LOAD BALANCING STRATEGIES IN DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEMS	Tariq J. Ahmed, Fadwa M. Al-Khaled
		2	PHOTOCATALYTIC TREATMENT OF DAIRY WASTEWATER USING TiO2 FOR SUSTAINABLE ZERO EFFLUENT DISCHARGE	Ranya F. Al-Zoubi, Sami Y. Al-Mazawi
		3	WAVELET-BASED OPTIMIZATION OF STRUCTURAL DESIGN UNDER FREQUENCY CONSTRAINTS FOR STEEL FRAMES	Omar H. Rahman, Ali M. Al-Fadhli
		4	CONCEPTUAL METHOD FOR FLEXIBLE BUSINESS PROCESS MODELING	Adla Bentellis, Zizette Boufaïda
		5	USING ONTOLOGY SEARCH IN THE DESIGN OF CLASS DIAGRAM FROM BUSINESS PROCESS MODEL	Wararat Rungworawut, Twittie Senivongse
		6	A QUANTITATIVE APPROACH TO STRATEGIC DESIGN OF COMPONENT-BASED BUSINESS PROCESS MODELS	Eakong Atiptamvaree, Twittie Senivongse
		7	A NEW DIMENSION OF BUSINESS INTELLIGENCE: LOCATION-BASED INTELLIGENCE	Zeljko Panian
		8	COMPUTATIONAL MODELING IN STRATEGIC MARKETING	Petr Cernohorsky, Jan Voracek

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 15	**Yoshiko Tanaka**	1	MEASURING BUSINESS AND INFORMATION TECHNOLOGY VALUE IN BPR: AN EMPIRICAL STUDY IN THE JAPANESE ENTERPRISES	Michiko Miyamoto, Shuhei Kudo, Kayo Iizuka
		2	PREDICTING REINFORCEMENT IN CONCRETE BEAMS USING ADVANCED MACHINE LEARNING MODELS	Zhang Wei, Li Jun, Xu Fang
		3	REVITALIZING PUBLIC TRANSPORTATION IN YOGYAKARTA, INDONESIA: A COMPREHENSIVE STUDY	Siti Aisyah, Rahman Syukri, Budi Santoso
		4	ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN MANUFACTURING: A SYSTEMS-BASED APPROACH FOR SMEs	Miguel Torres, João Pereira, Pedro Silva
		5	DRIVING BUSINESS TRANSFORMATION THROUGH SERVICES COMPUTING IN THE DIGITAL AGE	Amit Rao, Rajesh Gupta
		6	DESIGNING A MODEL FOR ENTERPRISE PERFORMANCE IN INFORMATION SYSTEMS IMPLEMENTATION	Khalid Al-Hassan, Noura Al-Saadi
		7	DEVELOPING FLEXIBLE BUSINESS PROCESS MODELS FOR RAPID ADAPTATION	Farah Al-Fassi, Nour Chabib
		8	UTILIZING ONTOLOGY SEARCH IN BUSINESS PROCESS MODELING FOR CLASS DIAGRAM DESIGN	Akira Nakamura, Yoshiko Tanaka
		9	DESIGNING REUSABLE COMPONENTS FOR BUSINESS PROCESS MODELS: A QUANTITATIVE APPROACH	Samuel Mwangi, Alice Njeri

BURSA 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS AND ENGINEERING DECEMBER 30, 2025 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
30 Aralık / DEC 30, 2025 / 20:30 – 22:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 16	**Lukas Novotny**	1	LOCATION-BASED INTELLIGENCE: A NEW FRONTIER IN BUSINESS INTELLIGENCE	Lukas Novotny
		2	STRATEGIC MARKETING THROUGH COMPUTATIONAL MODELS: HYBRID APPROACH	Tomislav Horvat, Petra Kralj
		3	EMPIRICAL STUDY ON BUSINESS AND IT VALUE IN JAPANESE ENTERPRISES: BPR ANALYSIS	Yuki Takahashi, Aiko Sato
		4	IMPROVING MAXIMUM POWER POINT TRACKING FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS USING ESTIMATED POWER VALUES	Ayesha Bakar, Faris Al-Karim
		5	EFFECT OF COLLECTOR ASPECT RATIO ON THE THERMAL EFFICIENCY OF WAVY FINNED SOLAR AIR HEATERS	Adnan Karim, Rami Boudali
		6	THERMAL SCALE-UP SIMILITUDE FOR MULTIPHASE REACTORS IN THE CU-CL HYDROGEN PRODUCTION CYCLE	Mohammed Nabil, Samira Khalil
		7	ENHANCING THE THERMAL PERFORMANCE OF LATENT HEAT STORAGE SYSTEMS FOR SOLAR ENERGY APPLICATIONS	Omar H. Zaid, Khalid Al-Tahhan
		8	TECHNICAL ANALYSIS OF COMBINED SOLAR WATER HEATING SYSTEMS FOR COLD CLIMATES	Laila Zekri, Hassan Nasr
		9	TECHNO-ECONOMIC EVALUATION OF SOLAR ENERGY IN STEAM GENERATION IN THE MIDDLE EAST	Hassan Al-Mansoori, Layla Bint Ali

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

HARMONİKLİ SİSTEMDE ÇALIŞMAYA UYGUN DÖKME REÇİNELİ KURU TİP TRAFO

HALİME BOZ
Beta Enerji Anonim Şirketi
halime.boz@betaenerji.com

ÖZET

Elektrik sistemlerinde harmonik, temel frekansın katları olan gerilim veya akım bileşenleridir. 3. harmonik (150 Hz), 5. harmonik (250 Hz),7. harmonik (350 Hz)… Harmonikler genellikle non-lineer yüklerden (ör. bilgisayar güç kaynakları, LED sürücüler, hız kontrol cihazları, UPS, doğrultucular) kaynaklanır. Harmonikler genelde kayıpların artması (ısı kaybı, bakır kaybı, demir kaybı), nötr iletkenin aşırı akım çekmesi, gerilim bozulması (THD artışı), motor ve trafolarda ek ısınma gibi sorunlara yol açar. Akım harmonikleri, doğrusal olmayan yüklerin çektiği sinüzoidal olmayan akımlardır. Akım harmoniği sistemde voltaj bozulmasına yol açar. Akım harmoniklerinin trafo, kablo ve şebeke empedansı üzerinde gerilim düşümüne yol açması ile gerilim harmonikleri oluşur. Gerilim harmoniği motorlarda ve trafo sargılarında farklı hızlarda dönen manyetik alanlar yaratır. Hem akım hem de gerilim harmonikleri, özellikle indüksiyon motorları, trafo, kondansatör ve koruma cihazları üzerinde olumsuz etkiler yaratır. İçinde yüksek harmonik üreten cihazların yoğun olduğu elektrik şebekesine harmonikli sistem denir. Harmonikler nedeniyle trafonun etkin taşıma kapasitesi düşer. Bu çalışmada, modern güç sistemlerinde yaygın olarak karşılaşılan harmonik bozunumların etkilerini güvenle karşılayabilecek şekilde tasarlanan dökme reçineli kuru tip transformatörün performans özellikleri ve tasarım prensipleri ele alınmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dökme reçineli kuru tip transformatör, Harmonikli sistem, Akım ve gerilim harmoniği

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

YÜKSEK ORTAM SICAKLIĞINDA ÇALIŞMA ŞARTLARINA UYGUN 8(10) MVA 115/6.3 kV GÜÇ TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI, PROTOTİP ÜRETİMİ & TESTLERİ

Elektrik-Elektronik Mühendisi, MELİK SELÇUK

Beta Enerji ve Teknoloji A.Ş., melik.selcuk@betaenerji.com – ORCID ID: 0009-005-2032-2423

ÖZET

Bu çalışmada, yüksek ortam sıcaklıklarında sürekli, güvenilir ve verimli şekilde çalışabilecek 8(10) MVA, 115/6,3 kV güç transformatörünün tasarımı, prototip üretimi ve test süreçleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu kapsamda, transformatörün hem elektriksel hem de termal performansını yüksek sıcaklık koşullarında sürdürebilmesi için özel tasarım yaklaşımları geliştirilmiş, malzeme seçimi ve soğutma sistemleri bu hedef doğrultusunda optimize edilmiştir. Günümüzde küresel ısınma, tropikal ve çöl iklimlerinin genişlemesi gibi çevresel değişiklikler, enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde kullanılan ekipmanların çok daha zorlu sıcaklık koşullarında kesintisiz çalışmasını zorunlu kılmaktadır. Artan ortam sıcaklıkları, transformatörlerin yalıtım ömrü, termal kararlılığı, verimliliği ve mekanik dayanımı üzerinde doğrudan olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu nedenle, çalışmada yüksek sıcaklık dayanımını artıracak yenilikçi tasarım prensipleri, ileri teknoloji yalıtım malzemeleri ve etkin ısı yönetim stratejileri bir bütün olarak değerlendirilmiş; geleceğin enerji altyapılarına uygun, çevresel koşullara dirençli bir transformatör teknolojisi geliştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmalar kapsamında, yüksek sıcaklıklarda kararlılığını koruyabilen yalıtım sistemleri belirlenmiş, dielektrik yalıtım sıvıları gibi ileri teknoloji malzemeler değerlendirilmiştir. Transformatörün termal performansını artırmak amacıyla farklı soğutma topolojileri (ONAN, ONAF) incelenmiş ve yağ devinim kanalları, radyatör tasarımı ile fan karakteristikleri optimize edilmiştir. Isıl modelleme ve sayısal analizler kullanılarak sargı ve yağ bölgelerindeki sıcaklık dağılımları doğrulanmış, ısıl denge davranışları analiz edilmiştir. Ayrıca, çekirdek sacları, iletkenler, contalar ve yardımcı ekipmanlar yüksek sıcaklık dayanımı ve uzun süreli kararlılık kriterleri göz önüne alınarak seçilmiştir. Dayanımı yüksek malzeme ve ekipmanların seçilmesiyle transformatörün hem termal hem de elektriksel dayanımının arttırılması istenilmektedir. Elde edilen analizler neticesinde, geliştirilen transformatör tasarımının sıcak ve tropikal iklim koşullarında güvenilir şekilde çalışabileceğini, termal dayanım ve verimlilik açısından uluslararası standartları karşılayacağı gözükmektedir. Proje sonucunda, yüksek sıcaklık koşullarına uygun, uzun ömürlü, enerji verimliliği yüksek ve yerli üretim kabiliyetine sahip bir güç transformatörü teknolojisinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güç transformatörü, Yüksek ortam sıcaklığı, Termal dayanım, Verimlilik, Termal analiz

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ŞEBEKEDEN GELEN ELEKTRİKSEL TEHLİKELERİ İZOLE EDEN 14 MVA 33/33 KV GÜÇ TRANSFORMATÖRÜNÜN TASARIMI, PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ

Deniz Utku SÜZER

[1]Güç Trafoları Elektrik Proje ve Tekliflendirme Uzm. Yard., BETA ENERJİ VE TEKNOLOJİ A.Ş., Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Adana, Türkiye.

[1]ORCID ID: https://orcid.org/0000-0000-0000-0000

[1]deniz.suzer@betaenerji.com, 0541 281 68 51

ÖZET

Bu proje kapsamında, enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde kullanılmak üzere, şebekeden gelebilecek aşırı gerilimler, harmonik bozulmalar, dengesizlikler ve kısa devre gibi elektriksel tehlikeleri izole edebilecek 14 MVA, 33/33 kV izolasyon tipi güç transformatörünün tasarımı ele alınmıştır. Çalışma, sistem güvenliği ve kararlılığını artırmayı, ekipmanları şebeke kaynaklı aşırı gerilimler ve harmonik bozulmalardan korumayı hedefleyerek konsept tasarım ve mühendislik tasarım aşamalarına odaklanmaktadır. İzolasyon transformatörleri, giriş ve çıkış devreleri arasında doğrudan elektriksel bağlantı yerine yalnızca manyetik kuplaj aracılığıyla enerji transferi sağlar. Bu yapı, özellikle endüstriyel tesislerde hassas elektronik sistemler, kontrol cihazları ve otomasyon ekipmanlarının geçici aşırı gerilimler, faz dengesizlikleri ve harmonik bozulmalardan güvenli bir şekilde korunmasında kritik rol oynar. Tasarım sürecinde, transformatörün elektriksel, termal ve mekanik bileşenleri ayrıntılı olarak modellenmiş ve optimize edilmiştir. Elektriksel tasarımda, primer ve sekonder sargılar arasında yüksek dielektrik dayanım sağlayan çok katmanlı bir izolasyon sistemi uygulanmış, izolasyon malzemeleri ise yüksek gerilim altında kısmi boşalma riskini minimize edecek ve termal yaşlanmaya karşı uzun süre dayanacak şekilde seçilmiştir. Ayrıca, sargı yerleşimleri kaçak manyetik alanları minimize etmek, endüktans değerlerini optimize etmek ve homojen manyetik dağılım sağlamak amacıyla dikkatle tasarlanmıştır. Termal tasarımda, transformatörün soğutma sistemi ve yağ sirkülasyonu, sargılarda ve çekirdek bölgelerinde optimum ısı dağılımını sağlayacak şekilde analiz edilmiştir. Bu sayede transformatörün uzun süreli güvenli çalışması ve verimli enerji transferi garanti altına alınmıştır. Mekanik tasarım ise özellikle kısa devre dayanımını artıracak şekilde geliştirilmiş, sargı destek yapıları, bağlantı bölgeleri ve çekirdek montajları rijitlik ve mukavemet açısından optimize edilmiştir. Bu çalışma, kapsamlı mühendislik analizleri ve tasarım optimizasyonları ile yüksek izolasyon kabiliyeti, düşük enerji kayıpları ve uzun ömür hedefleyen bir güç transformatörü konsepti oluşturmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Transformatör, şebeke güvenliği, elektriksel izolasyon, dielektrik dayanım

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

TRANSFORMATÖRLERDE ALÇAK GERİLİM İZOLATÖRLERİNDE KIRILMA VE YAĞ KAÇAKLARINI ÖNLEMEK İÇİN BARA BAĞLANTILARINDA STRİP FOLYO KULLANIMI UYGULAMASI

Ender SUNAL
Beta Enerji ve Teknoloji A.Ş.
ender.sunal@betaenerji.com

ÖZET

Bu çalışma, dağıtım transformatörlerinde alçak gerilim izolatörlerinde meydana gelen kırılma, çatlama ve yağ kaçaklarının önlenmesine yönelik olarak strip folyo kullanımının teknik etkinliğini ve ek yalıtım çözümlerinin sistem performansına etkisini incelemektedir. Enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin güvenilir çalışması, transformatör bileşenlerinin uzun ömürlü ve arızasız işletimine bağlıdır. Bu kapsamda, hem elektriksel hem de mekanik açıdan kritik görevler üstlenen alçak gerilim izolatörlerinin çalışma koşulları altında korunması büyük önem taşımaktadır. Yüksek sıcaklık değişimleri, impuls akımlar, mekanik gerilmeler ve sürekli titreşim gibi etkenler izolatörlerde yapısal zayıflamalara yol açarak kırılma ve yağ kaçakları şeklinde ciddi arızalara neden olabilmektedir.

Strip folyo uygulaması, bara ile izolatör arasındaki bağlantıya esneklik kazandırarak mekanik gerilim yoğunlaşmalarını azaltan yenilikçi bir çözüm sunmaktadır. Elastik yapısı sayesinde termal genleşme kaynaklı zorlanmaları sönümlendirmekte, darbe yüklerini daha homojen dağıtmakta ve izolatörün maruz kaldığı mekanik etkiyi minimum seviyeye indirmektedir. Ek olarak elektriksel izolasyon sağlaması, kısa devre risklerinin azalmasına ve enerji kayıplarının düşmesine katkı sağlamaktadır.

Bunun yanı sıra, transformatör sargılarının alüminyum malzemeden üretildiği uygulamalarda, bara bağlantılarında bakır ile alüminyum malzemelerin doğrudan temas etmesi galvanik korozyona neden olabilmektedir. Bu tür korozyon, temas yüzeylerinde oksitlenme, temas direncinin artması ve ısıl kayıpların yükselmesi gibi sorunlara yol açmaktadır. Bu nedenle uygulamada bakır ile alüminyum arasına bimetal plaka yerleştirilmekte ve böylece iki farklı metalin elektro-kimyasal reaksiyona girerek hasar oluşturması önlenmektedir. Bimetal plaka kullanımı, strip folyo ile birlikte değerlendirildiğinde hem bağlantı güvenilirliğini artırmakta hem de uzun dönemli performans kayıplarının önüne geçmektedir.

Sonuç olarak, strip folyo ve bimetal plaka gibi tamamlayıcı çözümler; alçak gerilim izolatörlerinde arızaların azaltılmasına, mekanik dayanımın artırılmasına ve transformatörün genel güvenilirliğinin iyileştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Bu yaklaşımlar, enerji sektöründe sürdürülebilir ve verimli işletme hedefleri açısından yüksek değer oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Strip Folyo, Yağ Kaçakları, Transformatör Güvenliği.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

5000 kVA 30/0,8-0,8 kV 3 SARGILI GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNE UYGUN TRANSFORMATÖRÜN TASARIMI, PROTOTİP ÜRETİMİ VE TESTLERİ

Ali SARTAK
Beta Enerji ve Teknoloji A.Ş.
ali.sartak@betaenerji.com

ÖZET

Transformatörler, elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımında gerilim seviyelerini dönüştürerek enerji akışının güvenli ve verimli şekilde gerçekleşmesini sağlayan temel bileşenlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının, özellikle güneş enerjisi santrallerinin şebekeye entegrasyonunda kullanılan transformatörler, yüksek verimlilik, harmonik dayanımı ve güvenilir termal performans gerektirir. Bu bağlamda, üç sargılı transformatörler inverter çıkışlarının ve şebeke bağlantısının aynı gövde üzerinde yönetilmesine olanak tanıyarak sistem entegrasyonunu kolaylaştırmakta ve maliyetleri düşürmektedir.

Bu çalışma kapsamında, güneş enerjisi santrallerine uygun 5000 kVA gücünde, 30/0,8-0,8 kV gerilim seviyelerine sahip üç sargılı bir transformatörün tasarımı, prototip üretimi ve testleri gerçekleştirilmiştir. Tasarım sürecinde IEC 60076 standartları referans alınmış, elektriksel ve termal parametreler optimize edilmiştir. Nüve, yönlendirilmiş silisli sacdan imal edilmiş üç fazlı, üç kolonlu tipte seçilmiş; sargılar kısa devre dayanımı ve harmonik etkilerine karşı silindirik tipte tasarlanmıştır.

Soğutma sistemi olarak ONAN (Oil Natural Air Natural) uygulanmış ve yük altında sargı sıcaklıklarının IEC limitleri içinde kaldığı doğrulanmıştır. Ayrıca harmonik akımların oluşturduğu ek kayıplar dikkate alınarak nüve ve sargı tasarımı optimize edilmiştir. Prototip üretimi tamamlandıktan sonra tip ve rutin testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler arasında kısa devre dayanımı, yük altında gerilim regülasyonu, dielektrik dayanım ve termal performans ölçümleri yer almaktadır.

Projenin tamamlanmasıyla birlikte, elde edilen mühendislik çıktıları yerli üretim altyapısına aktarılacak ve güneş enerjisi santrallerinde kullanılabilecek yüksek verimli, güvenilir ve ekonomik transformatör çözümleri geliştirilecektir. Bu çalışma, yenilenebilir enerji entegrasyonunda kritik bir adım olarak ülkemizde enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Transformatör, üç sargılı tasarım, güneş enerjisi santrali, ONAN soğutma, harmonik

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

AI-ENHANCED CONTROL TECHNIQUES FOR POWER ELECTRONICS CONVERTERS: RECENT ADVANCES AND FUTURE PERSPECTIVES

Elanur Ekici

Adana Alparslan Turkes Science and Technology University,

eekici@atu.edu.tr – 0000-0003-1919-5576

ABSTRACT

The rapid development of renewable energy systems has made performance criteria such as dynamic responsiveness, efficiency, and stability essential in power electronic converters that enable their integration into power systems. Traditional control techniques such as Proportional-Integral (PI), Proportional-Integral-Derivative (PID), and model-based controllers, have long been widely used due to their simplicity and stability. However, these methods exhibit limited applicability under parameter uncertainties, nonlinear operating conditions, and rapidly changing system dynamics. Recently, the integration of AI-enhanced techniques into the control of power electronic converters has emerged as an alternative solution to overcome this limitations. This paper comprehensively presents current developments in AI-enhanced control techniques for power electronic converters. Direct current-to-direct current (DC-DC), direct current-to-alternating current (DC-AC), and alternating current-to-direct current (AC-DC) converter applications are examined, and artificial neural networks, fuzzy logic controllers, reinforcement learning, and deep learning-based methods are discussed in detail. AI-enhanced methods optimize controller behavior by learning complex nonlinear relationships from real-time data, thus presenting a computational, data-driven control approach. Furthermore, by learning the dynamics of the controlled system, these methods enable optimal control responses without the need for explicit mathematical models. Applications of AI-enhanced control techniques extend to various power converter topologies, including DC-DC converters (buck, boost, buck-boost), DC-AC inverters (two-level, multi-level, modular multi-level converters), AC-DC rectifiers, and bidirectional converters for energy storage systems. These applications are of great importance for sectors such as renewable energy integration, electric vehicles, microgrids, high-voltage direct current (HVDC) transmission, and industrial motor drives. This paper presents a comprehensive analysis of AI-enhanced control techniques for power converters by examining the state of the art, recent advances, application areas, challenges, and future research perspectives.

Keywords: Power electronics converters, Control techniques, Data-driven methods, Artificial intelligence.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCTION

The global transition toward sustainable energy has accelerated the deployment of renewable energy systems, increasing demands on power electronic converters that serve as the interface between energy sources and electrical grids [1]. Power electronic converters, including DC-DC, DC-AC, and AC-DC topologies, are major components in photovoltaic systems, the wind energy sector, electric vehicles, and high-voltage direct current (HVDC) transmission systems [2]. The performance of these converters directly affects system efficiency, power quality, and grid stability. Conventional control methodologies, including Proportional-Integral (PI) and Proportional-Integral-Derivative (PID) controllers, have been extensively employed due to their basic implementation and well-established theoretical foundations [3]. Model Predictive Control (MPC) has also gained prominence for its ability to handle constraints and optimize performance [4]. However, these traditional approaches pose significant limitations under parameter uncertainties, highly nonlinear system dynamics and rapidly changing operating conditions that characterize modern power electronics systems [5].

The emergence of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) technologies has created new opportunities for addressing these challenges [6]. AI-enhanced control techniques offer the capability to learn complex nonlinear relationships from data, adapt to changing system conditions in real-time, and optimize controller behavior without requiring mathematical models [7]. The integration of neural networks, fuzzy logic systems, reinforcement learning, and deep learning methodologies into power converter control enhances and accelerates the design and implementation of power electronics systems [8].

This paper provides a comprehensive review of AI-enhanced control techniques for power electronic converters, examining recent advances and future research directions. The remainder of this paper is organized as follows: Section 2 discusses artificial neural network-based control methods. Section 3 presents fuzzy logic control approaches, and then, Section 4 examines reinforcement learning and deep learning techniques. Section 5 reviews applications across various converter topologies, and Section 6 discusses challenges and future perspectives. Finally, Section 7 highlights the conclusions of the paper.

2. ARTIFICIAL NEURAL NETWORK-BASED CONTROL

Artificial Neural Networks (ANNs) have emerged as significant tools for power converter control due to their universal function approximation capability and ability to learn from data [9]. ANNs can effectively capture nonlinear relationships between system inputs and outputs, making them particularly suitable for controlling power electronic systems with complex dynamics.

2.1. Feed-Forward Neural Networks

Feed-forward neural networks (FFNNs) are the most fundamental ANN architecture employed in power converter control. Recent studies have demonstrated the effectiveness of FFNNs for voltage regulation in DC-DC converters where the network input conditions are

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

trained to map to the optimum duty cycle [10]. The ANN-based control strategy shows superior performance compared to conventional PI controllers, particularly under varying load conditions, achieving approximately 97% accuracy in voltage regulation [11]. Zernike radial neural network (ZRNN)-based adaptive control has been proposed for output voltage regulation in DC-DC buck converters, where the ZRNN estimates unknown load disturbances online and feedback signals to the controller [12]. This approach demonstrates rapid estimation capabilities and ensures system stability despite parameter uncertainties and external disturbances.

2.2. Recurrent Neural Networks

Recurrent neural networks (RNNs), including Long Short-Term Memory (LSTM) networks, have gained attention for their ability to process sequential data and capture temporal dependencies [13]. LSTM-based Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithms have demonstrated superior power tracking accuracy under changing solar conditions, achieving 20-30% improvement in output power compared to conventional Perturb and Observe (P&O) methods [14].

Neural sliding mode controllers (NSMC) based on recurrent high-order neural networks (RHONN) have been developed for regenerative braking systems in electric vehicles, effectively regulating current and voltage in bidirectional DC-DC buck-boost converters [15]. The integration of extended Kalman filter (EKF) and unscented Kalman filter (UKF) training algorithms enables superior performance compared to traditional PI controllers.

3. FUZZY LOGIC CONTROL

Fuzzy Logic Controllers (FLCs) offer a systematic approach to incorporating expert knowledge and linguistic rules into control system design without requiring precise mathematical models [16]. The inherent ability of FLCs to handle uncertainties makes them attractive for power electronic applications characterized by nonlinear dynamics and parameter variations.

3.1. Type-1 Fuzzy Logic Controllers

Type-1 FLCs have been widely applied in photovoltaic inverter control, demonstrating improved dynamic response and reduced total harmonic distortion (THD) in output waveforms [17]. Adaptive fuzzy logic control for microgrid-connected hybrid photovoltaic/wind generation systems provides robust performance under varying environmental conditions [18]. Fuzzy-based energy management systems utilizing 27 fuzzy IF-THEN rules have shown effective power flow optimization in hybrid renewable energy systems combining solar PV, wind turbines, and battery storage [19].

3.2. Type-2 Fuzzy Logic Controllers

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Type-2 FLCs extend the capabilities of Type-1 systems by incorporating additional degrees to handle higher levels of uncertainty [20]. Genetic algorithm-optimized Type-2 FLCs (T2FLC-GA) for microgrid systems with fractional-order techniques demonstrate rapid dynamic response, high durability, and distinctive performance [21]. These controllers achieve 15% reduction in frequency deviation and 10% reduction in voltage deviation compared to conventional control strategies.

The integration of fuzzy logic with sliding mode control (SMC) has been investigated for multilevel inverters, where the fuzzy logic component handles parameter uncertainties while SMC provides robust tracking performance [22]. Fuzzy hysteresis current controllers have proven effective for power quality enhancement in renewable energy integrated clusters [23].

4. REINFORCEMENT LEARNING AND DEEP LEARNING

Reinforcement learning (RL) is a form of machine learning in which agents learn optimal control policies by interacting with the environment and refining their decision-making processes based on positive, neutral, and negative feedback received as rewards for desired behaviors [24]. Deep reinforcement learning combines the function approximation capabilities of deep neural networks with the decision-making framework of RL [25]. Proximal Policy Optimization -based controllers have been developed for DC-DC buck converters, demonstrating near-optimal decisions for real converters operating in both continuous conduction mode (CCM) and discontinuous conduction mode (DCM) [26]. Key innovations include chattering-reduction reward functions, feature engineering, and neural network architecture optimization. Deep Q-Network and Deep Deterministic Policy Gradient algorithms have been applied for MPPT in photovoltaic systems under partial shading conditions, effectively distinguishing between global and local maximum power points [27]. Twin Delayed Deep Deterministic Policy Gradient (TD3) algorithms have demonstrated robust performance in DC-DC boost converter control, with compensatory-TD3 (C-TD3) controllers achieving fast response, minimal overshoot, and reduced ripples [28].

5. APPLICATIONS ACROSS CONVERTER TOPOLOGIES

4.1. DC-DC Converters

AI-enhanced control techniques have been widely utilized to DC-DC converter topologies, including buck, boost, and buck-boost configurations. Adaptive neural network sliding mode control (ANN-SMC) combined with PI control for DC-DC buck converters addresses complexity and nonlinear characteristics with time-varying uncertain parameters [29]. Radial basis function (RBF) neural network PID controllers optimize PID parameters using the network's approximation capability for nonlinear functions, demonstrating smaller overshoot compared to traditional PID systems [30].

Three-phase bidirectional DC-DC converters with neural network controllers for renewable energy sources interface DC buses with high conversion ratios while ensuring

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

smooth power transfer [31]. The duty ratio mapping methodology enables sim-to-real transfer of deep reinforcement learning controllers for DC-DC buck converters, achieving accurate voltage regulation and adaptability to uncertain circuit parameters [32].

4.2. DC-AC Inverters and Multilevel Converters

Modular multi-level converters (MMCs) and multi-level inverters are also types of power electronics converters in which significant research is being conducted on AI-enhanced control strategies. The 31-level asymmetrical DC voltage source configured diode-switched multilevel inverter with fuzzy logic control demonstrates reduced total standing voltage and improved cost function for renewable energy conversion and electric vehicle applications [33]. Neural network-based model predictive control approaches for MMCs reduce computational burden while maintaining control accuracy [34].

Advanced MPC techniques designed for HVDC systems equipped with MMCs eliminate the need for traditional PI regulators and pulse width modulation, improving system dynamics and control accuracy [35]. Data-driven approaches based on model-free adaptive control with event-triggered mechanisms demonstrate superior robustness against parameter mismatches and enhanced dynamic performance [36].

4.3. Renewable Energy Integration

AI-enhanced control techniques play a crucial role in renewable energy system integration of the power systems. Optimal fuzzy logic controllers based on particle swarm optimization (PSO) for photovoltaic systems provide robust MPPT performance [37]. Adaptive fuzzy PID controllers for grid-connected hybrid photovoltaic/wind generation systems enable stable operation under varying environmental conditions [38]. Deep learning stack LSTM-based MPPT control for dual-stage 100 kWp grid-tied solar PV systems demonstrates superior performance compared to conventional P&O and feed-forward deep neural network methods [39].

6. CHALLENGES AND FUTURE PERSPECTIVES

Despite significant advances, several challenges remain in the implementation of AI-enhanced control techniques for power electronic converters. Real-time implementation presents computational challenges, particularly for deep learning and complex RL algorithms [40]. The requirement for specialized processing units and significant computational resources may limit practical deployment in cost-sensitive applications. The simulation to real gap presents a significant hurdle, as controllers trained in simulation environments may experience performance degradation when deployed on actual hardware due to modeling inaccuracies and unmodeled dynamics [41]. Interpretability and explainability of AI-based controllers remain concerns for safety-critical applications, where understanding controller behavior is essential for regulatory compliance. Future research directions include the development of lightweight neural network architectures suitable for embedded implementation, hybrid approaches

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

combining model-based and data-driven methods, and transfer learning techniques for rapid adaptation to new operating conditions [42]. Advances in specialized hardware accelerators will enable more complex AI algorithms to be deployed in real-time applications.

7. CONCLUSION

This paper has presented a comprehensive review of AI-enhanced control techniques for power electronic converters, encompassing artificial neural networks, fuzzy logic controllers, reinforcement learning, and deep learning approaches. These methods offer significant advantages over traditional control techniques, including the ability to handle nonlinearities, adapt to changing conditions, and optimize performance without mathematical models. Applications cover the many converter topologies, from DC-DC converters for renewable energy systems to multilevel inverters for HVDC transmission. The integration of AI techniques with established control methodologies, such as model predictive control and sliding mode control, has yielded hybrid approaches that combine the strengths of both. While challenges remain in real-time implementation, interpretability, and simulation to real transfer, continued advances in algorithm development and hybrid control strategies aim to expand the practical applicability of AI-enhanced control techniques. As renewable energy system investments continue to grow and power electronic systems become increasingly complex, AI-enhanced control will play a critical role in achieving the performance, efficiency, and reliability demanded by modern power systems.

REFERENCES

[1] S. Zhao, F. Blaabjerg, and H. Wang, "An overview of artificial intelligence applications for power electronics," IEEE Trans. Power Electron., vol. 36, no. 4, pp. 4633-4658, 2021.
[2] R. Kuppusamy, R., S. Nikolovski, and Y. Teekaraman, "Review of machine learning techniques for power quality performance evaluation in grid-connected systems," Sustainability, vol. 15, no. 20, 2023.
[3] E. Mohammadi, M. Alizadeh, M. Asgarimoghaddam, X. Wang and M. G. Simões, "A Review on Application of Artificial Intelligence Techniques in Microgrids," in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Industrial Electronics, vol. 3, no. 4, pp. 878-890, 2022.
[4] M. Zhang, P. I. Gomez, Q. Xu, and T. Dragicevic, "Review of online learning for control and diagnostics of power converters and drives: Algorithms, implementations and applications, " Renewable and Sustainable Energy Reviews,.vol. 186, p. 113627, 2023.
[5] A. Beşkardeş, Y. Hameş, and K. Kaya, "A comprehensive review on fuzzy logic control systems for all, hybrid, and fuel cell electric vehicles," Soft Computing, vol. 28, no. 13, pp. 8183-8221, 2024.
[6] Y. Fassi, V. Heiries, J. Boutet and S. Boisseau, "Toward Physics-Informed Machine-Learning-Based Predictive Maintenance for Power Converters—A Review," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 39, no. 2, pp. 2692-2720, 2024.
[7] S. Zhao and H. Wang, "Enabling data-driven condition monitoring of power electronic systems with artificial intelligence: Concepts, tools, and developments," IEEE Power Electron. Mag., vol. 8, no. 1, pp. 18-27, 2021.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[8] A. Moradzadeh, B. Mohammadi-Ivatloo, K. Pourhossein and A. Anvari-Moghaddam, "Data Mining Applications to Fault Diagnosis in Power Electronic Systems: A Systematic Review," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 37, no. 5, pp. 6026-6050, 2022.
[9] S. Zhao, Y. Peng, Y. Zhang and H. Wang, "Parameter Estimation of Power Electronic Converters With Physics-Informed Machine Learning," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 37, no. 10, pp. 11567-11578, 2022.
[10] A. A. Ibrahim, A. Zilio, T. Younis, D. Biadene, T. Caldognetto and P. Mattavelli, "Optimal Modulation of Triple Active Bridge Converters by an Artificial-Neural- Network Approach," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 71, no. 3, pp. 2590-2600, 2024.
[11] II. S. Mohamed, S. Rovetta, T. D. Do, T. Dragicević and A. A. Z. Diab, "A Neural-Network-Based Model Predictive Control of Three-Phase Inverter With an Output LC filter," IEEE Access, vol. 7, pp. 124737-124749, 2019.
[12] S. D. Gangula, T. K. Nizami, R. R. Udumula, A. Chakravarty, and P. Singh, "Adaptive neural network control of DC-DC power converter," Expert Syst. Appl., vol. 213, p. 118918, 2023.
[13] J. Fei and X. Gong, "Self-organizing fuzzy neural nonsingular fast terminal sliding mode control of DC-DC buck converter," IEEE Trans. Circuits Syst. I, vol. 71, 2024.
[14] B. Roy, S. Adhikari, S. Datta, K. J. Devi, A. D. Devi, and T. S. Ustun, "Harnessing deep learning for enhanced MPPT in solar PV systems: An LSTM approach using real-world data," Electricity, vol. 5, no. 4, p. 42, 2024.
[15] J. A. Ruz-Hernandez, R. Garcia-Hernandez, M. A. Ruz Canul, C. F. Guerra, J. L. Rullan-Lara, , and J. R. Vior-Franco, "Neural sliding mode control of a buck-boost converter applied to a regenerative braking system for electric vehicles," World Electric Vehicle Journal, vol. 15, no. 2, p. 48, 2024.
[16] M. Koondhar et al., "Fuzzy logic inverter controller in photovoltaic applications: Issues and recommendations," IEEE Access, vol. 7, pp. 24934-24955, 2019.
[17] P. A. Vara Prasad and C. Dhanamjayulu, "Implementation of the fuzzy logic controlled 31-level diode switched multilevel inverter with optimal components for solar PV-fed system," Int. Trans. Electr. Energy Syst., vol. 2024, p. 7352401, 2024.
[18] K. N. Khallouf et al., "Adaptive fuzzy logic control for microgrid-connected hybrid photovoltaic/wind generation systems," Indian J. Sci. Technol., 2024.
[19] N. Alfred, V. Guntreddi, A. N. Shuaibu, and M. S. Bakare, "A fuzzy logic based energy management model for solar PV-wind standalone with battery storage system," Sci. Rep., vol. 15, 2025.
[20] H. Zibandeh, A. Ghafouri, and T. Nouri, "Innovative Type II fuzzy-based voltage-frequency controller for isolated microgrid considering load shedding and uncertainties," Int. J. Energy Res., vol. 2024, p. 8718931, 2024.
[21] B. Maroua et al., "Genetic algorithm type 2 fuzzy logic controller of microgrid system with a fractional-order technique," Sci. Rep., vol. 15, 2025.
[22] Y. Yang, Y. Wang, Zhang, Z. Li, and R. Liang, "Design of adaptive fuzzy sliding-mode control for high-performance islanded inverter in micro-grid," Energies, vol. 15, no. 23, 2022.
[23] Y. V. P. Kumar et al., "Fuzzy hysteresis current controller for power quality enhancement in renewable energy integrated clusters," Sustainability, vol. 14, no. 8, 2022.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[24] P. Chen et al., "A review on the applications of reinforcement learning control for power electronic converters," IEEE Transactions on Industry Applications, 2024.
[25] O. Zandi and J. Poshtan, "Voltage control of DC-DC converters through direct control of power switches using reinforcement learning," Eng. Appl. Artif. Intell., vol. 120, p. 105880, 2023.
[26] N. Mazaheri, D. Santamargarita, E. Bueno, D. Pizarro, and S. Cobreces, "A deep reinforcement learning approach to DC-DC power electronic converter control with practical considerations," Energies, vol. 17, no. 14, p. 3578, 2024.
[27] B. C. Phan, Y. C. Lai, and C. E. Lin, "A deep reinforcement learning-based MPPT control for PV systems under partial shading condition," Sensors, vol. 20, no. 11, p. 3039, 2020.
[28] H. Cheng, S. Jung, and Y. B. Kim, "A novel reinforcement learning controller for the DC-DC boost converter," Energy, vol. 314, p. 133828, 2025.
[29] N. V. Quan and N. N. Son, "Control of a DC-DC buck converter using adaptive neural network," Electrical Engineering, vol. 107, no. 6, 2024.
[30] N. Pan, G. Wu, and R. Li, "Application of RBF neural network PID control on buck DC-DC converter," Journal of Physics Conf. Ser., vol. 2918, p. 012019, 2024.
[31] H. Gajed et al., "Three phase bidirectional DC-DC converters based neural network controller for renewable energy sources," Front. Energy Res., vol. 12, p. 1391310, 2024.
[32] C. Cui, T. Yang, Y. Dai, C. Zhang and Q. Xu, "Implementation of transferring reinforcement learning for DC-DC buck converter control via duty ratio mapping," IEEE Trans. Power Electron., 2023.
[33] G. M. Oorappan, S. Pandarinathan and J. Arumugam, "A new nine-level switched-capacitor-based multilevel inverter with low voltage stress and self-balancing," Electr. Eng., vol. 105, no. 2, pp. 867-882, 2023.
[34] Q. Xi, Y. Tian, and, Y. Fan, "Capacitor voltage balancing control of mmc sub-module based on neural network prediction," Electronics, vol. 13, p. 795, 2024.
[35] M. U. Bhutto et al., "Innovative model predictive control for HVDC: circulating current mitigation and fault resilience in modular multilevel converters," Front. Energy Res., vol. 12, p. 1345032, 2024.
[36] Y. Fang, Y., Liu, Y., Fu, A., Shi, S., & Zhang, Z., "A data-driven control for modular multilevel converters based on model-free adaptive control with an event-triggered scheme," Electronics, vol. 13, no. 15, p. 2899, 2024.
[37] M. G. Abdolrasol, A. Ayob, A. H. Mutlag, and, T. S. Ustun, "Optimal fuzzy logic controller based PSO for photovoltaic system," Energy Rep., vol. 9, pp. 427-434, 2023.
[38] M. Ali, M. Ahmad, M. A. Koondhar, M. S. Akram, A. Verma, and, B. Khan, "Maximum power point tracking for grid-connected photovoltaic system using adaptive fuzzy logic controller," Computers and Electrical Engineering, vol. 110, p. 108879, 2023.
[39] U. Younas, A. Afsin Kulaksiz and Z. Ali, "Deep learning stack LSTM based MPPT control of dual stage 100 kWp grid-tied solar PV system," IEEE Access, vol. 12, pp. 79512-79525, 2024.
[40] J. Miao, Y. Liu, Q. Yin, B. Ju, G. Zhang and H. Wang, "A novel soft fault detection and diagnosis method for a DC/DC buck converter based on contrastive learning," IEEE Trans. Power Electron., vol. 39, no. 1, pp. 1501-1513, 2024.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[41] D. Lee, B. Kim, S. Kwon, N. -D. Nguyen, M. Kyu Sim and Y. Il Lee, "Reinforcement learning-based control of DC-DC buck converter considering controller time delay," IEEE Access, vol. 12, pp. 118442-118452, 2024.
[42] X. Liu, L. Qiu, Y. Fang and J. Rodríguez, "Reinforcement learning-based event-triggered FCS-MPC for power converters," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 70, no. 12, 2023.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

THE ROLE OF FPV SYSTEMS INSTALLED ON WATER SURFACES IN THE GLOBAL ENERGY TRANSFORMATION AND THE ECOSYSTEM DIMENSION

Lecturer, OSMAN ÖZDEMİR

Fırat University, oozdemir@firat.edu.tr - 0000-0001-9725-5111

Lecturer Dr., MERVE ALADAĞ,

Fırat University, marin@firat.edu.tr - 0000-0002-5072-0167

SUMMARY

Energy demand is rapidly increasing due to global demographic expansion and economic growth. Meeting current demand largely from fossil fuels increases greenhouse gas emissions, leading to air pollution and global warming. To minimize the supply-demand mismatch in the energy system, limit greenhouse gas emissions, and protect the ecosystem, expanding the implementation and adoption of renewable energy sources has become essential.

Solar energy is gaining prominence due to its sustainability, widespread accessibility, and ecologically friendly features. Photovoltaic (PV) systems, one of the technologies that directly convert sunlight into electrical energy, are expanding their application areas. However, land-based PV plants require a large amount of land on flat land and in mountainous areas. It is reported that in current applications, approximately 1.6 hectares of land are needed for 1 MWp of installed power. Other major factors negatively impacting the performance of land-based PV plants are temperature rise, partial shading, and dust.

In this context, floating photovoltaic (FPV) systems installed on water surfaces reduce land requirements by integrating them into irrigation canals, drinking water reservoirs, dam lakes, wastewater ponds, and offshore areas. They also increase electrical efficiency through the cooling effect of water, which reduces module temperature, and compared to literature, they can provide up to 10% additional generation compared to land-based systems. With the rapidly increasing total installed capacity worldwide, FPV electricity generation is projected to reach 77 GW by 2033.

This study presents an approach that considers factors such as water conservation, climate change, ecosystems, and energy efficiency in solar energy systems installed on water resources. The components of FPV systems, their advantages and disadvantages, constraints encountered in water environments, and the impact of design parameters such as slope, mounting type, and monitoring systems on performance are evaluated.

Keywords: Floating photovoltaic systems (FPV), climate change, ecosystem interaction.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

SU YÜZEYLERİNE KURULU FPV SİSTEMLERİN KÜRESEL ENERJİ DÖNÜŞÜMÜNDEKİ ROLÜ VE EKOSİSTEM BOYUTU

Öğr.Gör., OSMAN ÖZDEMİR

Fırat üniversitesi, oozdemir@firat.edu.tr - 0000-0001-9725-511

Öğr. Gör. Dr., MERVE ALADAĞ,

Fırat Üniversitesi, marin@firat.edu.tr - 0000-0002-5072-0167

ÖZET

Küresel demografik genişleme ve ekonomik büyümenin etkisiyle enerji talebi hızla artmaktadır. Mevcut talebin büyük oranda fosil yakıtlardan karşılanması sera gazı emisyonlarını artırarak hava kirliliğine ve küresel ısınmaya yol açmaktadır. Enerji sisteminde arz–talep uyumsuzluğunu minimize etmek, sera gazı emisyonlarını kısıtlamak ve ekosistemi korumak için, yenilenebilir enerji kaynaklarını uygulama ve benimseme süreçlerinin yaygınlaştırılması zorunlu hâle gelmiştir.

Güneş enerjisi; sürdürülebilirliği, yaygın erişilebilirliği ve ekoloji dostu özellikleri nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Güneş ışınını doğrudan doğruya elektrik enerjisine dönüştüren teknolojilerden biri olan fotovoltaik (PV) sistemlerin uygulama alanı genişlemektedir. Bununla birlikte, kara tipi PV santrallerinin düz araziler ve dağlık alanlarda büyük miktarda alana ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut uygulamalarda yaklaşık 1 MWp kurulu güç için 1,6 hektar araziye ihtiyaç duyulduğu rapor edilmektedir. Kara tipi PV santrallerinin performansını olumsuz etkileyen diğer başlıca faktörler ise sıcaklık artışı, kısmi gölgelenme ve tozlanmadır.

Bu bağlamda, su yüzeylerine kurulumu yapılan yüzer fotovoltaik (FPV) sistemler; sulama kanalları, içme suyu rezervuarları, baraj gölleri, atık su havuzları ile açık deniz alanları üzerinde entegre edilerek arazi ihtiyacını azaltmaktadır. Ayrıca modül sıcaklığını azaltan suyun soğutma etkisiyle elektrik verimini artırmakta ve literatür ile karşılaştırıldığında, kara tipi sistemlere oranla %10'a varan ilave üretim sağlayabilmektedir. Dünya genelinde toplam kurulu gücü hızla yükselen FPV elektrik üretiminin 2033 yılına kadar 77 GW mertebesine ulaşacağı öngörülmektedir.

Bu çalışma, su kaynakları üzerine kurulu güneş enerji sistemlerini; su tasarrufu, iklim değişikliği, ekosistem, enerji verimliliği gibi faktörleri birlikte değerlendiren bir yaklaşım sunmaktadır. FPV sistemlerinin bileşenleri, avantaj ve dezavantajları, su ortamlarında karşılaşılan kısıtlar ile eğim, montaj türü, izleme sistemleri gibi tasarım parametrelerinin performans üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelime: Yüzer fotovoltaik sistemler (FPV), iklim değişikliği, ekosistem etkileşimi

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

TECHNOLOGIES AND EFFICIENCY USED IN ELECTRICITY GENERATION FROM MUNICIPAL SOLID WASTE

Lecturer Dr., MERVE ALADAĞ,

Fırat University, marin@firat.edu.tr - 0000-0002-5072-0167

Lecturer, OSMAN ÖZDEMİR

Fırat University, oozdemir@firat.edu.tr - 0000-0001-9725-5111

ABSTRACT

Demographic growth and economic transformations associated with urbanization are increasingly driving urban solid waste generation. The increase in urban solid waste volume and energy demand in developing countries significantly impacts greenhouse gas emissions, making sustainable waste management critical. Traditional waste storage methods, such as uncontrolled dumpsites and sanitary landfills, cause environmental problems, while the potential for energy recovery is neglected. At this stage, electricity generation from waste emerges as a sustainable approach in the integrated assessment of waste management and energy recovery.

The primary technologies that generate electricity from solid waste, either directly or by pretreating it, include incineration, gasification, pyrolysis, biological processes such as anaerobic digestion and fermentation. Incineration is the most widely used method among these methods and offers the most advantageous technology, providing rapid energy conversion and reducing waste volume by 70–90%.

The efficiency of electricity generation from solid waste is highly dependent on the composition of the waste, the technology used, and facility management. Furthermore, assessing the carbon footprint, emission control, and ecosystem impacts of production processes are key components of sustainability criteria. Furthermore, integrating renewable energy sources into the system plays a critical role in minimizing environmental impacts and increasing energy recovery efficiency.

Studies indicate that sanitary landfills cause significant CO_2 emissions. Incineration and anaerobic digestion, on the other hand, are suggested to reduce environmental impacts and, when integrated with recycling systems, can reduce net emissions to negative levels.

In modern waste management systems, electricity generation from municipal solid waste plays a key environmental and economic role. It is crucial that future studies focus on increasing the integration of waste management and energy production, particularly in developing countries.

Keywords: Solid waste, sanitary landfill, energy production

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KENTSEL KATI ATIKLARDAN ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KULLANILAN TEKNOLOJİLER VE VERİMLİLİK

Öğr. Gör. Dr., MERVE ALADAĞ,

Fırat Üniversitesi, marin@firat.edu.tr - 0000-0002-5072-0167

Öğr.Gör., OSMAN ÖZDEMİR

Fırat üniversitesi, oozdemir@firat.edu.tr - 0000-0001-9725-511

ÖZET

Şehirleşme süreçlerindeki demografik büyüme ve ekonomik dönüşümler, kentsel katı atık üretimini gittikçe yükseltmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde kentsel katı atık miktarının ve enerji talebinin artışı, sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde etkileyerek sürdürülebilir atık yönetimi kritik hale getirmektedir. Kontrolsüz döküm alanları (dumpsite) ve düzenli katı atık depolama sahaları (landfill) gibi geleneksel atık depolama yöntemleri çevresel açıdan sorunlara sebep olurken, enerji geri kazanım potansiyeli ihmal edilmektedir. Bu aşamada çöpten elektrik üretimi, atık yönetimi ve enerji geri kazanımının bütünleşik değerlendirilmesinde sürdürülebilir bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır.

Katı atıkları doğrudan veya ön işleme tabi tutarak elektrik üreten başlıca teknolojiler; yakma, gazifikasyon, piroliz ile anaerobik parçalanma ve fermantasyon gibi biyolojik yöntemlerden oluşmaktadır. Yakma, bu yöntemler arasında en yaygın kullanılan yöntem olup hızlı enerji dönüşümü sağlaması ve atık hacminin %70–90 oranında azalması bakımından en avantajlı teknolojidir.

Katı atıktan elektrik üretim verimliliği, atığın bileşimine, kullanılan teknolojiye ve tesis yönetimine oldukça bağlıdır. Bununla birlikte üretim süreçlerinde karbon ayak izi, emisyon kontrolü ve ekosistem üzerindeki etkilerin değerlendirilmesi, sürdürülebilirlik kriterlerinin ana bileşenleridir. Ayrıca çevresel etkileri minimize etmek ve enerji geri kazanım verimliliğini artırmak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme dahil edilmesi kritik bir rol oynar. Yapılan çalışmalarda, düzenli depolama sistemlerinin oldukça yüksek CO_2 salınımlarına sebep olduğu belirtilmektedir. Yakma ve anaerobik çürütmenin ise çevresel etkileri azalttığını, geri dönüşüm sistemleriyle entegre edilmesi durumundaysa net emisyonları negatif değerlere düşürebildiği ileri sürülmektedir.

Modern atık yönetim sistemlerinde kentsel katı atıklardan elektrik üretimi, çevresel ve ekonomik açıdan kilit bir rol oynamaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmaların, bilhassa gelişmekte olan ülkelerde atık yönetimi ve enerji üretiminin entegrasyonunun artırılmasına odaklanılması oldukça önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Katı atık, düzenli depolama, enerji üretimi.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

YÜKSEK DAYANIMA SAHİP İNCE ÇORAP TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

Sevda KÖKSAL DABAN

Penti Çorap San. Ve Tic.A.Ş. Ar-Ge Merkezi, Sevda.daban@penti.com.tr, ORCID ID: 0000-0003-1320-0012

ÖZET

İnce çorap üretiminde kullanılan iplikler ağırlıklı olarak poliamid 6 ve poliamid 6.6 iplikleridir. İşletme bünyesinde 10 denyeden 200 denyeye kadar külotlu çorap üretimi yapılmaktadır. Mevcut iplikler ile yapılan 30 denye ve altındaki çoraplarda lifin takılması, çekilmesi kaynaklı oluşan filtre sorunu yaşanmaktadır. Üretim kaynaklı filtre sorununa bağlı olarak denyeye göre değişmekle birlikte üretimde ortalama %7-10 fire kaybı olmaktadır. Fire kaybı üretim maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan ürün tüketiciye ulaştığında giyim esnasında ve kullanım sırasında kaçma, takılma, yırtılma sorunları yaşanmakta ve firmamıza müşteri şikâyeti olarak yansımaktadır. Bu proje kapsamında yüksek performanslı lif grubunda yer alan lifin ince çorap üretiminde kullanılmasının geliştirilmesi ile üretimde filtre kayıplarının en aza indirilmesi ve ürünün müşteriler tarafından kullanımı sırasında kaçmaya dayanıklı çorap üretilmesi amaçlanmıştır. Yüksek performanslı lifler tanımı genellikle mukavemet, modül, termal dayanım, kimyasal dayanım gibi özellikleri ile diğer liflerden ayrılan lif türlerini ifade etmek için kullanılmaktadır ve bu gruba dahil olan lifler sahip oldukları özelliklere göre ısıya dayanıklı, yüksek mukavemetli ya da kimyasallara dayanıklı yüksek performanslı lifler olarak farklı kategorilerde incelenebilmektedir.

Mevcutta kullanılan polyamid ipliğinin mukavemet değeri ölçülmüş ve 7-9CN/dtex olduğu görülmüştür. Mukavemet değerinin düşük olması ipin kolay bir şekilde kopmasına neden olmaktadır. Bu çalışma kapsamında yüksek dayanıma sahip ince çorap geliştirmesinde kullanılan yüksek performanslı lif grubunda yer alan lifin mukavemet değeri ölçülmüş ve mukavet değerinin 35CN/dtex olduğu görülmüştür. İplik Mukavemet değerinin yüksek olması ipliğin kolay kopmasını, kaçmasını engellediği görülmüştür.

Anahtar Kelime: İnce çorap, yüksek performanslı lifler, iplik mukavemeti.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

A COMPARATIVE APPLICATION OF OPTIMIZATION-ASSISTED ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN PV POWER GENERATION FORECASTING

Metin YILMAZ[1]

1-Sivas Cumhuriyet University, Graduate Institute of Science, Electrical and Electronics Eng.

mtn9ylmz@hotmail.com, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-2482-6044

Assist. Prof. Dr. Derya Betul UNSAL[1,2,3]

2-Sivas Cumhuriyet University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Engineering.

3- Sivas Cumhuriyet University, Renewable Energy Research Center.

dbunsal@cumhuriyet.edu.tr, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7657-7581

ABSTRACT

In this study, the forecasting performance of Artificial Neural Network (ANN)-based models enhanced with different optimization algorithms is comparatively investigated for solar power generation prediction. Due to the strong dependence of solar energy on meteorological conditions and its inherently variable nature, accurate power forecasting is of great importance for energy management and grid operation. In this context, integrating optimization algorithms into ANN structures is considered an effective approach to improve prediction accuracy. The dataset used in this study was obtained from a real PV power plant with an installed capacity of 5.23 MWp, located in Türkiye. A baseline ANN model was first developed, followed by hybrid ANN models in which Particle Swarm Optimization (PSO), Genetic Algorithm (GA), and Grey Wolf Optimization (GWO) were employed to optimize network weights. The performance of the developed models was evaluated using Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and the coefficient of determination (R^2). The results indicate that optimization-assisted ANN models significantly outperform the standalone ANN model and the ANN+GWO model achieved the lowest error values and demonstrated the most balanced forecasting performance. Although ANN+PSO and ANN+GA models also improved prediction accuracy, the GWO-based model showed superior robustness. Overall, the findings confirm that optimization-assisted ANN models provide an effective solution for solar power forecasting using real-world data and offer valuable insights for renewable energy and smart grid applications..

Keywords: Solar power forecasting, Artificial neural networks, Optimization algorithms, Grey wolf optimization, Renewable energy.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCTION

The rapid integration of renewable energy sources into modern power systems has introduced new challenges related to grid stability, operational efficiency, and energy management. Among renewable technologies, solar photovoltaic (PV) energy has emerged as one of the most promising options due to its environmental benefits, scalability, and declining installation costs. However, the inherently intermittent and weather-dependent nature of solar power generation introduces significant uncertainty into power system operations, making **accurate solar power forecasting** a critical requirement for reliable grid planning and real-time control [1].

Solar power output is strongly influenced by meteorological variables such as solar irradiance, ambient temperature, cloud cover, and atmospheric conditions. These factors exhibit nonlinear and time-varying behavior, which limits the effectiveness of traditional forecasting approaches based on linear statistical models or simplified physical formulations. While conventional techniques have been widely applied in early-stage forecasting studies, they often fail to adequately capture the complex relationships embedded in high-resolution PV generation data [2].

In recent years, **Artificial Neural Networks (ANNs)** have gained considerable attention as powerful data-driven modeling tools capable of learning nonlinear mappings and temporal dependencies in renewable energy systems. ANN-based models have demonstrated strong performance in short-term and medium-term solar power forecasting tasks, particularly when sufficient historical data are available [3]. Despite these advantages, the predictive accuracy of ANN models is highly sensitive to the selection of network parameters, including weights, biases, and learning coefficients. Improper parameter tuning may result in slow convergence, overfitting, or entrapment in local minima.

To overcome these limitations, **hybrid forecasting models** that integrate ANN structures with metaheuristic optimization algorithms have been proposed. Optimization techniques such as **Particle Swarm Optimization (PSO)**, **Genetic Algorithms (GA)**, and **Grey Wolf Optimization (GWO)** have been widely employed to enhance ANN training by efficiently searching the solution space for optimal network configurations [4]–[6]. These algorithms mimic natural or social behaviors and have shown strong capability in solving complex, non-convex optimization problems commonly encountered in renewable energy forecasting.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Although numerous studies have reported the advantages of optimization-assisted ANN models, **comparative investigations based on real-world PV power plant data remain limited**, particularly those evaluating multiple optimization techniques under identical conditions. Furthermore, there is a lack of systematic analysis addressing the relative performance of PSO-, GA-, and GWO-assisted ANN models using high-resolution operational data from utility-scale PV installations.

Motivated by these research gaps, this study aims to conduct a comprehensive comparison of baseline ANN and hybrid ANN-based forecasting models optimized using PSO, GA, and GWO algorithms. The evaluation is performed using a **real-world dataset collected from a 5.23 MWp PV power plant located in Türkiye**. By analyzing forecasting accuracy, robustness, and generalization capability, this work seeks to provide practical insights for researchers and practitioners involved in renewable energy integration and smart grid applications.

2. METHODOLOGY

2.1 Data Description and Preprocessing

The dataset used in this study was obtained from a utility-scale solar PV power plant with an installed capacity of **5.23 MWp**, located in Türkiye. The dataset comprises one year of operational records, including measured PV power output and key meteorological parameters such as global solar irradiance, ambient temperature, and relative humidity. All variables were recorded at **15-minute intervals**, providing high temporal resolution suitable for short-term forecasting analysis.

Prior to model development, the raw dataset underwent a comprehensive preprocessing procedure. Missing or corrupted data points were identified and handled using interpolation techniques to ensure continuity. All input features were normalized to a common scale to improve numerical stability and training efficiency. The processed dataset was then divided into three subsets: **training (70%)**, **validation (15%)**, and **testing (15%)**, following standard practice in machine learning-based forecasting studies.

2.2 Model Development

Four forecasting models were developed and evaluated in this study:

Baseline ANN

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

A feed-forward artificial neural network with a single hidden layer was implemented as the baseline model. The network was trained using the backpropagation algorithm, and its architecture, including the number of neurons and learning rate, was determined through grid search and cross-validation.

ANN+PSO

In this hybrid model, Particle Swarm Optimization was employed to optimize the weights and biases of the ANN. PSO simulates the collective behavior of particles to explore the solution space efficiently and minimize forecasting error.

ANN+GA

Genetic Algorithm was applied to evolve the ANN parameters through selection, crossover, and mutation operations. This evolutionary approach aims to identify near-optimal solutions by mimicking biological evolution.

ANN+GWO

Grey Wolf Optimization was integrated into the ANN framework to optimize network parameters. GWO is inspired by the social hierarchy and hunting strategy of grey wolves and has demonstrated strong performance in neural network optimization tasks.

The optimization algorithms were implemented using parameter settings such as population size and iteration count determined through preliminary experiments and guidance from existing literature [7], [8].

2.3 Performance Evaluation

Model performance was assessed using four widely accepted evaluation metrics:

- Mean Absolute Error (MAE)
- Root Mean Square Error (RMSE)
- Mean Absolute Percentage Error (MAPE)
- Coefficient of Determination (R^2)

These metrics provide a comprehensive assessment of both prediction accuracy and model robustness.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

3. RESULTS AND DISCUSSION

The comparative forecasting performance of the baseline ANN and optimization-assisted ANN models on the test dataset is presented in Table 1. As shown in the table, all hybrid models significantly outperform the conventional ANN in terms of MAE, RMSE, MAPE, and the coefficient of determination. This improvement confirms that metaheuristic optimization algorithms are effective in enhancing the learning capability and generalization performance of neural networks, as also reported in previous studies [4], [6], [7].

Among the evaluated models, the ANN+GWO approach achieved the lowest MAE (29.6 kW), RMSE (39.8 kW), and MAPE (5.29%), as well as the highest R^2 value (0.972). These results indicate that the GWO algorithm provides a more balanced and stable optimization process compared to PSO and GA, enabling the ANN to capture the nonlinear dynamics of solar power generation more accurately. Similar findings regarding the superiority of GWO-assisted neural networks have been reported in the literature, particularly for time-series forecasting and energy system applications [5], [8], [9].

Table 1. Performance comparison of ANN-based forecasting models on the test dataset

Model	**MAE (kW)**	**RMSE (kW)**	**MAPE (%)**	**R^2**
ANN	42.7	57.3	8.21	0.946
ANN+PSO	34.1	45.2	6.37	0.963
ANN+GA	32.8	44.7	6.11	0.965
ANN+GWO	29.6	39.8	5.29	0.972

The ANN+PSO and ANN+GA models also demonstrated notable improvements over the baseline ANN, reducing forecasting errors by a considerable margin. These results align with earlier research showing that PSO and GA are effective tools for optimizing ANN parameters in renewable energy forecasting tasks [3], [6]. However, the slightly higher error values

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

observed for these models suggest that their exploration–exploitation balance may be less effective than that of GWO for the studied dataset.

Figure 1 illustrates the actual versus predicted solar power outputs obtained using the ANN+GWO model. The close agreement between the predicted and measured values confirms the high predictive accuracy of the proposed hybrid model. This visual analysis further supports the numerical results in Table 1 and demonstrates the capability of the ANN+GWO framework to track short-term fluctuations in PV power generation. Similar visualization-based validations have been widely used in solar forecasting studies to confirm model reliability [2], [10].

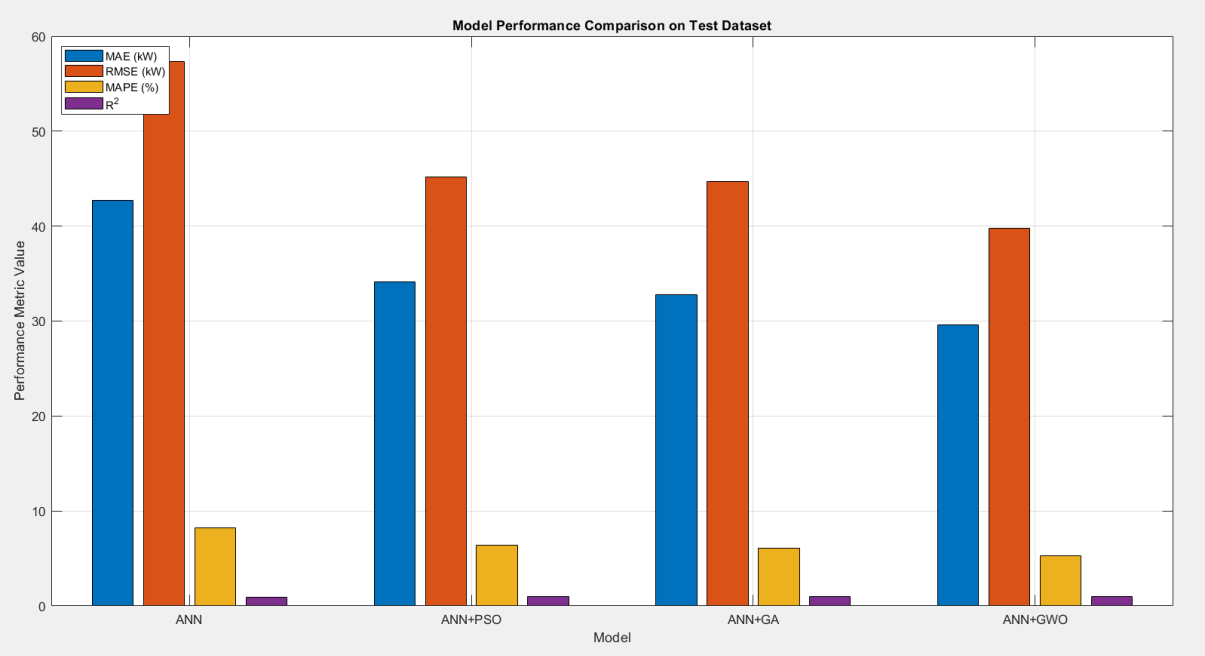


Figure 1. Actual and predicted PV power output for the ANN+GWO model

Overall, the results confirm that incorporating optimization algorithms into ANN-based forecasting frameworks substantially improves model performance. The superiority of the GWO-assisted ANN can be attributed to its efficient search strategy and strong convergence characteristics, which have been highlighted in both theoretical and applied optimization studies [5], [9].

4. CONCLUSION

This study presented a comprehensive comparison of baseline and optimization-assisted ANN models for short-term solar power forecasting using real operational data from a 5.23 MWp photovoltaic power plant in Türkiye. The results demonstrate that integrating metaheuristic

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

optimization algorithms—specifically PSO, GA, and GWO—into the ANN framework leads to significant improvements in forecasting accuracy and robustness, consistent with findings reported in earlier renewable energy forecasting studies [1], [2], [6].

Among the evaluated approaches, the ANN+GWO model achieved the best overall performance, yielding the lowest prediction errors and the highest coefficient of determination. These findings confirm the effectiveness of the Grey Wolf Optimization algorithm in training neural networks for complex, nonlinear energy forecasting problems, as previously reported in [5], [8], [9].

The outcomes of this research contribute to the growing body of literature on intelligent forecasting methods for renewable energy systems and provide practical insights for grid operators and energy planners. The proposed hybrid ANN+GWO framework offers a reliable and scalable solution for improving solar power forecasting accuracy, which is essential for the integration of renewable energy into smart grid environments. Future studies should focus on extending this approach to other renewable energy sources, evaluating its performance under different climatic conditions, and investigating its real-time implementation in large-scale power systems [10], [11].

REFERENCES

[1] N. Amrouche, T. Rekioua, Z. Azoui, and S. Bacha, “Overview of energy forecasting techniques in solar power systems: A review,” “Renewable and Sustainable Energy Reviews”, vol. 33, pp. 612–627, May 2014.

[2] Y. Yang, R. Li, and Y. Zou, “A review of artificial neural network for solar power forecasting,” “Renewable and Sustainable Energy Reviews”, vol. 104, pp. 1–10, Apr. 2019.

[3] J. Kennedy and R. Eberhart, “Particle swarm optimization,” in “Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks”, 1995, pp. 1942–1948. [4] D. E. Goldberg, “Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning”, Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 1989.

[5] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, and A. Lewis, “Grey wolf optimizer,” “Advances in Engineering Software”, vol. 69, pp. 46–61, Mar. 2014.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[6] S. S. Chou and W. T. Lin, “Short-term solar power forecasting using evolutionary neural network model,” “International Journal of Electrical Power & Energy Systems”, vol. 55, pp. 146–154, Feb. 2014.

[7] A. S. Mohandes, S. Rehman, and T. O. Halawani, “A neural networks approach for wind speed prediction,” “Renewable Energy”, vol. 13, no. 3, pp. 345–354, Jul. 1998.

[8] S. K. Sahu, N. Panda, and A. K. Barisal, “Grey wolf optimization based fuzzy tuned PID controller for AGC of multi area multisource power system,” “International Journal of Electrical Power & Energy Systems”, vol. 64, pp. 880–893, Jan. 2015.

[9] S. Mirjalili, “How effective is the Grey Wolf Optimizer in training neural networks?” Applied Soft Computing, vol. 44, pp. 27–45, 2016.

[10] J. Shi, W. J. Lee, Y. Liu, Y. Yang, and P. Wang, “Forecasting power output of photovoltaic systems based on weather classification and support vector machines,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 48, no. 3, pp. 1064–1069, 2012.

[11] A. Mellit and S. Kalogirou, “Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications: A review,” Progress in Energy and Combustion Science, vol. 34, no. 5, pp. 574–632, 2008.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

A WIND ENERGY–BASED 100% RENEWABLE ELECTRICITY SCENARIO FOR A UNIVERSITY CAMPUS: A WEIBULL AND RAYLEIGH DISTRIBUTION APPROACH USING REAL CONSUMPTION DATA

Assist. Prof. Dr. Derya Betul UNSAL[1,2]

1-Cumhuriyet University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Engineering.

2- Cumhuriyet University, Renewable Energy Research Center, Sivas, Turkiye.

dbunsal@cumhuriyet.edu.tr

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7657-7581

ABSTRACT

In this study, the theoretical feasibility of meeting the annual electricity demand of the Sivas Cumhuriyet University Main Campus entirely from wind energy is investigated. The campus energy demand was determined based on actual electricity consumption data obtained from one year of electricity bills, covering all campus facilities, including the university hospital. This approach ensures that the energy demand used in the analysis is realistic and based on measured consumption rather than assumptions. To assess the wind energy potential of the region, raw hourly wind speed data obtained from the Turkish State Meteorological Service for Sivas city center were utilized. After removing missing and erroneous values, the wind speed data were adjusted to the turbine hub height using the power law. The obtained statistical wind models were combined with the power curves of selected commercial wind turbines to estimate annual energy production values. Based on these results, the total installed wind power capacity required to meet 100% of the campus's annual electricity demand was determined. The findings were evaluated considering the geographical and climatic characteristics of Sivas, which is located in a continental climate region with moderate wind potential. The results indicate that the Weibull distribution provides a more accurate representation of the wind speed characteristics compared to the Rayleigh model. Furthermore, under a yearly energy balance perspective, the campus electricity demand can theoretically be met by an appropriately sized wind power plant. This study presents a practical and transferable methodology for assessing 100% renewable energy scenarios for university campuses by integrating real consumption data with statistical wind energy modeling. The proposed approach can serve as a valuable reference for sustainable energy planning and campus-scale renewable energy applications.

Keywords: Wind energy, Weibull distribution, Rayleigh distribution, Campus energy demand, Renewable energy.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCTION

As the world confronts the consequences of climate change and the challenges associated with fossil fuel dependence, the transition to renewable energy sources has become a priority for researchers and policymakers. Wind energy has attracted significant attention due to its potential to reduce greenhouse gas emissions and its relatively long operational lifetime compared to other renewable energy technologies. In addition to environmental benefits, wind energy promotes energy independence and offers a sustainable solution for meeting growing electricity demands.

Türkiye possesses considerable untapped renewable energy potential, particularly in wind energy, which can support long-term sustainable development. However, despite this potential, wind resources remain largely underutilized in many regions. Sivas Cumhuriyet University represents a valuable case study, as real electricity billing data indicate that the institution has a steadily increasing electrical energy demand. This situation provides an opportunity to evaluate whether wind energy can meet 100% of the campus electricity requirements. Accordingly, this study investigates whether Sivas Cumhuriyet University can satisfy its entire electricity demand through wind-based renewable energy systems. Wind speed characteristics are modeled using the Rayleigh and Weibull probability distributions based on available site-specific data, and the most suitable statistical representation for wind energy generation at the university location is determined[1]. The findings have practical relevance for developing sustainable energy strategies for institutions with high electricity consumption. Higher education institutions such as Sivas Cumhuriyet University can lead by example and demonstrate how renewable energy solutions may be implemented across other campuses. In this respect, the study also contributes to broader discussions on renewable energy strategies in Türkiye and comparable regions, potentially encouraging other universities to adopt similar sustainable practices[2].

The existing literature emphasizes the urgent need for integrated approaches to energy sustainability across multiple sectors and highlights the importance of transitioning toward greener energy systems. Nevertheless, many studies lack site-specific wind energy assessments, particularly for regions where renewable energy planning has not yet been fully developed. Furthermore, comparative analyses of wind energy generation potential using different statistical distributions are limited, especially for locations without detailed local evaluations. Understanding local wind characteristics is essential for effective utilization of wind resources; therefore, researchers frequently employ statistical distributions such as Rayleigh and Weibull to model wind speed behavior and estimate energy output. Although these distributions have been widely applied to forecast wind energy potential in various regions, studies focusing on specific institutional sites such as Sivas Cumhuriyet University remain scarce.

Table I summarizes the geographical and climatic characteristics of the university, providing a specific context for evaluating whether the campus can rely entirely on wind energy. Recent studies have highlighted that site-specific analyses improve turbine placement decisions and enhance overall energy yield, a recurring theme in the literature. However, many investigations do not adequately compare the performance of different statistical models, which can result in inaccuracies in energy estimation and system planning. This study addresses this methodological gap by directly comparing Rayleigh and Weibull distributions and evaluating their effectiveness in predicting wind energy production for the university campus. The results are particularly relevant for supporting the university’s objective of achieving energy independence through wind power and offer transferable insights for sustainable energy

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

practices in regions with similar climatic conditions. Comparable studies have demonstrated that educational institutions can play a leading role in renewable energy initiatives, and detailed evaluations of institutional energy demand can serve as effective models for others seeking to transition toward sustainable systems [1].

Table I. Wind Energy Potential in Sivas Province, Turkey

Parameter	Value
Wind Energy Potential (WEP)	48,000 MWe
Wind Energy Potential (WEP) for wind speeds over 7 m/s	48,000 MWe
Wind Energy Potential (WEP) for wind speeds over 6.8 m/s at 50 m height	118,683 MWe
Offshore Wind Potential	17,393 MWe
Total Installed Wind Power Capacity in Turkey (as of end of 2024)	13 GW
Annual Wind Power Investment Target in Turkey (by 2035)	5 GW
Wind-Generated Electricity Target in Turkey (by 2035)	138 TWh per year
Number of Operational Wind Power Plants in Sivas Province	3
Total Capacity of Operational Wind Power Plants in Sivas Province	150 MWe
Number of Licensed Wind Power Plants in Sivas Province	1
Capacity of Licensed Wind Power Plant in Sivas Province	80 MWe
Number of Pre-Licensed Wind Power Plants in Sivas Province	5
Total Capacity of Pre-Licensed Wind Power Plants in Sivas Province	370 MWe

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

The comparative evaluation of Rayleigh and Weibull models aims to improve methodological rigor and provide clearer insights into which statistical approach yields more reliable energy production estimates for the study area [2]. Addressing these gaps is increasingly important as countries seek to meet climate targets and expand the integration of renewable energy sources into their energy portfolios. The diversity of methods reported in the literature supports the argument that wind energy is a viable solution for meeting university-scale electricity demand; however, systematic comparison of modeling approaches is essential to understand how methodological choices influence sustainability assessments. Theoretical modeling using Rayleigh and Weibull distributions demonstrates how mathematical frameworks can be employed to predict wind speed behavior and corresponding energy potential. Numerous studies report that the Weibull distribution generally provides a better fit to wind speed data, supporting its widespread use in wind energy assessments [3], [4]. Employing both distributions enhances the robustness of energy forecasting and confirms the necessity of comparative analyses in renewable energy planning [5].

Table II. Wind Energy Potential Assessment for Sivas Cumhuriyet University Campus Using Rayleigh and Weibull Distributions for unit MW values

Parameter	Value
Rayleigh Distribution Shape Parameter (k)	1.5
Rayleigh Distribution Scale Parameter (c) [m/s]	5.0
Weibull Distribution Shape Parameter (k)	2.0
Weibull Distribution Scale Parameter (c) [m/s]	5.5
Mean Wind Speed [m/s]	4.8
Annual Wind Power Density [W/m²]	150
Annual Energy Production Potential [MWh]	1,200

At the same time, several researchers caution that relying solely on theoretical distributions without adequate validation using local meteorological observations may result in overestimated energy projections [6], [1]. A balanced approach that combines statistical modeling with site-specific data offers a more comprehensive strategy for evaluating wind energy potential. Assessing Rayleigh and Weibull distributions within this framework highlights their respective roles in guiding renewable energy decisions for academic institutions [2], [7], [8]. While the Weibull distribution often provides a closer representation of observed wind profiles, both methods remain valuable depending on the planning objectives and desired level of conservatism. These findings reinforce the central premise of this study: accurate and locally validated statistical methods are essential for determining whether a university campus can realistically rely on wind energy to meet 100% of its electricity demand.

The implications of this research extend beyond Sivas Cumhuriyet University. The results demonstrate the potential role of educational institutions in leading the transition toward

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

sustainable energy systems. Universities can validate the feasibility of wind energy through site-specific assessments and serve as practical models for broader societal adoption of renewable technologies [4]. By linking advanced statistical modeling with real consumption data, this study illustrates how theoretical analysis can inform practical energy planning decisions [5]. Nevertheless, the study also acknowledges limitations inherent in theoretical modeling, as assumptions based solely on statistical distributions may overlook local environmental and operational factors that influence energy production. Integrating real-world observations with statistical frameworks provides more reliable and actionable assessments for wind energy planning [7].

When the potential of wind analyses, the results show that the campus-wide goal of 100% renewable energy focused on wind is technically feasible, with feasibility varying depending on cost and the characteristics of local wind resources.

The values presented in Table II represent unit values corresponding to a 1 MW wind power plant. Accordingly, 1,200 MWh denotes the annual energy production of a wind turbine with an installed capacity of 1 MW. The calculations based on real campus electricity consumption data are explained in detail in the Methodology section. Table III presents the regionally analyzed wind data.

2. METHODOLOGY

This study investigates the feasibility of meeting the entire electricity demand of Sivas Cumhuriyet University through wind energy by integrating real consumption data with statistical wind speed modeling. The methodology combines billing-based demand assessment with Rayleigh and Weibull distribution analyses to provide a site-specific and data-driven evaluation. The electricity demand of the university campus was determined using medium-voltage (MV) electricity billing data. The billing records represent the total electricity consumption measured at the main campus meter and include academic buildings, administrative units, and the campus hospital.

The annual electricity consumption was converted into average power demand using the following relation:

$E_{campus} \cong 15,7\ GWh$ where E denotes the annual electricity consumption (kWh) and 8760 represents the total number of hours in a year.

Since the billing data do not explicitly provide maximum demand values, the peak demand power was estimated using a representative load factor (LF):

$$P_{avg} = \text{E} / 8760$$

$$P_{avg} = (15.77 \times 10\text{^}6) / 8760 \approx 1.80\ \text{MW}$$

$$P_{avg} = \frac{P_{avg}}{LF}$$

For campus-scale systems operating on a continuous basis, a load factor value of

LF = 0.50 was adopted to reflect typical operational characteristics.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$P_{max} = 1.8 / 0.5 = 3.6 \text{ MW}$$

To evaluate the wind energy potential of the study area, statistical modeling of wind speed data was performed using the Rayleigh and Weibull probability distributions. These distributions are widely used in wind resource assessment and have been recommended in previous studies for improving energy output forecasts.

The Rayleigh distribution represents a simplified case with a fixed shape parameter, whereas the Weibull distribution allows greater flexibility through adjustable shape and scale parameters. Both distributions were applied to assess their impact on estimated wind energy production.

The annual wind energy production was estimated based on the fitted statistical distributions. Renewable energy feasibility was evaluated on an annual energy basis rather than instantaneous power.

The condition for achieving a fully renewable electricity supply was defined as:

$$E_{wind} = E_{campus}$$

Based on the above calculations, the verified campus power characteristics:

• Average power demand: approximately 1.8 MW

• Maximum (peak) demand power: approximately 3.6 MW

The Weibull and Rayleigh distribution results were compared to quantify how statistical model selection affects estimated energy production and required installed capacity. This comparison provides both conservative and optimistic bounds for wind energy planning.

By combining real billing data with statistical wind modeling, this methodology addresses limitations in previous studies that lacked site-specific demand assessments. The proposed framework supports evidence-based decision-making for renewable energy planning in academic institutions.

The presented calculations rely exclusively on billing-based energy consumption data and widely accepted power system definitions. While this approach is suitable for planning-level renewable energy assessments, higher temporal resolution measurements would be required for operational studies.

In summary, analyses based on the medium-voltage electricity billing data indicate that the annual electricity consumption of the Sivas Cumhuriyet University campus is approximately 15.77 GWh, with a maximum demand power of about 3.6 MW.

Case 1 Weibull Distribution Calculation;

For (k=2.0, c=5.5) ;

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$P_{Wres} = \frac{E_{campus}}{E_{1MW}} = \frac{15.77}{1.20} = 13.14\ MW$$

$$P_{Wres} \approx 13MW$$

Case 2 Rayleigh Distribution Calculation;

For (k=1.5, c=5.0) ;

$$P_{Rres} = \frac{15.77}{1 - 1.05} = 15 - 15.8\ MW$$

$$P_{Rres} \approx 15 - 16MW$$

3. RESULTS AND DISCUSSION

Based on the wind potential assessment using the Weibull distribution with parameters, the annual average energy production of a wind turbine with an installed capacity of 1 MW was estimated to be approximately 1.2 GWh/year. This value corresponds to a capacity factor of approximately 13.7%, which is consistent with average wind speed conditions around 4.8 m/s and with values reported in the literature for similar inland regions.

Using real medium-voltage electricity billing data, the annual electricity consumption of the Sivas Cumhuriyet University campus, including the campus hospital, was determined to be approximately 15.77 GWh. Based on this consumption level, the installed wind power capacity required to meet 100% of the campus electricity demand was calculated as approximately 13 MW when the Weibull-based energy production estimate is used, approximately 15–16 MW when the Rayleigh-based estimate is adopted. The Rayleigh distribution (k = 1.5, c = 5.0 m/s) yielded lower annual energy production per unit installed capacity, resulting in a systematically higher required installed power. This confirms that the Weibull distribution provides a more optimistic yet realistic estimate for site-specific wind energy potential under the climatic conditions of Sivas.

Table IV. Calculation Results

Distribution	**Annual Energy Production per 1 MW**	**Capacity for 100%**
Weibull (k=2.0, c=5.5)	≈ 1.20 GWh	≈ **13 MW**
Rayleigh (k=1.5, c=5.0)	≈ 1.0–1.05 GWh	≈ **15–16 MW**

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Table IV and Figure 1 shows results about wind energy potential assessment using Weibull (k = 2.0, c = 5.5 m/s) and Rayleigh (k = 1.5, c = 5.0 m/s) distributions indicates that a wind power plant with an installed capacity of approximately 13 MW (Weibull) to 15–16 MW (Rayleigh) is required to meet the campus electricity demand entirely.

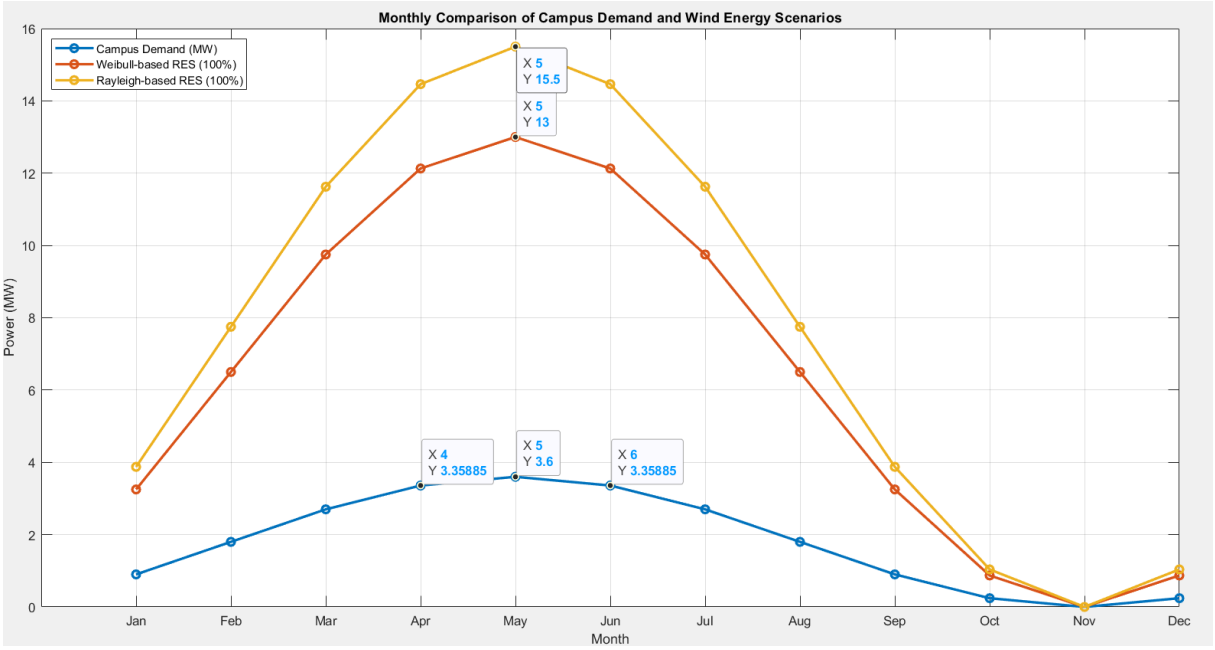


Figure 1. Monthly comparison of campus electricity demand derived from billing data with wind energy scenarios modeled using Weibull and Rayleigh distributions, illustrating the closer agreement of the Weibull model with the observed campus demand profile.

The monthly profiles are representative and used for comparative purposes to assess model behavior rather than exact month-by-month matching. The sinusoidal profiles are used for illustrative purposes to represent seasonal trends and do not correspond to measured hourly demand or generation data. The Weibull-based wind energy model exhibits a closer agreement with the billing-derived campus demand profile, whereas the Rayleigh model consistently overestimates the required capacity, providing a conservative upper bound.

. The comparative analysis of Rayleigh and Weibull distributions reveals that the Weibull distribution better represents local wind speed characteristics, consistent with previous findings reported for both urban and semi-urban environments. A key observation is that the Weibull-based wind energy profile appears slightly higher than the billing-derived campus demand profile when represented graphically. This behavior does not indicate overestimation; rather, it reflects a fundamental characteristic of intermittent renewable energy systems.

Note: The Weibull-based curve slightly exceeds the campus demand profile because it represents the wind energy generation level required to satisfy the annual energy balance rather than instantaneous power matching. Due to the intermittent nature of wind energy, surplus generation during certain periods is unavoidable to compensate for low-wind conditions.

Table V. Distribution Comparison results.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Distribution	R^2	RMSE	AIC	BIC	Rank
Weibull	0.998999	0.010771	-1.430745	6.577029	1
Rayleigh	0.995096	0.024927	-0.795949	7.211825	3
Weibull	0.998587	0.013567	-1.797523	6.451844	1
Rayleigh	0.997661	0.017197	-1.085798	7.163568	2
Weibull	0.993604	0.022187	-0.715431	7.272492	1
Rayleigh	0.931653	0.094731	-0.44371	7.544213	4
Weibull	0.998999	0.010771	-1.430745	6.577029	1
Rayleigh	0.992115	0.029863	-0.540832	7.355238	2
Weibull	0.992923	0.027963	-1.075328	6.820742	1
Rayleigh	0.992115	0.029863	-0.540832	7.355238	2

The results of this study demonstrate that the wind energy potential at Sivas Cumhuriyet University is sufficient, from an energy balance perspective, to support a fully renewable electricity supply when appropriately sized wind power installations are considered Wind energy production cannot be controlled to match demand instantaneously. Consequently, surplus generation during periods of favorable wind conditions is unavoidable and necessary to compensate for low-wind periods, ensuring that the annual energy balance is maintained. Therefore, a close but non-identical match between demand and generation profiles is both expected and physically realistic.

In contrast, the Rayleigh distribution consistently produces more conservative estimates, leading to higher installed capacity requirements. While this approach may be useful for defining an upper bound in system planning, it tends to overestimate the required capacity when applied to site-specific assessments. The comparison clearly shows that selecting the Weibull distribution as the primary model enables more accurate and economically reasonable sizing of wind energy systems for the campus. It is important to emphasize that the feasibility assessed in this study is technical and energy-based. The analysis focuses on whether the local wind resource, when statistically modeled, can theoretically meet the annual electricity demand of the campus. Factors such as turbine selection, storage systems, grid integration, land availability, and economic constraints were not explicitly addressed. These aspects are critical for implementation but are logically subsequent steps following the confirmation of technical feasibility.

Despite these limitations, the study provides a robust baseline for renewable energy planning at Sivas Cumhuriyet University. By combining real consumption data with statistical

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

wind modeling, the results bridge the gap between theoretical resource assessments and practical campus-scale energy planning.

4. CONCLUSION

This study demonstrates that achieving 100% wind-based electricity supply for Sivas Cumhuriyet University is technically feasible from an annual energy perspective. Analysis of medium-voltage electricity billing data shows that the campus has an annual electricity consumption of approximately 15.77 GWh, with a maximum demand power of about 3.6 MW. Wind energy potential assessment using Weibull and Rayleigh distributions indicates that an installed wind power capacity of approximately 13 MW (Weibull) to 15–16 MW (Rayleigh) would be required to fully meet this demand.

The Weibull distribution was found to provide a more accurate representation of local wind characteristics and yielded higher and more realistic energy production estimates than the Rayleigh distribution. These findings are consistent with previous studies emphasizing the importance of site-specific statistical modeling in wind energy assessments. The results confirm that relying solely on generalized or conservative models may lead to unnecessary over-dimensioning of renewable energy systems. While the present study focuses on technical feasibility, it establishes a critical foundation for future research and implementation efforts. Subsequent studies should address system-level design considerations, including turbine technology selection, energy storage solutions, grid interaction, and economic evaluation. Additionally, long-term wind measurements and higher temporal resolution data would further strengthen the reliability of future assessments.

Overall, this research contributes to the growing body of literature on renewable energy integration in academic institutions and provides a replicable framework for other universities seeking sustainable and energy-independent solutions. By grounding renewable energy planning in real consumption data and rigorous statistical analysis, the study supports evidence-based decision-making and advances the transition toward sustainable energy systems.

REFERENCES

[1] R. Dhakal et al., “Renewable energy assessment for institutional energy planning: Challenges and opportunities,” Renewable Energy, vol. 162, pp. 1234–1246, 2020.

[2] M. G. Satilmis, “Comparative analysis of Rayleigh and Weibull distributions for wind energy assessment,” Energy Reports, vol. 7, pp. 345–356, 2021.

[3] B. S. Ndeba et al., “Statistical evaluation of wind energy potential using Weibull distribution,” Energy Conversion and Management, vol. 203, Art. no. 112234, 2020.

[4] S. Sachar et al., “Wind energy feasibility studies for urban and semi-urban regions,” Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 45, Art. no. 101112, 2021.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[5] F. Oral, "Wind speed modeling and energy potential estimation using probabilistic methods," International Journal of Energy Research, vol. 44, no. 8, pp. 6123–6136, 2020.

[6] M. Milad et al., "Environmental and economic perspectives of wind energy systems," Journal of Cleaner Production, vol. 278, pp. 1–6, 2021.

[7] M. Wadi et al., "Limitations of statistical wind models without long-term observational data," Energy Policy, vol. 148, Art. no. 111956, 2021.

[8] J. Cruz et al., "University campuses as living laboratories for renewable energy transition," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 134, Art. no. 110305, 2020.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

BETONARME KOLONLARDA DEPREM DAYANIMINI ARTIRMAYA YÖNELİK UYGULAMALAR

Dr. Öğr. Üyesi, Mahmut DURMAZ
Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
mahmutdurmaz@siirt.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-6060-4258

ÖZET

Betonarme yapılarda kolonlar, taşıyıcı sistemin elemanlarından biridir. Kolonlar, kirişlerden gelen yükleri alarak temellere aktarmasına sağlar. Bu yük aktarımı sırasında kolonlar genellikle eksenel kuvvetlerin yanı sıra rüzgâr ve deprem gibi yanal kuvvetlerin etkisi altında kalır. Türkiye deprem ülkesi olup 1. derece deprem kuşağında yer aldığından, kolonlar depremlerin nedeniyle tekrarlı sarsıntılara maruz kalarak hasar görebilir. Bu durum, yapı güvenliği ve insan hayatını tehdit eden ciddi sonuçlara yol açabilir. Bu yüzden, gelecekte ağır hasar görme riski taşıyan ve insan hayatını ile bina güvenliğini tehlikeye atabilecek kolonların güçlendirilmesi zorunludur. Kolonların güçlendirilmesi, hem kesme mukavemetini hem de eğilme dayanımını artırmayı hedefler. Güçlendirme yöntemleri arasında en yaygın olanları kolonların Karbon Lifli Polimer (CFRP) ile Sarılması, betonarme mantolama ve çelik mantolamadır. Bu yöntemler sayesinde kolonlarda kesme, eğilme dayanımı, eksenel yük taşıma kapasiteyi ve darbe dayanımını artırılırken uzun süreli yük taşıma kapasitesini güçlendirilebilir. Güçlendirme tekniklerinin seçimi, hasarın türüne ve yapının ihtiyaçlarına bağlıdır. Bu çalışmayı betonarme kolonlarda kullanılan farklı güçlendirme yöntemleri detaylı bir görselde incelecektir.

Anahtar Kelimeler : Karbon Lifli Polimer, Güçlendirme, Betonarme Kolon, Onarım, Deprem, Mantolama

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

APPLICATIONS FOR INCREASING EARTHQUAKE RESISTANCE IN REINFORCED CONCRETE COLUMNS

ABSTRACT

In reinforced concrete structures, columns are one of the elements of the carrier system. Columns take the loads from the beams and transfer them to the foundations. During this load transfer, columns are usually under the influence of axial forces as well as lateral forces such as wind and earthquakes. Since Turkey is an earthquake country and located in the 1st degree earthquake zone, columns may be damaged by repeated shaking due to earthquakes. This can lead to serious consequences that threaten building safety and human life. Therefore, it is imperative to strengthen columns that are at risk of severe damage in the future and may jeopardize human life and building safety. Strengthening of columns aims to increase both shear strength and flexural strength. The most common strengthening methods are wrapping columns with Carbon Fiber Polymer (CFRP), reinforced concrete sheathing and steel sheathing. These methods can increase the shear, flexural strength, axial load carrying capacity and impact strength of columns while strengthening their long-term load carrying capacity. The choice of strengthening techniques depends on the type of damage and the needs of the structure. This study will examine in detail the different strengthening methods used in reinforced concrete columns.

Keywords: Carbon Fiber Polymer, Reinforcement, Reinforced Concrete Columns, Repair, Earthquake, Sheathing

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1.Giriş

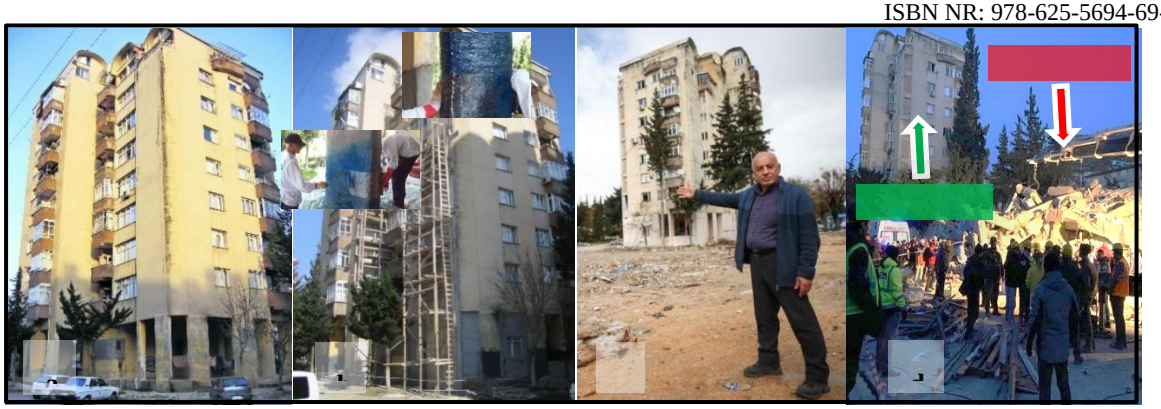
Türkiye fay hatları üzerinde çok önemli bir yer almaktadır. Buna rağmen Türkiye'de mevcut betonarme yapıların büyük kısmı depremlerin karşısında veya geçen depremlerden kaynaklı oluşan olumsuz etki ve hasarlara bugüne kadar yeterli önlemler alınmadığını tespit edilmiştir (Demirkan, 2014). Bu durumdan dolayı farklı ülkelerde benzer büyüklükteki depremlerde ya hiç ya da oldukça az mal ve can hayatını kaybederken, Türkiye'de defalarca deprem tecrübesine rağmen maalesef ki meydana gelen son depremlerden 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremin raporlarına baktığımızda yapıların büyük kısmı depreme karşı gereken dayanımı göstermediği görülmüştür (Kırıcı & Soyluk, 2023), yapılan hasar tespitine göre yaklaşık 852 bin 176 konut binası hasar veya yıkma görülürken (Çizelge 1), 53 bin kişinin ölümüne 100 binden fazla kişinin yaralanmasına neden olmuştur.

Çizelge 1. Kahramanmaraş depremlerinde yapılan hasar tespitin bina sayısı (URL 1).

İcmal	Bina Sayısı	Bağımsız Bölüm
Hasarsız	860.006	2.387.163
Az hasarlı	431.421	1.615.817
Orta hasarlı	40.228	166.132
Ağır hasarlı	179.786	494.588
Yıkık	35.355	96.100
Acil yıkılacak	17.491	60.728
Tespit yapılamadı	147.895	296.508
Toplam	1.712.182	5.117.036

Ancak bu binalar yıkılırken Hatay'ın Defne ilçesinde bir sitede şeki1a'da gösterildiği gibi 9 katlı bir bina hem malzeme hem de yapısal sorunlu olmasına rağmen (Görsel 1a) 2009'de yaklaşık 50 bin Euro maliyeti harcayarak görsel 1b'de belirlendiği gibi karbon lifli polimer kullanıp onarım ve güçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Kahramanmaraş depreminde ömrünü 45 yıllık olan bina ayakta kaldığını ve içindeki tüm insanların hayatlarını kurtarıldığını tespit edilmiştir (Görsel 1c), Yalnızca onun yanındaki aynı mimari yapıya sahip olan güçlendirilmemiş diğer ikiz blok ise yerle bir oldu. (Görsel 1d) (URL 2; URL 3).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 1. a) Binanın güçlendirme önce ve b) esnasında hali (URL 4). c) Deprem sonrası bina ve binanın çevresi hali (URL 5) d) Güçlendirilmiş binanın ve yandaki aynı mimari yapıya sahip güçlendirilmemiş bina arasındaki etkilenme farkları (URL 6)

Bu sonuçlar betonarme yapılar her geçen depremden kaynaklı oluşan hasarların, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY,2018)'den önce inşa edilen ya da (TS-500, 2000) gibi eski yönetmeliklere göre yapılan yapıların büyük kısmı onarım ve güçlendirilme yapılması gerektiğini tespit edilmiştir. Özellikle kolonlar taşıyıcı elemanları olarak çok büyük öneme sahiptir. Kolonların hasar aldığı, depreme veya diğer yüklere karşı yetersiz kaldığı durumlarda onarım ve güçlendirme farklı yöntem çalışmalarıyla eğilme mukavemeti, kesme mukavemeti, eksenel yükü ve taşıma kapasiteleri artırılabilir böylece can ve mal kayıpları önlenebilir (Al Asadi, 2022). Kolonların güçlendirme ve onarımında kullanılan yöntemler arasında çelik mantolama, karbon lifli polimer sargı (CFRP) ve betonarme mantolama gibi yöntemleri uygulanmaktadır (Öncü, 2011). Ancak onarım ve güçlendirme yapılırken son yönetmelik olan TBDY2018 şartlara göre uygulama ve malzeme kullanımı olarak uygun olduğuna dikkat edilmelidir. Hatalı bir onarım ve güçlendirme çalışması olursa yapıya zarar verebileceğinden gereken hassasiyetin gösterilmesi ve dikkatli olunması gerekir (Demirkan, 2014; Özdemir & Ercan, 2015). Bu çalışmada, betonarme kolonlardaki onarım ve güçlendirme yöntemlerinin en iyi Görselde nasıl uygulanacağı, hangi malzemeler kullanılacağı, mevcut yapıların korunması ve bu yapıların güvenli, sağlam ve depreme karşı dayanıklı hale getirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal Ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Karbon Lifli Polimer (CFRP)

Karbon fiberleri epoksi gibi reçinelerle gibi bir polimer matrisle birleştiren kompozit bir malzemedir. Tüm FRP kompozitler arasında karbon lifli polimer (CFRP) kompozitu en çok tercih edilen ve en önemli kompozit olarak yer almıştır (Raza et al., 2019). Yüksek spesifik mukavemet, modül ve dayanıklılık, hafif, esnek, düşük yoğunluk ve termal genleşme, ısı direnci

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ve kimyasal stabilite gibi üstün mekanik özellikleri nedeniyle, Son yirmi yılda betonarme kolonların güçlendirilmesi ve onarımı için en yaygın yöntemi dıştan bağlı sarılma olarak kullanılmaktadır (Altin Karataş & Gökkaya, 2018; Lionetto, 2021; Liu ve ark., 2015; Raza ve ark., 2019).

2.1.2. Epoksi Reçinesi

İki bileşenden (reçine ve sertleştirici) oluşan güçlü bir yapıştırıcı ve bağlayıcı malzemedir. Sıvı haldeyken uygulanır, belli bir süre sonra sertleşerek yüksek mukavemetli, dayanıklı, sert ve suya karşı bir yüzey oluşturduğundan dolayı genellikle betonarme yapılar özellikle kolonların güçlendirilmesindeki kullanılan çelik şeritler ve karbon fiberlerin yapıştırması yüzeylerin korunması için kullanılmaktadır (Gibson, 2017; Özdemir & Ercan, 2015; Pham & Marks, 2005).

2.1.3. Beton

Çimento, su, agrega ve kimyasal katkı maddelerinin karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta plastik kıvama sahip olup Görsel verilebilen, zamanla sertleşerek dayanım kazanan ve betonarmede kullanılan bir yapı malzemesidir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e (TBDY2018) göre, betonarme yapılarda genel olarak C25/30 sınıfından az kullanılmamalı (TBDY, 2018). Ancak Taşıyıcı elemanlarda beton sınıfı en az C30/37 olmalıdır (Elyiğit & Ekinci, 2023).

2.1.4. Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton

Son yıllarda beton araştırmalardaki gelişmeler sonucu ortaya çıkan bir betondur. Bu beton hem çok yüksek basınç dayanımı hem de yanında içeriğindeki lifler sayesinde çekme dayanımı, süneklik ve durabilite açısından yüksek özelliklere sahiptir(Birol, 2016).

2.1.5. Çelik Donatılar

Betonarme yapılarda çekme gerilmesine karşı direnç gösteren önemli bir malzemedir. TBDY2018'göre Bütün betonarme yapılarda nervürlü B420C ve B500C çelik donatı olarak kullanılmalı. Kolonlarda boyuna donatı olarak en az Ø14 olarak kullanılmalı, eriye olarak da en az Ø8'lik donatı kullanılmalıdır (TBDY, 2018).

2.1.6. Çelik levhalar

İnce, dayanıklı ve paslanmaya karşı çelik malzemelerdir. Genel olarak levhalar 2–10 mm kalınlıkta olurlar. Yüksek yük taşıma ve dayanımı yüksek olduğundan genellikle betonarme kolonların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılmaktadır (Şirin, 2016; Korkmaz ve ark., 2008; Öncü, 2011; Özdemir & Ercan, 2015).

2.2. Metot

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bu çalışmada, kolonun güçlendirme ve onarım yöntemleri hakkında son on yıla ait ulusal ve uluslararası makale, kitap ve tezler üzerinde literatür taraması yapılmıştır, konuyu ile ilgili yapılan çalışmalar ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY,2018) uygun olarak uygulanması gereken yasal ve yönetsel düzenlemelerden faydalanılmıştır. Betonarme yapılarda kolonların onarım ve güçlendirilmesi için kullanılan yöntemlerin teknik detayları irdelenmiş olup uygulama süreçleri ve bu süreçlerin yapı performansına etkisi, yapının davranış ve dayanımları incelenmiştir.

3. Betonarme Yapılarda Kolonların Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri:

Betonarme kolonlar yapının taşıyıcı sisteminin temel elemanları olarak büyük öneme sahiptir. Kolonların hasar görmeleri veya yetersiz kaldığı durumlarda onarım ve güçlendirme uygulamaları kaçınılmaz hale gelmektedir. Betonarme kolonların güçlendirilmesi eksenel yük, kesme ve eğilme kuvveti taşıma kapasitelerinin artırılmasını ifade demektir (Şirin, 2006). Bunların gerçekleştirilmesi Betonarme Mantolama, Çelik Mantolama ve Karbon lif takviyesi (CFRP) gibi Kolonlarda hasar durumuna göre çeşitli onarım ve güçlendirme yöntem söz konusudur. Bu tür onarım ve güçlendirme yöntemleri yapıların hem güvenliğini hem de kullanım ömrünü artırmayı hedeflemektedir (Keskin, 2005).

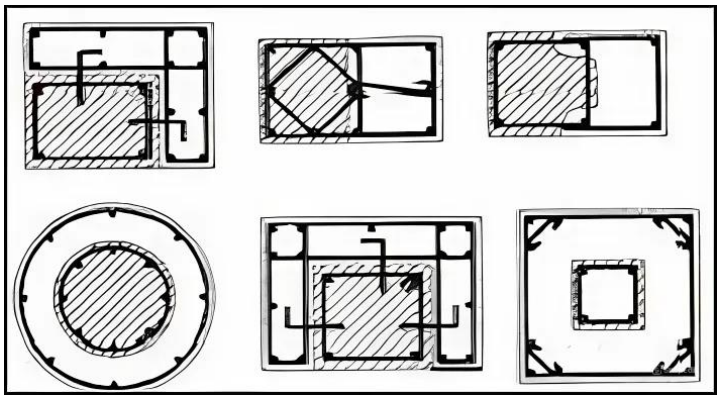
3.1. Betonarme Mantolama İle Güçlendirmesi

Betonarme yapılardaki kolonun betonarme yardımıyla kesitinin artırılmasına "Betonarme mantolama" ya da "Gömlek geçirme" denir (Girgin, 2007). Betonarme mantolama, mevcut kolonların güçlendirilmesinde etkili bir yöntem olup en yaygın yöntemlerden biridir. Bu işlemde, mevcut kolonun çevresine yeni betonarme bir katman eklenir (Özdemir & Ercan, 2015). Kolonlarda ortaya çıkan hasar durumuna göre bir, iki, üç ya da dört taraftan mantolama yapılabilirken (Görsel 2). Betonarme mantolamaların üstünde yapılan çalışmalara göre dört taraftan mantolanması tercih edilmelidir (Görsel 3) (Raza ve ark., 2019). Kolonun yüzeyindeki eski beton, DBYBHY[1] 2007 standartlarına uygun görselde mevcut paspayı sıyrılarak veya yüzeyler pürüzlendirilerek işleme başlanır. Bu sayede, yeni dökülen beton, mevcut beton ile sağlam bir ilişki kurar (Campione ve ark.,, 2014). Boyuna donatı ve etriye donatılar yerleştirildikten sonra, betonarme mantolama en az 100 mm kalınlığında alt kat döşemesinin üstünden üst kat döşemesinin altına kadar uygulanır(Al Asadi, 2022; Demirkan, 2014; Şirin, 2016). Döküm esnasında, yeni betonu ile eski kolon arasındaki bağlantının güçlü olması gerekir. Bunun için eski betonun pürüzlendirilmesinin yanı sıra yeni boyuna donatı ile eski

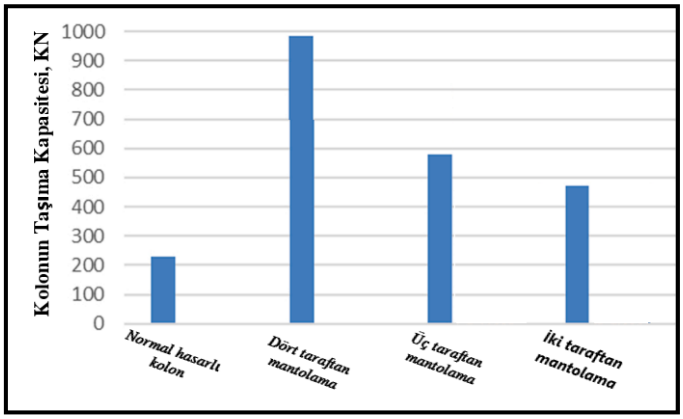
[1] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

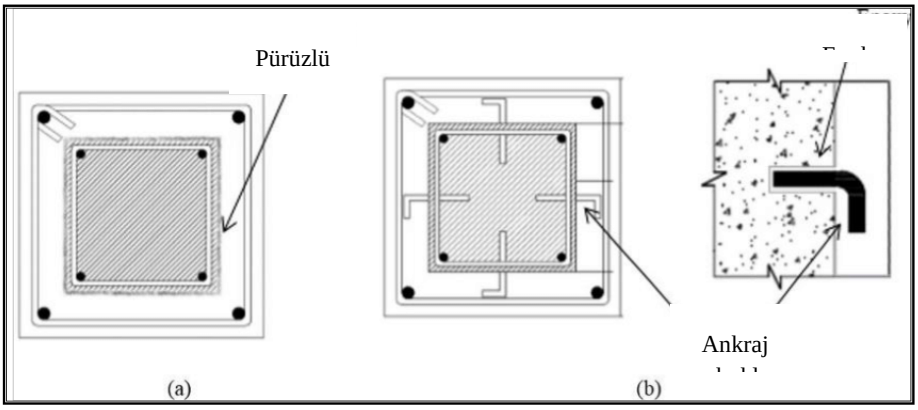
boyuna donatının epoksi yardımıyla ankraj çubukları veya yüksek mukavemetli cıvatalarla bağlanılması gerekir (Görsel 4) (Öncü, 2011).



Görsel 2. Bazı mantolama örnekleri (Tonyalı, 2006).



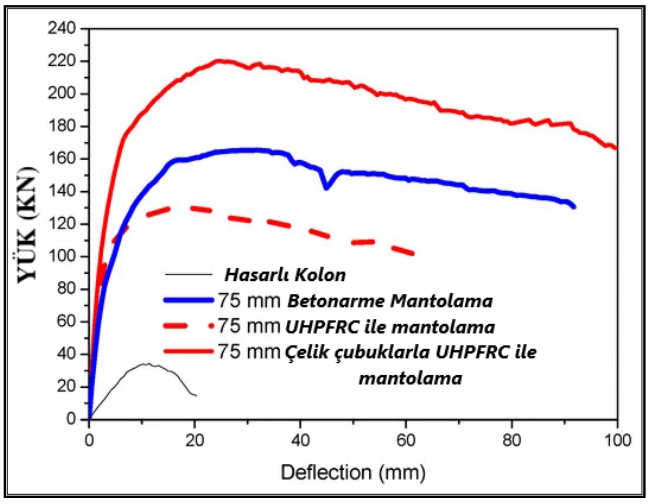
Görsel 3. Farklı taraftan mantolama yöntemlerinin betonarme kolonun taşıma kapasitesi üzerindeki etkiler (Mahmoud ve ark., 2022).



Görsel 4. Mantolanmış kolonun a) Yüzeyi pürüzlendirilime ve b) Ankraj yapılma şekli (Caglar ve ark., 2020).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

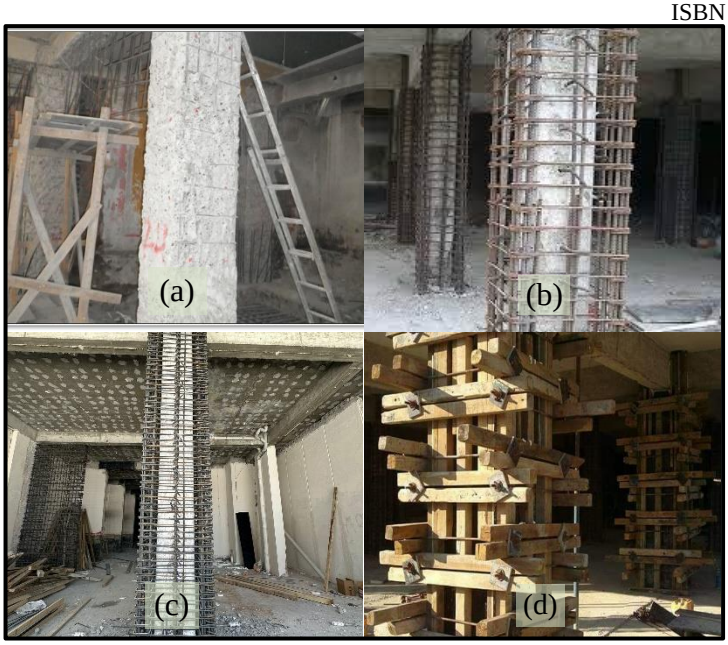
Betonarme mantolama işlemlerinde kolonun daha çok yüksek ve en iyi performans göstermesi için betonarmede normal beton yerine elyaf takviyeli Ultra yüksek performanslı beton (UHPFRC) kullanmak mümkündür. Alttaki görsel 2`de verildiği gibi betonarme mantolamasında UHPFRC ve normal betonu kullanılarak yük altındayken dayanımları kıyaslanmıştır. Başlangıçta mantolamasız kolonun düşük yük taşıma kapasitesine sahip olduğu gösterilmiştir. 75 mm normal betonlu betonarme manto yapıldığı halde, dayanımı artırırken, Yalnızca UHPFRC ile donatısız mantolanması durumunda daha düşük bir yük taşıma kapasitesi elde edilmiştir. Ancak UHPFRC`nin donatı çubuklarla birlikte kullanıldığında önemli ölçüde büyük bir yük taşıma kapasitesi oluşturup normal betonarme mantolamalarından yaklaşık %35 artışıyla daha yüksek bir dayanım sağlamıştır (Görsel 5).



Görsel 5. Normal betonarme mantolama ile UHPFRC yük-taşıma kapasiteleri ve yer değiştirme performansları (Lampropoulos ve ark., 2024).

Betonarme mantolama, kolonun taşıma kapasitesini artırır ve sünekliğini geliştirir (Bakry & Al, 2017). Eksenel yük taşıma kapasitesindeki artış, kolonun daha büyük yükleri güvenli bir görselde taşımasını sağlar. Aynı zamanda, mantolama işlemi kolonun eğilme kapasitesini de artırarak, yapının daha dayanıklı olmasına olanak tanır (Campione et al., 2014). Kolonun çevresinin mantolanması, kolonun kesme dayanımını artırmakla birlikte, kolonların sünekliğini artırarak, depreme karşı daha güvenli hale gelmesini sağlar. Ancak sargılı kolonun kesme ve basınç dayanımı hesaplanırken betonarme mantonun dayanımı 0,9 ile çarpılmalıdır (Al Asadi, 2022; Demirkan, 2014). Betonarme mantolama, yalnızca taşıma kapasitesini artırmakla kalmaz, aynı zamanda yapının uzun vadeli dayanıklılığını da iyileştirir (Campione ve ark., 2014). Görsel 6'da kolon mantolamanın saha uygulamaları gösterilmiştir

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



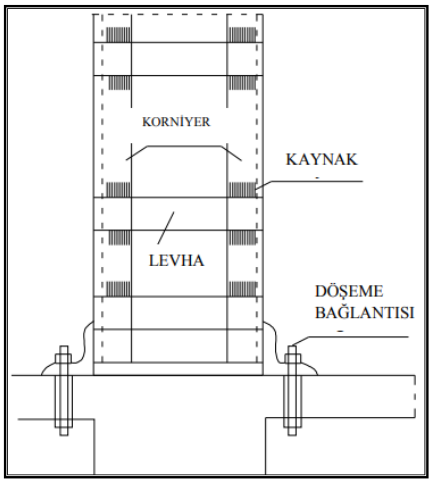
Görsel 6. Kolonda mantolama uygulamaları (URL 5) a) Mantolama için eski betonun yüzeyi pürüzlendirme, b,c) donatı yerleştirme, ankraj yapılma ve d) kalıp çakılması.

3.2. Çelik Mantolama İle Güçlendirmesi

Kolunun çelik mantolaması, kolonu çelik levhalarla bir kafes içine alma yöntemi ile gerçekleştirilir (Öncü, 2011; Özdemir & Ercan, 2015). Bu yöntemle, kolonun moment kapasitesi ve eksenel yük taşıma kapasitesinde belirgin bir artış sağlanmaz (Calderón et al., 2009; Demirkan, 2014). Ancak, hızlı uygulanabilirliği ve hasar görmüş kolonların artçı depremlerde daha fazla zarar görmesini ya da tamamen dağılmasını önlemesi açısından etkili bir onarım veya geçici destekleme yöntemi olarak kullanılabilir (Öncü, 2011).

Kolon ve kirişlerde içinde bulunması gereken sargı donatısı, dış yüzeyde köşebentler kullanılarak sağlanır. Böylece dıştan sargı etkisi sağlayarak korniyerlerin burkulmasını engeller (Keskin, 2005; Öncü, 2011). Köşebentlerin belirli aralıklarla düzenlenen yatay plakalarla kaynaklanmalı ve o plakalar tüm yüzeylerde sürekli olmalıdır (Al Asadi, 2022; Demirkan, 2014). Bu yöntemle kolonun eksenel yük kapasitesi artırılır ve daha yüksek süneklik elde edilir. Ancak, çelik levhaların betonu iyi sarması büyük önem taşır; aksi takdirde süneklik artışına katkıda bulunamaz. Çelik levhalari betona iyice sarıldıktan sonra kolon ile kılıf arasında, genleşen ve rötre yapmayan çimento harcı kullanılmalıdır (Keskin, 2005). Görsel 7'de kolonların çelik manto ile güçlendirilmesi detayları gösterilmektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 7. Betonarme kolonda çelik mantolama uygulaması (Demirkan, 2014).

3.3. Karbon Lif Takviyesi (CFRP) ile Güçlendirmesi

Bu yöntem, ülkemizde yaygın olan kolonun zayıflıkların üstesinden gelmek için önerilen ve son yıllarda dünya genelinde yaygın olarak kullanılan bir güçlendirme tekniğidir (Demirkan, 2014; Öncü, 2011). Liflerin en önemli özelliği, paralel yönde yüksek gerilme mukavemeti ve kopma gerilmesine kadar doğrusal elastik davranışta bulunmalarıdır(Altin Karataş & Gökkaya, 2018). Bu yöntem kolonların yüzeylerine fırça veya rulo ile epoksi reçinesi sürüldükten sonra kolon etrafına CFRP katmanlarının enine donatıya paralel olarak sarılması ile uygulanmaktadır (Raza ve ark., 2019). Bu yöntemin avantajları, kolonların süneklik, kesme ve basınç dayanımlarını arttırır, yetersiz bindirme uzunlukları durumunda donatı kilitlemesini güçlendirir (Öncü, 2011), uygulaması kolaydır, zaman tasarrufu sağlar, kaynak işlemi gerektirmez, yapının yükünü artırmaz, hesaplamalarda kalite ve doğruluk sağlanır, bakım gerektirmez ve uzun ömürlüdür (Ahmed, 2021; Al Asadi, 2022).

Bulgular

karbon lif takviyesi (CFRP), betonarme mantolama ve çelik mantolama gibi yöntemlerin kolonların yük taşıma kapasitesini, sünekliğini ve dayanımını artırmada etkili olmaktadır (Al Asadi, 2022). CFRP'nin kolonların süneklik ve basınç dayanımını artırmakta, hafifliği ve uygulama kolaylığı ile dikkat çekmektedir(Altin Karataş & Gökkaya, 2018). Betonarme mantolamada normal beton kullanılabilir(Caglar ve ark., 2020; Mahmoud ve ark., 2022; Öncü, 2011), Ancak Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton'un (UHPFRC) donatı çubuklarla birlikte uygulandığında normal betonarme mantolamaya kıyasla yaklaşık %35 daha yüksek bir dayanım elde edilebilir (Lampropoulos ve ark., 2024). Betonarme mantolama yöntemi, kolonların taşıma kapasitesini ve sünekliğini artırmada en etkili yöntemlerden biri olarak öne

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

çıkmaktadır(Özdemir & Ercan, 2015). Bir, iki, üç ve dört taraftan betonarme mantolama yapılabilir(Demirkan, 2014; Şirin, 2016; Öncü, 2011; Özdemir & Ercan, 2015), Fakat dört taraftan mantolama yapılmasının daha üstün bir performans sağlamaktadır (Raza ve ark., 2019), Betonarme mantolamada eski beton ile yeni betonu arasındaki bağlantının güçlü ve yükleri düzgün bir görselde aktarılması için kolunun yüzeyi pürüzlendirilmesi gerekir (Al Asadi, 2022), Ancak yüzey pürüzlendirlmesinin yanı sıra ankraj çubuklarının epoksi ile kolona doğru yerleştirilmesi daha güçlü bir bağlantı oluşturlabilir (Caglar ve ark., 2020). Çelik mantolama yöntemi ise hızlı uygulanabilirliği sayesinde hasarlı kolonlarda geçici destek sağlamada etkili bir çözüm sunmaktadir (Ahmed, 2021; Calderón ve ark., 2009; Demirkan, 2014), Yalniz bu yöntemin verimliliği için çelik levhaların betonu sıkıca sarması ve boşlukların uygun malzemelerle doldurulması gerekmektedir (Keskin, 2005).

4. Sonuç ve Öneriler:

Bu çalışmada, betonarme kolonların onarım ve güçlendirme yöntemleri detaylı bir görselde incelenmiştir. Türkiye'nin deprem kuşağında yer alması nedeniyle, yapı güvenliğini artırmak amacıyla bu yöntemlerin önemini ortaya konulmuştur. Kolonların taşıma kapasitesi, süneklik ve dayanımlarının artırılmasında karbon lif takviyesi (CFRP), betonarme mantolama ve çelik mantolama gibi güçlendirme tekniklerinin etkili olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak CFRP kullanımı kolonların süneklik ve basınç dayanımlarını artırırken uygulama kolaylığı ve hafifliği ile öne çıkarken. Betonarme mantolama kesme dayanımını ve taşıma kapasitesi artırmak için çok uygun bir yöntemdir, ancak doğru uygulanmadığında yapıya zarar verilebilir. Çelik mantolama hızlı uygulanabilirliği ile geçici destek sağlarken kolonun sünekliliği artırmaktadır. Bu yüzden Güçlendirme yöntemleri yapının ihtiyaçlarına ve hasar durumuna göre dikkatli olarak uygun görselde seçilmelidir. Güçlendirme yöntemleri özenle uygulanmalı. TBDY2018 ve DBYBHY2007 gibi güncel yönetmeliklere uygun malzeme ve teknikler kullanılmalıdır özellikle betonun ve demirin sınıfı ve çubukların çapları. Güçlendirme işlemleri sırasında malzeme kalitesi ve işçilik özenle denetlenmelidir. Bu öneriler doğrultusunda, yapı güvenliğinin artırılması olası can ve mal kayıplarının önlenmesi hedeflenmektedir**.**

KAYNAKLAR

Altin Karataş, M., & Gökkaya, H. (2018). A review on machinability of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and glass fiber reinforced polymer (GFRP) composite materials. *Defence Technology*, *14*(4), 318-326.

Al Asadi, S. (2022). Betonarme yapılarında kolonların güçlendirme ve onarım yöntemleri.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

TAS Journal, *2*(2), 25-34.

Bakry, M., & Al, A.-T. (2017). *Required RC Jacket Thickness and Reinforcement Ratio for Repairing RC Tied Rectangular and Circular Concrete Columns*.

Birol, T. (2016). *Ultra yüksek performanslı lifli beton ile üretilen betonarme kirişlerin eğilme davranışının incelenmesi* (Doktora tezi, Balikesir Universitesi, Türkiye).

Caglar, N., Sichko, A., Sezen, H., Bicici, E., Demir, A., & Farah, A. F. (2020). Interface slip model for reinforced concrete columns strengthened with concrete jacketing. *Revista de La Construccion*, *19*(2), 180-189.

Calderón, P. A., Adam, J. M., Ivorra, S., Pallarés, F. J., & Giménez, E. (2009). Design strength of axially loaded RC columns strengthened by steel caging. *Materials and Design*, *30*(10), 4069-4080.

Campione, G., Fossetti, M., Giacchino, C., & Minafò, G. (2014). RC columns externally strengthened with RC jackets. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, *47*(10), 1715-1728.

Demirkan, D. (2014). *Betonarme yapılarda onarım ve güçlendirme yöntemleri*. 1-203.

Elyiğit, B., & Ekinci, C. E. (2023). A research on structural and non-structural damages and damage assessment in reınforced concrete structures. *NWSA Academic Journals*, *18*(2), 19–42.

Farghal, O. A., Ahmed, M. M., & Hamed, A. M. (2021). Structural behavior of normal rc rectangular short columns strengthened using ferrocement system. *Internatıonal Journal of Engıneerıng Development and Research,* 9(1), 247-256.

Gibson, G. (2017). Epoxy Resins. *Brydson's Plastics Materials: Eighth Edition*, 773-797.

Keskin, E. (2005). *Betonarme Yapıların Onarımı, Güçlendirilmesi Ve Lifle Güçlendirilmiş Polimerler*. 1-9.

Kırıcı, S., & Soyluk, A. (2024). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerinde Meydana Gelen Yapı Hasar Türleri ve Yapı Yıkım Çeşitlerinin Saha Analizlerinin Değerlendirilmesi. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, *9*(Special Issue), 327-352.

Korkmaz, A., Ay, Z., & Uysal, Ö. (2008). Çelik yapıların güçlendirilmesinin doğrusal olmayan analizlerle değerlendirilmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *24*(2), 216-226.

Lampropoulos, A., Paschalis, S., Tsioulou, O., & Dritsos, S. (2024). Numerical Investigation of reinforced concrete (RC) columns strengthened with ultra-high-performance fiber-reinforced concrete (UHPFRC) jackets. *Materials*, *17*(14), 3380.

Lionetto, F. (2021). Carbon fiber reinforced polymers. *Materials*, *14*(19), 5545.

Liu, L., Jia, C., He, J., Zhao, F., Fan, D., Xing, L., Wang, M., Wang, F., Jiang, Z., & Huang, Y. (2015). Interfacial characterization, control and modification of carbon fiber reinforced polymer composites. *Composites Science and Technology*, *121*, 56-72.

Mahmoud, K. M., Sallam, E. A., & Ibrahim, H. M. H. (2022). Behavior of partially strengthened reinforced concrete columns from two or three sides of the perimeter. *Case Studies in Construction Materials*, *17*, e01180.

Obaidat, A. T., Ashteyat, A. M., Hanandeh, S., & Al-Btoush, A. Y. (2020). Behavior of heat damaged circular reinforced concrete columns repaired using Carbon Fiber Reinforced Polymer rope. *Journal of Building Engineering*, *31*, 101424.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Öncü, G. (2011). Mevcut betonarme ve yığma binaların depreme karşı onarım ve güçlendirme yöntemleri ve İzmir'deki bazı uygulama örneklerinin irdelenmesi. 217.

Özdemir, A., & Ercan, E. (2017). Mantolama yöntemiyle güçlendirilmiş betonarme kolonların akustik emisyon yöntemiyle analizi. *Politeknik Dergisi*, *20*(1), 17-23.

Pham, H. Q., & Marks, M. J. (2005). Epoxy Resins. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. https://doi.org/10.1002/14356007.A09_547.PUB2

Raza, S., Khan, M. K. I., Menegon, S. J., Tsang, H. H., & Wilson, J. L. (2019). Strengthening and repair of reinforced concrete columns by jacketing: State-of-the-art review. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(11). https://doi.org/10.3390/su11113208

SBB. (2023). *Strateji ve Bütçe Başkanlığı. Kahramanmaraş ve Hatay depremleri raporu*. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/03/2023-Kahramanmaras-ve-Hatay-Depremleri-Raporu.pdf

Şirin, C. (2006). Yapılarda oluşan hasar biçimleri ve nedenleri ve yapıların onarım ve güçlendirilmesi teknikleri ile bir yapının güçlendirilmesi.

TBDY. (2018). TBEC 2018: Turkish Building Earthquake Code. *TBEC 2018: Turkish Building Earthquake Code. (2018).T.C. Government Gazette*, 416. http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1.pdf

Tonyalı, H. (2006). *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Betonarme Binalarda Duvar Etkisi ve Güçlendirilmesi*.

TS-500. (2000). Requirements for design and construction of reinforced concrete structures [Betonarme Yapilarin Tasarim Ve Yapim Kurallari]. *Türk Standardları Enstitüsü, Ankara*, *112*, 12–70.

[URL 1] https://www.trthaber.com/foto-galeri/depremden-once-guclendirme-yapilan-13-katli-binalar-yikilmadi-60-aile-kurtuldu/54952/sayfa-7.html Erişim Tarihi : 26.12.2025

ardindan-gecen-bir-yil-icinde-yaralarini-ne-kadar-sard Erişim Tarihi: 27.12.2025

[URL 2] https://www.ntv.com.tr/video/turkiye/karbonfiberle-guclendirilen-bina-yikilmadi-bitisigindeki-yerle-bir-oldu,GRW-SVaslU6g3yHdAptjQA Erişim Tarihi: 27.12.2025

[URL 4]https://gazeteoksijen.com/turkiye/demek-ki-dogru-guclendirme-yapilirsa-ayakta-kaliyormus-171223 Erişim Tarihi : 26.12.2025

[URL 3]https://www.santiye.com.tr/hatay-da-karbon-lifli-polimer-ile-gu-clendirilen-bina-depremlere-karsi-bu-tu-nlu-gu-nu-koruyarak-hayat-kurtardi-4144.html Erişim Tarihi : 26.12.2025

[URL 5] https://www.aryayapiteknik.com/uygulamalar/yapi-guclendirme Erişim Tarihi : 27.12.2025

[URL 6]https://x.com/DenizGenlik/status/1626991101583171589 Erişim Tarihi 07.02.2023

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

DEPREM RİSKİNE KARŞI BETONARME KİRİŞLERDE PRATİK YAKLAŞIMLAR

Dr. Öğr. Üyesi, MAHMUT DURMAZ
Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
mahmutdurmaz@siirt.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-6060-4258
Lisans Öğrencisi, AAMAL GHAZAL
Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
amaalghazal15@gmail.com, ORCID ID: 0009-0001-5741-8980

ÖZET

Kirişler, yükleri döşemelerden ve çatılardan kolonlara ve ardından temellere aktarmada hayati bir rol oynadıkları için binalardaki en kritik yapısal elemanlar arasındadır. Kirişlerin boyutları ve tasarımı, canlı yükler, ölü yükler ve herhangi bir yanal kuvvet dahil olmak üzere üzerlerine etki eden yüklerin büyüklüğüne göre belirlenir. Kirişler öncelikle eğilme momentlerine ve kesme kuvvetlerine karşı direnç gösterir, bu da mukavemetlerini ve dayanıklılıklarını yapının genel kararlılığı için önemli hale getirir. Ülkemizin sismik bir fay hattı boyunca coğrafi konumu nedeniyle, binalar sıklıkla kirişlere ciddi hasar verebilecek depremlere maruz kalmaktadır. Bu hasar, tüm yapının güvenliğini tehlikeye atabilir ve insan hayatı için risk oluşturabilir. Bu nedenle, hasarlı kirişleri veya gelecekte hasar görme riski taşıyanları güçlendirmek, yapısal güvenliği ve dayanıklılığı sağlamak için çok önemlidir. Kiriş takviyesinin birincil amacı, eğilme mukavemetini, kesme mukavemetini ve sünekliğini artırmaktır. Kirişleri güçlendirmek için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri, betonarme ceket uygulamasıdır. Bu, yük taşıma kapasitesini ve eğilmeye karşı direncini artırmak için kirişin kesit boyutlarının artırılmasını içerir. Ek olarak, kirişlerin kesme mukavemeti ve sünekliği, bunları fiber takviyeli polimer (FRP) levhalarla sararak veya harici çelik plakalar ekleyerek iyileştirilebilir. Başka bir yöntem, ek ön sıkıştırma kuvvetleri getirmek için gerilim sonrası kullanımı içerir, böylece yükler altında stres ve deformasyon azaltılır. Kiriş güçlendirme için uygun tekniklerin seçimi, hasarın derecesine, yükleme türüne ve yapının özel gereksinimlerine bağlıdır. Bu çalışmada, kirişlerdeki hasar mekanizmaları ve çeşitli güçlendirme yöntemleri, farklı yükleme koşulları altında binaların dayanıklılığını ve güvenliğini sağlamak için etkili çözümler sunmak amacıyla kapsamlı bir şekilde incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme binaları , Kiriş , Kesme mukavemeti, Fiber takviyeli polimer

PRACTICAL APPROACHES TO REINFORCED CONCRETE BEAMS AGAINST EARTHQUAKE RISK

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ABSTRACT

Beams are among the most critical structural elements in buildings, as they play a vital role in transferring loads from floors and roofs to columns and then to foundations. The dimensions and design of beams are determined by the magnitude of the loads acting on them, including live loads, dead loads, and any lateral forces. Beams primarily resist bending moments and shear forces, making their strength and durability important for the overall stability of the structure. Due to our country's geographical location along a seismic fault line, buildings are frequently subjected to earthquakes that can severely damage the beams. This damage can jeopardize the safety of the entire structure and pose a risk to human life. Therefore, reinforcing and strengthening damaged beams or those at risk of future damage is crucial to ensure structural safety and durability. The primary purpose of beam reinforcement is to increase flexural strength, shear strength, and ductility. One of the most commonly used methods for strengthening beams is the application of reinforced concrete jacketing. This involves increasing the cross-sectional dimensions of the beam to increase its load-carrying capacity and resistance to bending. In addition, the shear strength and ductility of the beams can be improved by wrapping them with fiber-reinforced polymer (FRP) sheets or adding external steel plates. Another method involves the use of post-tensioning to introduce additional pre-compression forces, thus reducing stress and deformation under loads. The choice of appropriate techniques for beam strengthening depends on the degree of damage, the type of loading, and the specific requirements of the structure. In this study, the damage mechanisms in beams and various strengthening methods will be comprehensively investigated to provide effective solutions to ensure the durability and safety of buildings under different loading conditions.

Keywords: Reinforced concrete buildings, Beam , Shear strength, Fiber-reinforced polymer

1. GİRİŞ

Betonarme yapılar günümüzde tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoğu insanın yaşam alanı olarak tercih ettiği bu yapıların hasara karşı dayanıklı olması gerekir. Yeterince sağlam olmayan ya da hasar gören yapılar mümkün olduğunca onarılmalı, onarılamayacak yapılar ise kesinlikle kullanılmamalıdır. Ayrıca, şu anda sağlam olan yapıların gelecekte hasar görme olasılığı varsa, bu yapıların hasar görmeden önce güçlendirilmesi ve daha güvenli hale getirilmesi çok önemlidir (Keskin, 2005). Hasarlı yapıların onarılmasındaki temel amaç, bu yapıların onarım ve güçlendirme işlemlerinden sonra aynı büyüklükte veya daha büyük depremlere dayanabilmesini sağlamaktır. Onarım çalışmaları, yapının sıva gibi yük taşımayan elemanlarının onarılmasıyla sınırlı değildir. Aksine, yapının işlevsel yönünü bozan ya da belirli bölümlerine zarar veren elemanlarda değişiklikler ve müdahaleler yaparak yapının sağlamlığını ve önceki performansını yeniden kazandırmaktır (Şirin, 2006). Ayrıca betonarme yapılar, tasarım ve uygulama hataları, zamana bağlı zayıflamalar, kullanım amacının değiştirilmesi ve yeni yönetmeliklere göre yetersiz kalması gibi nedenlerle onarılabilir veya güçlendirilebilir (Çetinkaya ve ark., 2011). Güçlendirme, bir binanın rijitliğini, yük taşıma kapasitesini,

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

mukavemetini ve ağırlığını artırmaktır. Bazı durumlarda, onarım harcamaları yeniden inşa harcamalarına eşittir. Çatlakların genişliklerine bağlı olarak birkaç farklı yöntem kullanılabilir. Takviye, yapının veya bir kısmının taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini ve stabilitesini geliştirmek için yapılan değişikliklerdir. Onarım, bazen yeniden inşaatın yarısından fazlasını karşılayabilir. Yapıya müdahale, yapıdaki kuvvet akışının yavaşlaması anlamına gelir. Yapıya müdahale etmek, kuvvet akışını değiştirir. Bu nedenle, güçlendirme yöntemini ve kararını seçerken iyi düşünmek gerekir. En iyi güçlendirme, en az müdahale ile yapılır (Öztürk, 2022). Depreme dayanıklı binalar inşa etmek ve gerektiği gibi binalarımızı güçlendirmekle yükümlüyüz. Günümüzde, betonarme binaların bakım ve onarımı, şehirleşme ve bina stoklarının yaşlanması nedeniyle giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Atay ve ark., 2010). Betonarme yapıların onarımı ve güçlendirilmesi için uygulanacak bir yöntem seçerken göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörlerden biri de yapının işleyişine olan etkisidir. Deprem gibi doğal olaylardan sonra hastaneler gibi bazı binalar çok hızlı bir şekilde onarmakta, bu nedenle hastanelerin bu işlemler sırasında faaliyetlerine devam edebilmesi beklenmektedir. Yapıların taşıyıcı elemanlarından olan kirişler, zamanla deprem, aşırı yükleme, korozyon, yangın gibi etkenler sonucunda hasar görebilmektedir. Bu tür hasarlar, yapı güvenliği açısından ciddi riskler oluşturur ve zamanla yapının zayıflamasına neden olabilir (Keskin, 2005). Özellikle büyük şehirlerde, betonarme kirişlerin güvenilirliği ve dayanıklılığı önemli bir mesele haline gelmiştir. Kirişlerde meydana gelen hasarlar, sadece yapısal bütünlüğü etkilemekle kalmaz, aynı zamanda çevresel ve ekonomik etkileri de beraberinde getirir (Dalyan & Sahin, 2019). Hasarlı kirişlerin onarımı ve güçlendirilmesi, mevcut binaların ömrünü uzatmakla kalmaz, aynı zamanda gelecekteki yapı projelerinin sürdürülebilirliğini artırabilir (Özkal, 2017). Beton yapılar, özellikle kirişlerde kesme kırılması gibi durumlarda hasar gördüğünde, onarım ihtiyacı giderek büyüyen bir pazar haline gelmiştir. Elyaf Takviyeli Polimer (FRP) kompozitler, özellikle Karbon Fiber Takviyeli Polimer (CFRP), üstün mekanik özellikleri sayesinde bu tür hasarların giderilmesinde sıklıkla tercih edilmektedir. CFRP'nin verimliliği, inşaat mühendisliği projelerinde etkili bir uygulama stratejisi ile birleştiğinde, hasarlı yapıların onarımı için oldukça uygun bir çözüm sunmaktadır (Contamine ve ark., 2013). İnsanların güvenliğini sağlamak ve mevcut yapıların çökmesini önlemek için eski yapıların onarımı ve güçlendirilmesi zorunludur. Bu süreçte, yapısal onarım ve güçlendirme için daha etkili tekniklerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Mevcut yöntemlerin etkinliğini analiz ederek, betonarme kirişlerin onarımı ve güçlendirilmesine yönelik yöntemleri ele almaktadır (Zhang, 2012). Bu çalışmanın, mühendislik topluluğu ve inşaat sektörü profesyonelleri için önemli bir kaynak olmayı hedeflemektedir. Betonarme yapılardaki kirişlerin onarımı ve güçlendirilmesi, yapı güvenliği ve sürdürülebilirlik açısından kritik bir konudur. Bu derleme makalede sunulan bilgiler, sektördeki uygulayıcılara kılavuzluk etmeyi amaçlamaktadır.

2. METOT VE MATERYAL

Bu çalışmanın amacı, hasarlı betonarme kirişlerin yük taşıma kapasitesi, sünekliği, rijitliği ve diğer mekanik özelliklerini iyileştirecek güçlendirme yöntemlerini deneysel olarak araştırmak ve en ekonomik çözümü belirlemektir. Çalışma kapsamında, sürdürülebilir inşaat anlayışı

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

doğrultusunda literatürde yer alan farklı fonksiyonlara sahip betonarme kirişler ele alınmış ve bu kirişlerin betonarme yapılarda hangi amaçlarla ve hangi alanlarda kullanıldığı ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Beton: iri ve ince agregalar, çimento, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin karıştırılmasıyla elde edilen bir malzemedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre, tüm betonarme yapılarda C25/30 sınıfından daha düşük beton kullanılamaz. Deprem bölgelerinde ise en az C30/37 sınıfı beton kullanılmalıdır (TBDY, 2018) , Sönmez ve ark., 2023).

Çelik: betonun basınç gerilmelerine, çeliğin ise çekme gerilmelerine dayanıklılığı sayesinde yüksek taşıma kapasitesine sahiptir. TBDY-2018, betonarme yapılarda yalnızca B420C ve B500C çeliklerinin kullanımına izin verirken, S420 çeliğini koşullu olarak kabul etmektedir. Bu standartlar, kirişlerde güvenli ve dayanıklı bir tasarımın temelini oluşturur.(Meral, 2019; TS 500).

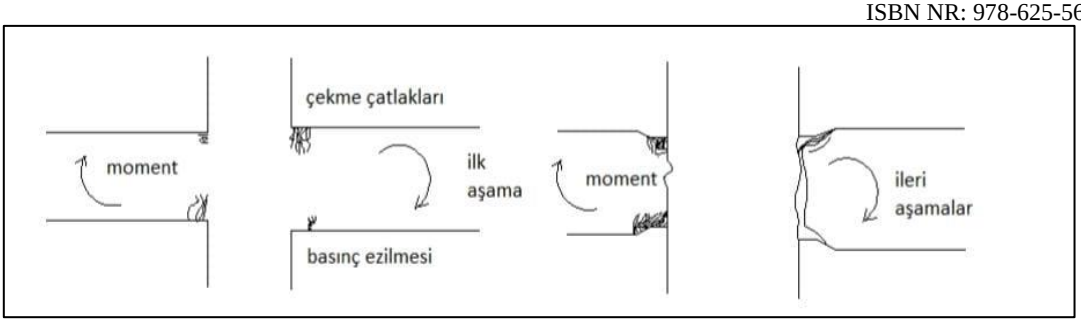
CFRP (Karbon fiber takviyeli polimerler): kiriş güçlendirme çalışmalarında hafifliği, dayanıklılığı ve korozyona karşı direnciyle öne çıkan bir malzemedir. Çeliğe göre 4-5 kat daha hafif olmasına rağmen 3 kat daha dayanıklıdır. Kirişlerde sürekli yükler nedeniyle oluşabilecek başlangıç mukavemet kaybını (%15-60) azaltmada etkilidir. Ayrıca, ince tabaka halinde uygulanarak yapının ağırlığını artırmadan yük taşıma kapasitesini artırır. Bu özellikleri sayesinde karbon fiber, hem depreme karşı güçlendirme hem de uzun vadeli dayanım için ideal bir çözümdür. Hızla gelişen teknoloji sayesinde, yakın gelecekte CFRP uygulamalarının daha ekonomik bir seçenek haline gelmesi öngörülmektedir(Atay ve ark., 2010).

Epoksi: Elyaf takviyeli kompozit yapısıyla yüksek çekme mukavemeti (3,5 MPa) ve sertlik sunarak betonarme kiriş güçlendirmede yaygın şekilde kullanılmaktadır. Gürültü, titreşim azaltma, ısıl yalıtım, korozyon direnci ve yüksek dayanım gibi özellikleriyle kirişlerin dayanıklılığını artırmada etkili bir malzemedir (Demirci, 2017).

3. KİRİŞLERDE OLUŞAN HASARLAR

Betonarme kirişlerde en sık görülen hasar, düşey yüklerin etkisiyle açıklık bölgesinde oluşan eğilme kırılmasıdır. Yatay ve düşey yükler birlikte etkili olduğunda ise hasar genelde kolonlara yakın bölgelerde meydana gelir. Eğilme kırılmaları, boyuna donatının yetersizliği nedeniyle çekme bölgesinde çatlaklarla kendini gösterir. Kiriş bağlantı noktalarında, pozitif moment kaynaklı çekme çatlakları oluşur. Deprem sırasında kirişin alt ucunda donatı bulunmaması, hasara yol açabilir (Keskin, 2005)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



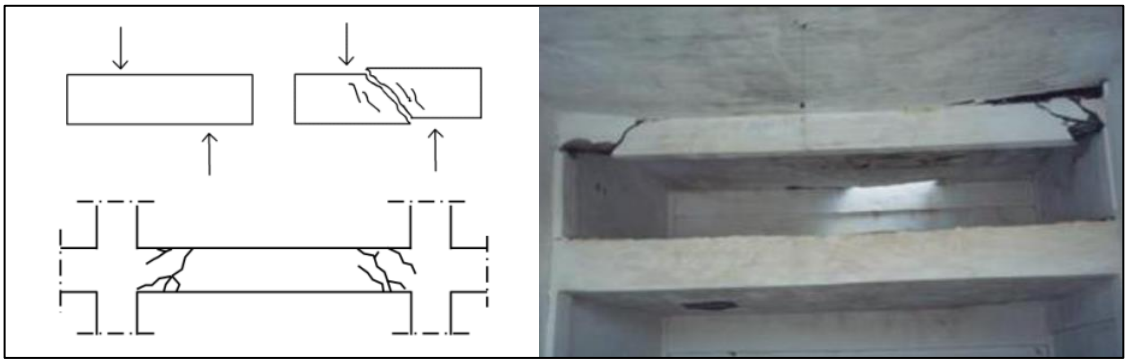
Görsel 1. Deprem etkisi altında kirişlerde moment hasarı (Koç, 2005)

Betonarme kirişlerde düşey yüklerin etkisiyle, kiriş açıklığında eğilme çatlakları oluşur. Eğer açıklık bölgesindeki donatı yeterli değilse ve bu donatılar akma limitini aşarsa, betonda çatlaklar meydana gelir. Çatlak boyutlarının santimetre düzeyine ulaşması, donatının akma limitini geçtiğinin bir göstergesidir (Demirkan, 2014).

Görsel 2. Kirişte oluşabilecek eğilme çatlaklar (Yüksel, 2008).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Taşıyıcı kirişlerde burulma momenti, kesme gerilmelerinde artışa neden olarak kirişte eğik çatlaklar oluşturabilir. Bu çatlaklar zamanla yayılır ve kirişin taşıma kapasitesini azaltarak yapısal stabilite kaybına yol açar ve bu bölgelerde kiriş eksenine dik olarak eğilme çatlakları ve 45° açıyla kırılma çatlakları meydana gelebilir. Bu tür çatlaklar genellikle etriye donatısının yetersiz olduğu durumlarda ortaya çıkar(Doğan ve ark., 2025).



Görsel 3. Kirişte oluşabilecek kırılma çatlaklar (Yılmaz & Umut, 2017)

4. KİRİŞİNİN ONARIMI VE GÜÇLENDİRMESİ

Betonarme kirişlerin onarım ve güçlendirilmesi için genellikle iki temel yöntem uygulanmaktadır. İlk yöntem, kirişlerin eğilme ve kesme dayanımlarını artırmayı hedefler. Bu yöntemde, mevcut kirişlere boyuna donatı eklenir veya eğilme kapasitesini artıran levhalar yapıştırılır. Etriye eksikliği durumunda ise firketeler veya epoksiyle beton yüzeyine yapıştırılan levhalar gibi alternatif çözümler kullanılmaktadır. İkinci yöntem ise yapı kullanım amacının değişmesi nedeniyle eğilme ve kesme kapasiteleri yetersiz kalan kirişlere uygulanır. Bu yöntemde, kiriş açıklığına mesnet yerleştirilerek açıklık yarıya indirilir ve böylece kirişin taşıma kapasitesi artırılır. Ancak, bu yöntemin dayanım ve davranış performansı üzerine yapılan araştırmalar henüz yeterli seviyeye ulaşmamıştır ve bu konuda daha detaylı çalışmalar yapılması gerekmektedir (Can ve ark., 2013).

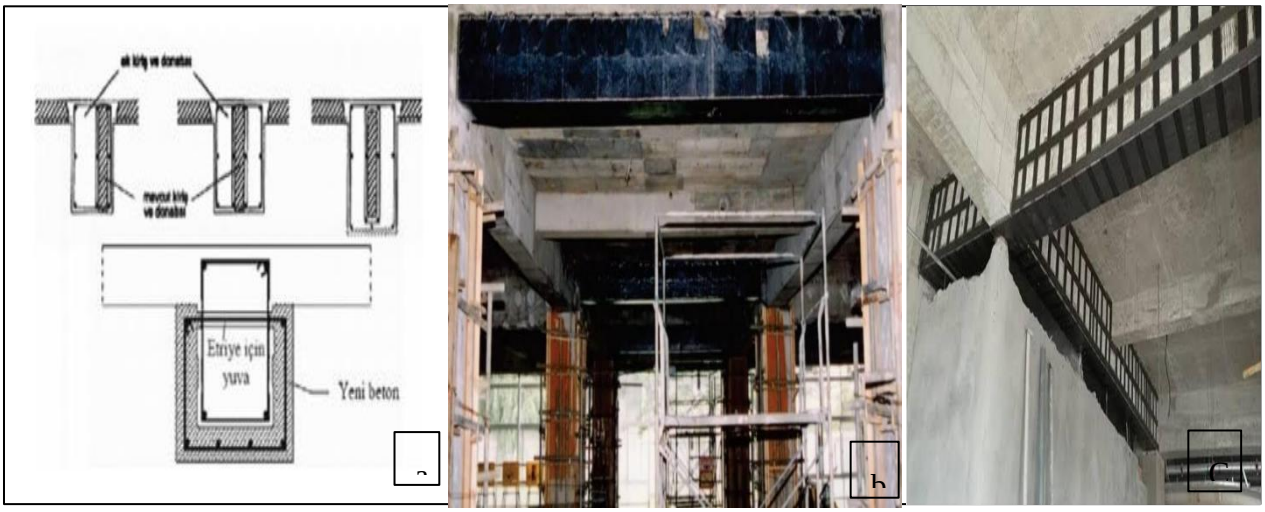
4.1 BETONARME MANTOLAMA

Betonarme kirişlerin onarımı ve güçlendirilmesinde kullanılan mantolama yöntemi, mevcut elemanın çevresine yeni bir betonarme tabaka ekleyerek kesit alanını artırmayı amaçlar. Bu teknikle yapılan bir araştırmada, kirişlerin alt ve üst yüzeylerine beton ve boyuna donatılar eklenmiş, yeni beton tabakası mevcut donatılarla Z şeklindeki çubuklarla bağlanmıştır. Kirişler, tersinir yükler altında test edilerek dayanım ve davranışları incelenmiş ve güçlendirilmiş

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

kirişlerin performansı, benzer kesitlere sahip monolitik kirişlerle karşılaştırılmıştır (Çakıroğlu, 2010).

Betonarme kirişlerin sarılmasının temel amacı, kirişlerin kesme dayanımını artırmaktır. Bazı durumlarda ise süneklik kapasitesinde artış sağlanır. Ancak, özellikle bükme kapasitesi belirli bir seviyede olan kirişlerde bu yöntemle bir iyileştirme sağlanamaz (Erbaş ve ark., 2025).



Görsel 4 a. Betonarme kiriş mantosu detayı(Özdemir & Ercan 2017)**. B.** Kiriş mantolaması[2]. **c.** Yatay kiriş mantolama yöntemi[3].

Kirişlerin eğilme dayanımı artırılacaksa manto uygulanır ve donatılar kolon içindeki deliklerden geçirilerek sürekli hale getirilir. Kesme dayanımı artırılacaksa, manto kolon yüzeyinde boşluk bırakılarak sonlandırılır. Doğru detaylandırma ve hazırlıkla güçlendirilmiş kirişler başarılı sonuçlar verir ve taşıma gücünün %90'ı dikkate alınır. Kesme dayanımı hesaplamaları ise TS 500 standardına göre yapılmalıdır(Özdemir & Ercan, 2017).

4.2 Çelik Levhalar İle Güçlendirme

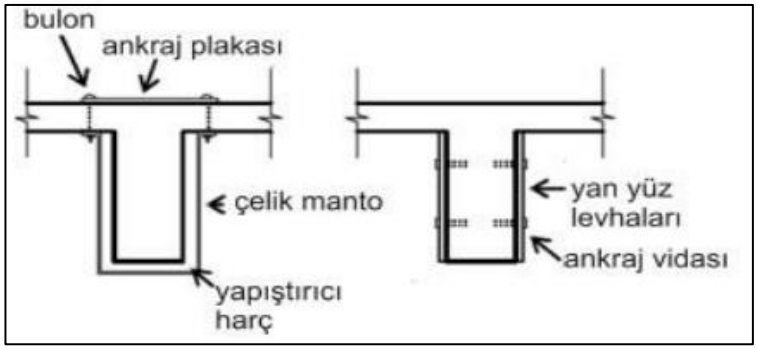
Betonarme kirişlerin kesmeye karşı güçlendirilmesi için çelik levha yapıştırma yöntemi son yıllarda yaygınlaşmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntemle kirişler kompozit bir yapı halini alır. Bir diğer yöntem ise, kiriş açıklığına mesnet ekleyerek eğilme ve kesme dayanımlarını artırmaktır. Ancak, bu yöntemin dayanım ve performansı üzerine yeterli araştırma yapılmamıştır (Koç, 2005).

Çelik levhalarla güçlendirme, kirişlerin yüzeylerine çelik plakaların yapıştırılması. Kirişin alt yüzeyine yapıştırılan levhalar, eğilme kapasitesini artırırken, yan yüzeylere yerleştirilen levhalar kesme dayanımını güçlendirir. Hem eğilme hem de kesme dayanımının artırılması gereken durumlarda, U şeklindeki plakalar kullanılabilir veya levhalar yüzeylere yapıştırılıp

[2] https://images.app.goo.gl/2hKBaHgCJXLLKHjG7
[3] https://images.app.goo.gl/2hKBaHgCJXLLKHjG7

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

köşelerde kaynaklanabilir. U şekli veya yan yüzeylere plakaların yapıştırılmasıyla yapılan güçlendirmede farklı detaylar uygulanabilir (Özdemir, 2015).



Görsel 4.2 Çelik levhalar ile kiriş güçlendirmesine ait detay örnekleri (Özdemir & Ercan,2017).

4.3 YEREL ONARIMLAR

Enjeksiyon yöntemi, yalnızca hafif çatlakların onarımı için kullanılır ve epoksi ile çimento harcı enjeksiyonları, kolon onarımlarına uygun görselde yapılır. Ciddi hasarlarda, betonun ezilmesi, yapışma kaybı veya donatının kırılması gibi durumlarda, hasarlı kısım tamamen yenisiyle değiştirilmelidir. Ezilen beton veya hasar görmüş donatının kaldırılmasından önce (Demir, 1999):

• Kiriş geçici olarak desteklenmeli.

• Onarım, kolon onarımlarına benzer görselde yapılmalıdır.

• Beton iyice sıkıştırılmalıdır.

• Üst yüzeye erişim zor ise, işlem dikkatlice yapılmalıdır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

4.4 KİRİŞLERİN CFRP (KARBON FİBER TAKVİYELİ POLİMERLER) İLE GÜÇLENDİRMESİ

Betonarme kirişlerin kesme kuvvetine karşı güçlendirilmesinde birçok farklı yöntem uygulanmaktadır. Bunlardan biri, karbon elyaf takviyeli plastik (CFRP) şeritlerle yapılan güçlendirmedir. CFRP malzemelerinin etkin bir Görselde uygulanabilmesi için yüzey hazırlığı büyük önem taşır. Çünkü bu malzemeler, dışarıdan uygulama yapılan bileşenlerdir. Betonarme yapılarda çelik donatılar, beton ile birleşik görselde kalır ve bu sayede sıyrılma gibi sorunlar yaşanmaz. Uygulama sırasında herhangi bir hava boşluğu veya yapışma sorunu olup olmadığı kontrol edilir. Ancak CFRP uygulamalarında en büyük zorluk, malzemenin sıyrılması ya da betonun paspayı tabakasını alarak ayrılmasıdır (Akbaş & Çalışkan, 2024).

Görsel 4[4]a. CFRP işlemin hazırlık ve yerleştirme aşaması. **b**. Yüzeye doğru bir şekilde yerleştirilmesi için ölçüm ve düzeltme işlemleri yapımı. **c**. CFRP karbon fiber kumaşın kirişin yüzeyine tutturulup yapıştırma ve kontrol edilme.

Epoksi matrisli karbon fiber levhalar, döşeme, kolon, duvar ve kirişlerin yük taşıma kapasitesini artırmak için dış takviye olarak kullanılır. Yüksek mukavemetli epoksi reçinesi ile bağlanan levhalar, epoksi kuruduktan sonra yükü taşır ve yüksek yükleri akma noktasına kadar dayanabilir (Atay ve ark., 2010).

4.5 FRP (FİBER TAKVİYELİ PLASTİKLER) İLE KİRİŞ GÜÇLENDİRME

Yüksek çekme dayanımına sahip liflerle, bu lifleri bir arada tutarak yeni bir malzeme oluşturmak için kullanılan termoset veya termoplastik bir matristen oluşur. Bu malzemeler, takviye işlevini sağlamak amacıyla yeterli bir en-boy oranına (uzunluk/kalınlık) sahip karbon,

[4] https://www.teknomakinsaat.com/karbonserit_ve_karbonfiber_elyaf_ile_guclendirme_sistemleri.html

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

cam ve bazalt gibi liflerin polimerik matrislerle (termoset veya termoplastik) birleştirilmesiyle elde edilir. FRP kompozitler, betonarme yapıların hem normal yükler hem de deprem yükleri karşısında hızla artan ihtiyaçlara cevap vermek üzere rehabilitasyon ve güçlendirme çalışmaları için ideal bir takviye elemanıdır (Hamad, 2021).

FRP sargılı kirişlerin sünekliğini ve kesme dayanımını artırmak amacıyla, tüm kesitin etrafının sarılması ya da tam sargı yöntemi kullanılmalıdır. FRP şeritlerinin aralığı, içinde şerit bulunmayan uygulamalarda wf+d/4'ü geçmemelidir. FRP sargısı, kiriş köşelerinde belirli bir yarıçapla yuvarlatılmalı ve sargının kalınlığı en az otuz milimetre olmalıdır. CTP ile yapılan sargılarda, sargı işleminden sonra en az 200 mm'lik bir bindirme uygulanmalıdır. CTP uygulamaları, üretici firmanın önerdiği yöntemlere uygun olarak yapılmalıdır(Erbaş ve ark., 2024).

5.BULGULAR

Türkiye'de birçok kiriş gerekli inşaat standartlarını karşılamamaktadır. Bu tür kirişlerin tamamen yıkılıp yeniden yapılması maliyetli olduğundan, mümkünse bu elemanların onarılması veya güçlendirilmesi gerekmektedir. Ancak, bu işlemlere başlamadan önce deneyimli mühendislerin hasar durumunu değerlendirmesi ve uygun çözüm yöntemini onaylaması zorunludur. Kirişlerin onarımı ve güçlendirilmesi, genellikle yeniden inşa etmekten daha karmaşıktır (Keskin, 2005). Bu nedenle, hasar seviyesini tespit ederek kirişin nerede ve nasıl güçlendirileceğine karar verilmelidir.

Yapılan çalışmalar ve değerlendirmeler ışığında aşağıdaki bulgular elde edilmiştir (Çetinkaya ve ark., 2011):

1.Kirişlerde FRP Malzeme Kullanımı: Kirişin kesme dayanımı kontrol edilmelidir. FRP malzemesinin uygulanacağı yüzeyin pürüzlü olması, epoksi harcının yapışmasını artırır. Yüzey pürüzlendirme işlemi matkap, kumlama veya elektrikli çelik tel fırça ile yapılabilir. Çatlakların enjeksiyonu için kullanılan epoksi reçine, uygulama öncesinde hava temizliği yapılarak çatlak içine enjekte edilmelidir (Özturan, 2003).

2.Kiriş Hafifliği ve Malzeme Seçimi: Kirişlerin inşasında mümkün olduğunca hafif ve dayanıklı malzemeler tercih edilmelidir. Lifli polimer örtüler, çeliğe göre daha hafif ve güçlü olduğundan kirişe ek gerilim katmadan taşıma kapasitesini artırır. Ayrıca sismik etkilere karşı dayanıklılığı iyileştirir. Ancak bu malzeme betonarme donatıya göre daha pahalıdır, yangına dayanıklı değildir ve koruyucu bir malzeme ile kaplanmalıdır (Öztürk, 2022) .

3.Deprem Öncesi Kiriş Durumunun Değerlendirilmesi: Kirişlerin mevcut durumundaki eksiklikleri belirlemek için binanın düşey yükler (1.4G+1.6Q) ve sismik etkiler (G+Q+E) altındaki davranışları analiz edilmelidir. Bu analizler TS500 ve 1998 Deprem Yönetmeliği'ne uygun olarak yapılmalıdır (Çalışkan ve ark., 2012).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada betonarme kirişlerde deprem hasarlarının onarımı ve güçlendirilmesi için en uygun yöntemler ele alınmıştır. Kirişlerin güçlendirilmesi ve onarımı için kullanılan malzemelerden ve bu malzemelerin avantajları ile uygulama yöntemlerinden bahsedilmiştir. Güçlendirme işlemleri dikkatle planlanmalıdır çünkü birçok betonarme kiriş, bu tür müdahalelere ihtiyaç duymaktadır. Kirişlerde meydana gelen hasarların nedenleri ve sonuçları ayrıntılı olarak analiz edilmeli ve her kirişin durumu ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Bu süreçte uzman mühendislerin, doğru onarım ve güçlendirme malzemelerini seçmeleri ve en uygun yöntemleri belirlemeleri gerekmektedir. Prefabrik onarım malzemeleri ve kiriş güçlendirme yöntemleri üzerine yapılan çeşitli testlerde, üreticilerin iddialarıyla gerçek sonuçlar arasında farklar tespit edilmiştir. Bu nedenle, hazır tamir harçlarının kullanılmadan önce teknik özelliklerinin kontrol edilmesi ve belirlenen amaca uygunluğunun değerlendirilmesi gereklidir Kirişlerin güçlendirme projeleri hazırlanırken şu hususlar göz önünde bulundurulmalıdır:

1.Kirişlerin detaylı mimari ve yapısal analizi yapılmalı, donatı özellikleri doğru bir şekilde belirlenmelidir.

2.Korozyon olasılıkları dikkate alınarak uygun önlemler alınmalıdır.

3.Mimari plana zarar vermemek ve kirişin yük taşıma kapasitesini simetrik olarak artırmak için doğru montaj yapılmalıdır.

4.Güçlendirme elemanları düzenli bir şekilde yerleştirilmeli ve yapı bütünlüğü sağlanmalıdır.

Kiriş güçlendirme, yatay yükleri taşıyan betonarme kirişlerin taşıma kapasitesini artırmak için uygulanan bir tekniktir. Bu işlemde, çelik plakalar, karbon fiber takviyeleri ve elyaf kompozit malzemeler gibi malzemeler kullanılır. Kirişler eğilme, kayma ve burulma gibi kuvvetlere maruz kaldığından, güçlendirme tekniklerinin doğru seçimi büyük önem taşır. Bu yöntemler, kirişlerin deformasyonunu azaltarak dayanıklılıklarını artırır. Gelecekte, yeni malzeme ve teknik kombinasyonları, kiriş güçlendirmede daha etkili ve ekonomik çözümler sunabilir, ayrıca çevresel sürdürülebilirlik açısından da faydalı olabilir.

KAYNAKÇA

Akbaş, A., & Çalışkan, Ö. (2024). Kirişlerin CFRP ile Güçlendirilmesinde Uygulama Detayları. In *International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences*.

Amin, S., Elwan, S. K., Elzeiny, S., Hamad, M., & Deifalla, A. (2021). Numerical modeling the effect of an opening on the behavior of exterior beam-column connections under cyclic loading. *Journal of Building Engineering*, *40*, 102742.

Atay, H. (2010). Depremde hasar görmüş yapıların güçlendirme yöntemleri ve güçlendirmede kullanılan malzemeler (Master's thesis, Sakarya Universitesi (Turkey)).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Çakıroglu, M. A., & Terzi, S. (2010). Betonarme Kirişlerin Mantolama Sistemi İle Güçlendirilmesi. Engineering Sciences, *5*(4), 658-670.

Çalışkan, Ö., Yılmaz, S., & Kaplan, H. (2012). Güçlendirme Ankrajlarının Kesme Dayanımının ACI318 ve TS500'e Göre Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14*(3), 19-27.

Can, H., Göğüş, M. H., & Demirel, Y. (2013). Betonarme Kirişlerin Açıklık Ortasına Kolon Ekleme Yöntemiyle Güçlendirilmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17*(3), 121-135.

Çetinkaya, N., Kaplan, H., & Şenel, Ş. M. (2011). Betonarme kirişlerin lifli polimer (frp) malzemeler kullanilarak onarim ve güçlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10*(3), 291-298.

Contamine, R., Si Larbi, A., & Hamelin, P. (2013). Identifying the contributing mechanisms of textile reinforced concrete (TRC) in the case of shear repairing damaged and reinforced concrete beams. *Engineering Structures, 46*, 447-458.

Dalyan, I., & Sahin, B. (2019). Evaluation of The Structural System Performance of an Existing Reinforced Concrete Building Under Earthquake Loads According to the 2007 and 2018 Turkish Earthquake Codes. In *Turkish Journal of Earthquake Research* 1(2).

Demir, H. (1999). *Depremlerden hasar görmüş betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesi*. Emlak Pazarlama Proje Yönetimi ve Servis A. Ş.

Demirci, İ. (2017). Deniz suyu korozyon ortamında bazalt/epoksi kompozitlerin mekanik davranışlarının incelenmesi. In *Journal of Selcuk-Technic (*16).

Demirkan, D. S. (2014). Yığma yapılarda derz kalınlığı ve duvar örme tekniğinin yapıya etkisinin anizotrop bir model üzerinde incelenmesi. Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Doğan, O., Çakır, B., Genç, Y., & Odacıoğlu, O. G. (2025). The Importance of Reinforcement Placement and Concrete Cover in Reinforced Concrete Beam Performance. *International Journal of Engineering Research and Development*, *17*(1), 182-197.

Erbaş, Y., Mercimek, Ö., Anıl, Ö., Çelik, A., Akkaya, S. T., Kocaman, İ., & Gürbüz, M. (2025). Design deficiencies, failure modes and recommendations for strengthening in reinforced concrete structures exposed to the February 6, 2023 Kahramanmaraş Earthquakes (Mw 7.7 and Mw 7.6). *Natural Hazards*, *121*(3), 3153-3194.

Keskin, E. (2005). Betonarme yapıların onarımı, güçlendirilmesi ve lifle güçlendirilmiş polimerler. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Koc, M.(2005). Implications of learning theories for effective technology integration and pre-service teacher training: A critical literature review. *Journal of Turkish Science Education, 2* (1), 2-18.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Meral, E. (2019). Betonarme Binalarda Kısa Kolon Etkilerinin Araştırılması. *Uluslararası Muhendislik Arastirma ve Gelistirme Dergisi*, *11*(2), 515-527.

Özkal, F. M. (2017). Betonarme yüksek kirişlerde boşluk konumu ve şeklinin yapısal davranış üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, *22*(2), 149-160.

Özdemir, A., & Ercan, E. (2017). Mantolama Yöntemiyle Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların Akustik Emisyon Yöntemiyle Analizi. *Politeknik Dergisi*, *20*(1), 17-23.

Özturan, T. (2003). Betonarme yapıların restorasyonu ve onarım ve güçlendirme malzemeleri, Türkiye mühendislik haberleri sayı 426 (4), 147-150.

Öztürk, Y. (2022). Depremde hasar görmüş yapılar için farklı güçlendirme önerileri. *TAS Journal*, *2*(2), 35-44.

Sönmez R., Özbora A., Saçlıtüre K., Engin Y. (2023). Türkiye Hazır Beton Sektöründe Mevcut Durum, Gelişmeler ve Beklentiler*, Hazır Beton Dergisi,* 68-74

Şirin C. (2006). Yapılarda Oluşan Hasar Biçimleri Ve Nedenleri Ve Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi Teknikleri İle Bir Yapının Güçlendirilmesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

TBDY. (2018). 2018 Türkiye bina deprem yönetmeliği ve Türkiye deprem tehlike haritası ile ilgili İç Anadolu bölgesi bazında bir değerlendirme. *Selçuk-Teknik Dergisi*, *17*(2), 31-42.

TS 500. (2000.). TS 500. *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, Şubat*.

Yüksel İ. (2008). Betonarme binaların deprem sonrası acil hasar değerlendirmeleri, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *24*(2), 260-276.

Zhang, Y. (2012). Repair and strengthening of Reinforced concrete beams. *Ohio State University: Columbus, OH, USA.*

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

BETONARME YAPILARDA TAŞIYICI OLMAYAN BÖLME DUVARLARIN DEPREM ETKILERI ALTINDAKI MEKANİK DAVRANIŞININ DENEYSEL İNCELENMESİ

İnşaat Müh. AbdulcebbarKASIRGA

Ege Üniversitesi, Fen Bil. Enst., abdulcebbarkasirga@gmail.com - 0009-0005-3142-8522

Prof. Dr. Emre ERCAN

Ege Üniversitesi, Müh. Fak., emre.ercan@ege.edu.tr - 0000-0001-9325-8534

Arş.Gör. Muhammed Serdar AVCI

Ege Üniversitesi, Müh. Fak., muhammed.serdar.avci@ege.edu.tr - 0000-0003-0884-3734

Prof. Dr. Bengi ARISOY

Ege Üniversitesi, Müh. Fak., bengi.arisoy@ege.edu.tr - 0000-00022785-0609

ÖZET

Deprem sırasında binaların davranışını belirleyen unsurlar sadece taşıyıcı sistem elemanlarıyla sınırlı değildir; taşıyıcı olmayan dolgu duvarlar da yapının deprem performansı üzerinde önemli bir rol sahibidir. Dolgu duvarlar, betonarme binalarda taşıyıcı sistemin bir parçası olarak tasarlanmamalarına rağmen, deprem anında taşıyıcı çerçeve ile etkileşime girerek yapının dayanımını ve yatay yük taşıma kapasitesini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu etki, kullanılan tuğla türü ve yüzeyine uygulanan sıva sistemine bağlı olarak olumlu ya da olumsuz yönde gelişebilmektedir.

Deprem etkisi altında dolgu duvarlar genellikle ilk hasar gören elemanlar arasında yer almakta; ezilme veya kesme kırılması gibi hasar türleri gösterebilmektedir. Buna karşın, bazı durumlarda dolgu duvarların taşıyıcı çerçeveye ilave rijitlik kazandırarak yapının beklenenden daha yüksek bir dayanım sağlamaktadır. Bununla beraber, dolgu duvarların çerçeve rijitliğine katkısı yatay düzensizlik mertebelerinin belirlenmesi haricinde, çerçeve tasarım hesaplarında çoğunlukla dikkate alınmamaktadır. Bunun nedeni duvarların yatay rijitliğe katkısını temsil eden standart bir modelin bulunmaması, tuğla ve sıva malzemelerinin çeşitlilik göstermesi, imalat ve işçilik kalitesindeki farklılıklar, doğrusal olmayan davranışın analitik olarak modellenmesindeki güçlükler ve farklı kesme kırılma modlarının belirsizlik oluşturması sayılabilir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bu çalışmada, betonarme yapılarda kullanılan dolgu duvarların deprem davranışı kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Gaz beton, bims tuğla ve izo tuğla gibi yaygın olarak kullanılan farklı tuğla türleriyle üretilen numunelerin, çeşitli sıva türleri altındaki davranışları düşey ve diyagonal yükler etkisinde deneysel olarak incelenmiştir. Sıvasız duvarlarda çatlak oluşumu, ilk hasar anı ve enerji yutma kapasitesi değerlendirilirken; farklı sıva kombinasyonlarının duvar rijitliğini artırıp artırmadığı, dayanım üzerindeki etkileri ve kırılma mekanizmasını nasıl değiştirdiği ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.

Dolgu duvarların gerçek deprem davranışının daha doğru ve güvenilir biçimde değerlendirilebilmesi için kapsamlı deneysel çalışmaların yanı sıra gelişmiş analitik ve sayısal modelleme yaklaşımlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu tür çalışmalar, tasarım standartlarının geliştirilmesi, uygulama detaylarının iyileştirilmesi ve genel yapı güvenliğinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dolgu duvar, gaz beton, bims tuğla, izo tuğla, deneysel çalışma

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF NON-LOAD-BEARING WALLS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER SEISMIC EFFECTS

ABSTRACT

The factors governing the behavior of buildings during earthquakes are not limited solely to structural frame; non-load-bearing infill walls also play a critical role in the seismic performance of structures. Although infill walls in reinforced concrete buildings are not designed as part of the primary load-bearing system, they interact with the structural frame during seismic events and can significantly influence the strength, stiffness, and horizontal load-carrying capacity of the structure.

Under earthquake loading, infill walls are typically the first component to experience damage, exhibiting failure modes such as diagonal cracking and shear failure. In certain cases, however, infill walls contribute additional stiffness to the structural frame, leading to higher rigidity and strength than anticipated in design. Despite this influence, the contribution of infill walls to frame stiffness is generally neglected in structural design calculations. This omission is primarily due to the absence of standardized analytical models capable of accurately representing wall–frame interaction, the wide variability in brick and plaster materials, challenges in modeling nonlinear behavior, and uncertainties associated with diverse shear failure mechanisms.

In this study, the seismic behavior of infill walls is examined through experimental investigation. Wall specimens constructed using commonly employed masonry units— Gaz beton, bims, izo—were tested vertical and diagonal loading. For all specimens, crack initiation, initial damage occurrence, and energy dissipation capacity were evaluated. In contrast,

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
specimens with different plaster combinations were analyzed to assess the effects of plastering on wall stiffness, strength enhancement, and alterations in failure mechanisms.

To achieve a more accurate and reliable assessment of the seismic performance of infill walls, comprehensive experimental research supported by advanced analytical and numerical modeling approaches is required.

Key words: Infill wall, gaz beton bricks, bims bricks, izo bricks, experimental study

1. GİRİŞ

Betonarme yapılarda kullanımı oldukça yaygın olan bölme duvarlar çoğu zaman hesap tasarımında göz önüne alınmadan ve hesaplamalara dahil edilmemektedir. Dolgu duvarlar yapıya olumlu ve olumsuz etkiler katmaktadır. Dolgu duvarlar yapıda süneklik, dayanım, rijitlik, taşıma kapasitesi, kesme kuvveti, bina performansı gibi birçok değeri etkilemektedir.

Betonarme dolgu duvarların statik hesap ve tasarımda dikkate alınmamasının başlıca sebepleri olarak; deprem sırasında yapıda bulunan dolgu duvarların yapının yatay rijitliğine etkisine dair geçerli bir modelin olmaması, dolgu duvarların imalatlarında farklı tür tuğla ve malzeme çeşidinin kullanılması, imalat sırasındaki işçilik hataları, hesap ve tasarım sırasında dolgu duvarların modellenmesindeki zorluklar gösterilebilir. Ancak ülkemizde son zamanlarda yaşanan 2011 yılındaki Van depremi, 2020 yılında Ege denizinde meydana gelen Samos depremi ve 2023 yılında meydana gelen 6 Şubat depremleri dolgu duvarların önemini ve yapıya olumlu katkılarını açıkça gözler önüne sermiştir.

Deprem bakımından riskli bir konumda bulunan ülkemizde yapıların büyük çoğunluğunda kullanılan dolgu duvarların önemi yadsınamaz derecededir. Gaz beton, bims tuğla ve izo tuğla ülkemizde dolgu duvar imalatında oldukça yaygın kullanılan yapı malzemeleridir.

Günümüz de yapılarda oldukça yaygın kullanılan bu yapı malzemeleri gözenek yapısı, hafiflik, ısı ve ses izolasyonu, rijitlik ve kullanım bakımından sağladıkları kolaylıklar vb. birçok değişkene bağlı olarak yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Literatür de yer alan çalışmalar göz önüne alındığında dolgu duvarlara yönelik birçok çalışma mevcuttur.

Sibel (2018), yaptığı çalışmada dolgu duvarların yapının rijitliğine olumlu etkilerinin olduğu ve dolatışıyla yapının periyotunu, göreli kat ötelenmesini ve kolonlara etkiyen kesme kuvvetini azalttığını, kesme kuvvetini ise arttırdığını tespit etmiştir [1]. Aras (2017), yılında yaptığı çalışmada 1980 yılında imal edilmiş altı katlı bir betonarme yapıda dolgu duvarların etkisini incelemeye çalışmış olup yaptığı deneyler sonucunda bölme duvarların yapının rijitliğine olumlu katkılarının olduğunu tespit etmiştir [2]. Asteris (2003) yalında yaptığı çalışmada dolgu duvarların çok katlı yapılarda çerçevenin rijitliğine ve yatay dayanımına önemli katkılarda bulunduğunu ve kolonlardaki kesme kuvvetlerini azalttığını tespit etmiştir [3]. Bayülke (2003), yapıda çerçeve açıklarını dolduran dolgu duvarların yüksek dayanımlı tuğla ve harç ile yapılması sonucunda yapıların yatay yük taşıma gücünü arttıracağını vurgulamıştır [4]. Wang (1987), yaptığı çalışmada kuru alçı duvar kaplama elemanlarının deprem etkisi altında davranışlarını incelemiş olup kaplama elemanlarının yapının yatay rijitliğine ve taşıma kapasitesine anlamlı katkı sağladığını tespit etmiştir [5]. Sevil, T., Baran, M., Canbay, E., 2010

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

yılında yaptıkları çalışmada, sıvanmamış ve sıvanmış boşluklu tuğla dolguların BA çerçeveli deney elemanlarının dayanım ve davranışlarına olan etkileri üzerine çalışmada bulunmuşlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda yaygın olarak kullanılan boşluklu tuğlalardan oluşan dolgu duvarların yapının çerçeve davranışın olumlu etkilerinin olduğunu ve çerçevede tuğla dolgu duvarın bulunması çerçevede tuğla dolgu duvar bulunmamasına nazaran yük taşıma kapasitesinde 3,5 kat artışa sebebiyet verdiği ayrıca tuğla dolgu duvarların sıvanması halinde ise yanal yük taşıma kapasitesini 4,5 kat arttırdığını tespit etmişlerdir [6].

2.ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ

Gaz beton, bims tuğla ve izo tuğla çeşitleri kullanılarak ve bu tuğlalardan oluşan dolgu duvarların kaba sıva + ince sıva, kaba sıva + kaba alçı + karışık alçı + saten alçı ve kaba alçı + karışık alçı + saten alçı ile sıvanması sonucunda yapılan bu çalışma:

- Türkiye'de yaygın şekilde kullanılan bu 3 tuğla tipinin aynı yüklemeler altında incelenmesi
- Dolgu duvarlarda kullanılan sıvanın etkisinin araştırılması
- Dikey yüklemeler sonucunda dolgu duvarlarda kullanılan kaplamanın etkisinin incelenmesi
- Kaba sıva + ince sıva, kaba sıva + kaba alçı + karışık alçı + saten alçı ve kaba alçı + karışık alçı + saten alçı şeklinde dolgu duvarların sıvanması sonucunda dayanımlarındaki değişimin incelenmesi çalışmaları literatürde sınırlıdır.

Bu açıdan yapılan çalışma literatüre şu katkıları sunmaktadır;

- Farklı tuğlalardan imal edile dolgu duvarların yük taşıma kapasitelerinin incelenmesi ve çatlak, göçme mekanizmasının incelenmesi
- Sıvasız ve çok katmanlı sıva uygulamaların dolgu duvar dayanımına etkisinin incelenmesi
- Düşey ve diyagonal yüklemeler altında sıva- tuğla etkileşiminin dayanıma etkilerinin incelenmesi.
- Bu bağlamda yapılan çalışma hem özgün hem de literatürdeki güncel ihtiyaca karşılık gelmektedir.

3.DENEYSEL PROGRAM

Tez çalışmasında bölme duvarların deprem etkisi altındaki davranışlarını incelemek amacıyla taşıyıcı olmayan bölme duvar numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler izo tuğla, bims tuğla ve gaz beton olmak üzere üç farklı tipteki tuğla malzemesi ile ince agrega, çimento, kireç, alçı, gaz beton yapıştırma harcı ve sudan oluşmaktadır. Üretilen duvar numunelerinin boyutları 60x60x20 cm'dir. Numunelerin 12 tanesi düşey yönde (c) 12 tanesi de diyagonal yönde (s) test edilmek üzere, toplam olarak 24 adet dolgu duvar numunesi hazırlanmıştır. Duvar üzerine uygulanan sıva aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır:

- Sıvasız numuneler (kontrol)
- Kaba sıva + ince sıva

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

- Kaba sıva + kaba alçı + karışık alçı + saten alçı
- Kaba alçı + karışık alçı + saten alçı

Bu çeşitlilik sayesinde, farklı sıva kombinasyonlarının duvarların mekanik dayanımına ve çatlak oluşum karakteristiklerine etkisi ayrıntılı biçimde değerlendirilebilmiştir. Aşağıdaki Çizelge 1' de tez çalışmasında kullanılan bölme duvarların tipleri ve bu bölme duvar numunelerinde kullanılan sıva tipleri açıklamasıyla birlikte gösterilmiştir.

Çizelge 1 Tuğla tipleri ve kullanılan sıva türlerine ait tablo

Tuğla Tipi	**Uygulanan kaplama / Sıva Tipi**	**Açıklama**
İzo tuğla	Sıvasız	Herhangi bir sıva kaplaması uygulanmamıştır. Yalnızca izo tuğladan oluşur.
	Kaba sıva + ince sıva	Önce çimento esaslı kaba sıva ve ardından ince sıva uygulanmıştır.
	Kaba sıva + kaba alçı + karışık alçı + saten alçı	Çok katmanlı sıva kaplaması uygulanmıştır. Kaba sıva ve ardından 3 katmanlı alçı kaplaması uygulanmıştır.
	Kaba alçı + karışık alçı + saten alçı	Sıvasız tuğla üzerine doğrudan 3 katmanlı alçı kaplaması uygulanmıştır.
Bims tuğla	Sıvasız	Herhangi bir sıva kaplaması uygulanmamıştır. Yalnızca bims tuğladan oluşur.
	Kaba sıva + ince sıva	Önce çimento esaslı kaba sıva ve ardından ince sıva uygulanmıştır.
	Kaba sıva + kaba alçı + karışık alçı + saten alçı	Çok katmanlı sıva kaplaması uygulanmıştır. Kaba sıva ve ardından 3 katmanlı alçı kaplaması uygulanmıştır.
	Kaba alçı + karışık alçı + saten alçı	Sıvasız bims tuğla üzerine doğrudan 3 katmanlı alçı kaplaması uygulanmıştır.
Gaz beton	Sıvasız	Herhangi bir sıva kaplaması uygulanmamıştır. Yalnızca gaz betondan oluşur.
	Kaba sıva + ince sıva	Önce çimento esaslı kaba sıva ve ardından ince sıva uygulanmıştır.
	Kaba sıva + kaba alçı + karışık alçı + saten alçı	Çok katmanlı sıva kaplaması uygulanmıştır. Kaba sıva ve ardından 3 katmanlı alçı kaplaması uygulanmıştır.
	Kaba alçı + karışık alçı + saten alçı	Sıvasız gaz beton üzerine doğrudan 3 katmanlı alçı kaplaması uygulanmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

İmalatı tamamlanan numuneler standart kür koşulları altında bekletilerek, 28 günlük mekanik özelliklerini kazandıktan sonra yükleme çerçevesi yardımıyla test edilmiştir. Deney sırasında uygulanan yükler, deney numunelerinde meydana gelen deplasman ve hasar gelişimleri hassas ölçüm cihazları ile izlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Bu kapsamlı veri seti, farklı duvar tiplerinin ve sıva uygulamalarının deprem etkisi altındaki performanslarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmek için temel oluşturmuştur.

3.1.Malzemeler ve Deney Elemanları

Deney elemanları gaz beton, bims tuğla ve izo tuğla elemanlarından oluşmaktadır. Bu 3 tip tuğla malzemesi kullanılarak 60x60x20 cm boyutlarında 24 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Dolgu duvar numunelerinde kullanılan malzemeler; gaz beton, bims tuğla, izo tuğla başta olmak üzere duvar harcı yapımında ise kireç, ince agrega (3mm ince elekten geçebilecek boyutlarda olup içerisinde herhangi bir organik madde olmayacak şekilde, kum), çimento (CEM IV/B (W-P) 32.5 N tipi puzolanik Portland çimentosu), gaz beton yapıştırma harcı, alçı ve sudur. Harç yapımımda kullanılan malzemelerin karışım oranları aşağıda Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2 Harç hazırlanırken kullanılan malzemeler ve hacimce karışım oranları

Kullanılan malzeme türü	**Hacimce karışım oranı**
Çimento	1
Kireç	2
İnce agrega	9
Su	1.5

Hazırlanan tüm duvarlarda harç malzemesi eşit karışımda ve homojen bir şekilde karıştırılarak hazırlanmış olup (Görsel 1*)* çalışması süresi de göz önünde bulundurularak belirli miktarlarda hazırlanıp duvar imalatında kullanılmıştır. Böylelikle dolgu duvarların imalatında malzemeden dolayı gerçekleşebilecek imalat kusurları en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Görsel 1 Harç hazırlanması

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Deneyde kullanılan alçı malzemesinin karışım oranı ise aşağıda Çizge 3'de gösterilmiştir

Çizge 3 Alçı karışım oranları

Hazırlanan malzeme	Kullanılan alçı miktarı	Kullanılan su oranı
Kaba alçı	10kg	6.5litre
Karışık alçı	10kg (1kg kaba alçı/3kg saten alçı gelecek şekilde)	6.5litre
Saten alçı	10kg	6.5litre

Deneyde gaz beton yapıştırma harcı karışım oranı ise 25 kg toz yapıştırma harcına 6-7 litre su ilave edilerek ile sağlanmıştır. Deneyde kullanılan gaz beton numunesinin boyutları 60x25x20 cm, bims tuğla boyutları 39x19x20cm ve izo tuğla boyutları 24x23.5x19cm olup tüm dolgu duvar numuneleri 60x60x20cm ebatlarında olacak şekilde ayarlanmıştır. İzo tuğla ve bims tuğladan oluşan duvar numunelerinde bu tuğlaların dikey yönde birbirine geçirimli olması sebebi ile sadece yatay yönde harç malzemesi kullanılmıştır. Görsel 2'de tuğla çeşitlerini ve harç uygulaması görülmektedir.

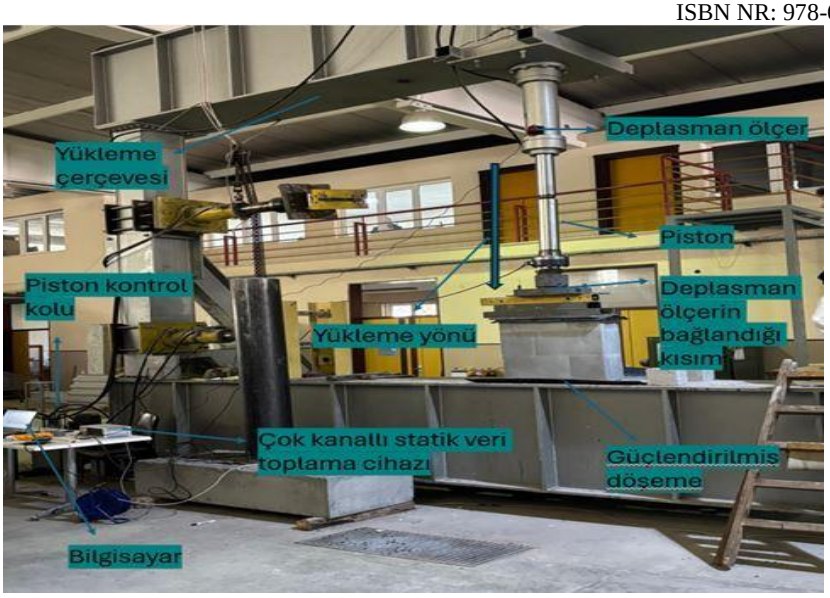
(a) **(b)** **(c)**

Görsel 2 (a)gaz beton, (b)izo tuğla, (c) bims tuğla

3.2 Deney Düzeneği

Yapılan çalışma kapsamında dolgu duvarların deprem davranışlarının belirlenmesi kapsamında yapılan deneylerde 30/50 ton kapasiteli ASTM C78, ASTM C293, TS EN 12390-5 standartlarına sahip I kesitli profillere sahip kolon ve kiriş elemanlarından oluşan kapalı çerçeve sisteminden oluşan yükleme çerçevesi kullanılmıştır. Deney düzeneğine ait Görsel 3'de gösterilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 3 Yükleme çerçevesi

Yapılan duvar numunelerine 45˚ ve 90˚'lik açılardan yük uygulanabilmesi için yardımcı çelik aparatlar kullanılmıştır. Deney düzeneğine yerleştirilen duvar numuneleri terazisinde ve gönyeli olacak şekilde düzenlenmiş olup işçilikten ötürü doğabilecek hatalar en aza indirilmeye çalışılmıştır. Deney numunelerinin üzerine etkiyen yük, 30/50 ton kapasiteli hidrolik piston aracılığıyla uygulanmıştır. Yükleme sırasında uygulanan yük değeri deney düzeneğindeki hidrolik aparatın üzerine yerleştirilen yük ölçer (load cell) yardımıyla ölçülmüştür. Test sırasında duvar numunelerindeki deplasmanları ölçebilmek amacıyla hidrolik pistonun koluna 180cm uzunluğa sahip ipli potansiyometre yerleştirilmiştir. Yük ölçer ve potansiyometredeki veriler testbox marka sekiz kanallı statik veri toplama sistemi ile aktarılıp kayıt altına alınmıştır.

4.TEST

Yapılan çalışmada, sıvasız, kaba sıva + ince sıva, kaba sıva + kaba alçı + karışık alçı + saten alçı ve kaba alçı + karışık alçı + saten alçı ile sıvanan dolgu duvar numuneleri yükleme çerçevesine yerleştirilerek dikey (c) ve diyagonal (s) yönde yüklemeler yapılmıştır. Yapılan yüklemeler ile dolgu duvar numuneleri üzerinde meydana gelen hasar ve tuğla-sıva etkileşimi incelenmiştir.

Hazırlanan numuneler 28 günlük mekanik dayanımlarını kazandıktan sonra yükleme çerçevesine yerleştirilerek dikey yönde ((a) Dikey yönde yükleme örneği) ve diyagonal yönde ((b) Diyagonal yönde yükleme örneği) yüklemelere maruz bırakılmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

(a) **Dikey yönde yükleme örneği** (b) **Diyagonal yönde yükleme örneği**

Görsel 4 (a) Dikey yönde yükleme örneği, (b) Diyagonal yönde yükleme örneği

Yapılan deneysel çalışmada hazırlanan gaz betona ait g-0-c, g-0-s ve g-3-c, g-3-s , bims tuğlaya ait b-0-c, b-0-s ve b-1-c, b-1-s ayrıca izo tuğlaya ait izo-0-c, izo-0-s ile izo-2-c, izo-2-s duvar numunelerinin dikey yönde ve diyagonal yönde yükleme öncesi ve sonrasına ait görselleri (Görsel 5-6 ve 7) aşağıda verilmiştir.

.

(a) g-0-c

(b) g-0-s

(c) g-3-c

(d) g-3-s

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Görsel 5 (a)g-0-c, (b)g-0-s, (c) g-3-c, (d) g-3-s deney numunelerinin test edilmesi

(a) b-0-c (b) b-0-s

(c) b-1-c (d) b-1-s

Görsel 6 (a)b-0-c, (b)b-0-s, (c) b-1-c, (d) b-1-s deney numunelerinin test edilmesi

(a) izo-0-c (b) izo-0-s

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

(c) izo-2-c (d) izo-2-s

Görsel 7 (a)izo-0-c, (b)izo-0-s, (c) izo-2-c, (d) izo-2-s deney numunelerinin test edilmesi

5.DENEYSEL SONUÇLAR

Yapılan yüklemeler sonucunda elde edilen sonuçların kuvvet (kN)-deplasman(mm) grafikleri dikey yönde (c) (Görsel 8) ve diyagonal yönde (s) (Görsel 9) olmak üzere karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Malzeme türlerini ifade etmek amacıyla; Bims tuğla numuneleri için "b",

İzo tuğla numuneleri için "izo", Gaz beton numuneleri için ise "g" kısaltması kullanılmıştır.

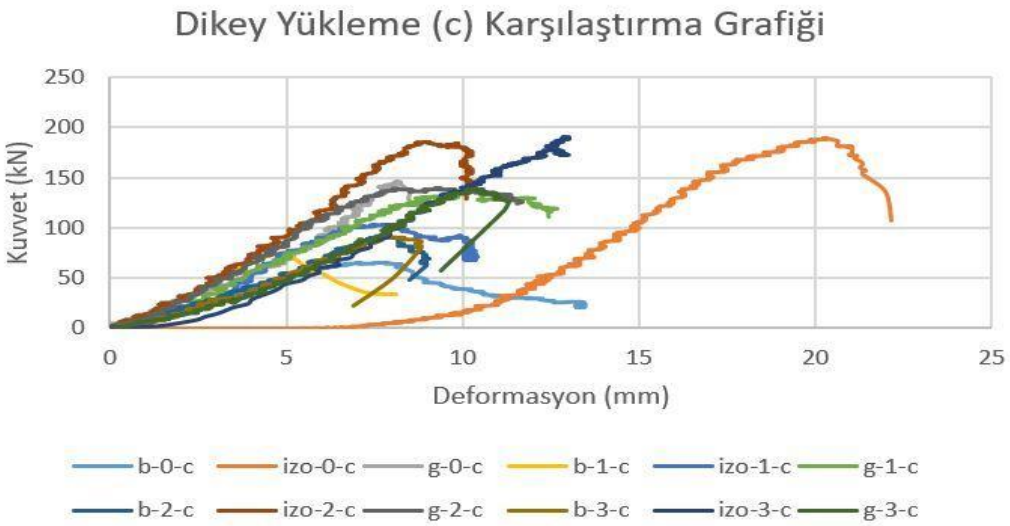
Numunelerde uygulanan sıva türleri de ayrı bir kodlama ile belirtilmiştir: Sıvasız (kontrol) numuneler için "0", Kara sıva + ince sıva uygulanan numuneler için "1", Kara sıva + sıva alçı + karışık alçı + saten alçı uygulanan numuneler için "2", Sıva alçı + karışık alçı + saten alçı uygulanan numuneler için "3" kısaltması kullanılmıştır.

Bu kodlamanın üçüncü bileşeni ise yükleme yönünü tanımlar:

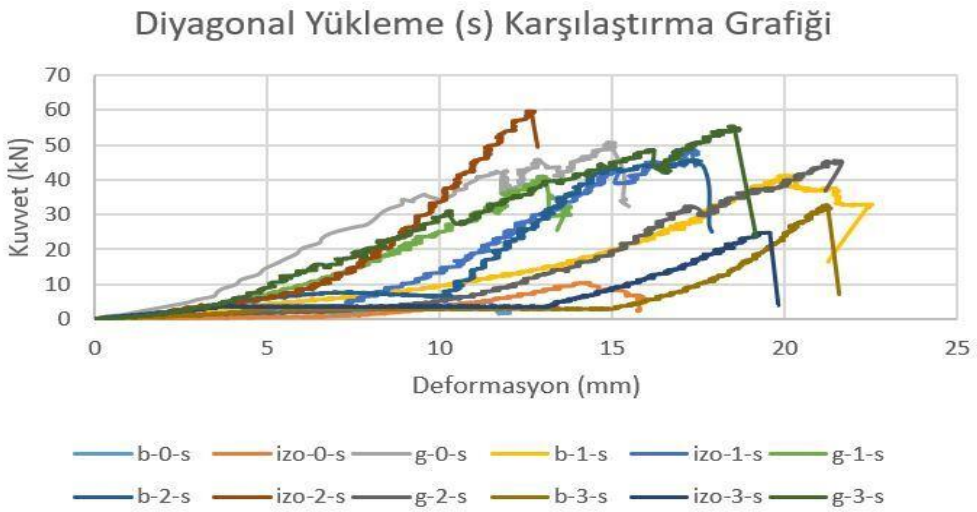
Dikey yöndeki yüklemeler için "c", Diyagonal (45°) yöndeki yüklemeler için "s" harfi kullanılmıştır. Dolayısıyla her bir numune kodu, üç bileşenli bir yapıya sahiptir: (Malzeme türü) – (Sıva tipi) – (Yükleme yönü), örneğin, "b2s" kodlu bir numune; bims tuğla malzemeli, çok katmanlı alçı sıvalı ve diyagonal yüklemeye maruz bırakılan bir numuneyi ifade etmektedir. Her bir numune üzerinde yapılan yükleme testleri sonucunda elde edilen veriler grafiksel olarak sunulmuştur. Grafiklerde: X ekseni, numunelerde oluşan deformasyon değerlerini (mm cinsinden), Y ekseni, uygulanan yük değerlerini (kN cinsinden) göstermektedir. Sunulan grafikler, her bir deney numunesi için elde edilen maksimum yük taşıma kapasitelerini ve bu kapasitelere karşılık gelen deformasyonları içermektedir. Bu değerler, duvarların hem rijitlik özelliklerinin hem de nihai dayanım davranışlarının değerlendirilmesinde temel parametreler olarak kullanılmıştır.

Bu kapsamlı kodlama sistemi ve elde edilen grafiksel sonuçlar, farklı duvar tipleri arasında karşılaştırma yapılmasını, sıva uygulamalarının performansa etkisinin anlaşılmasını ve yükleme yönünün hasar mekanizması üzerindeki rolünün detaylı biçimde analiz edilmesini mümkün kılmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 8 Dikey yükleme karşılaştırma grafiği



Görsel 9 Diyagonal yükleme karşılaştırma grafiği

Yapılan deney sonuçlarında elde edilen maksimum dayanım değerleri birimi kN olmak üzere aşağıda Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4 Maksimum dayanım değerleri (kN)

Dikey yükleme (c) sonuçları (kN)				
Bölme duvar türü	**Sıvasız (0)**	**Kaba sıva+ince sıvalı (1)**	**Kaba sıva+kaba alçı+karışık alçı+saten alçılı (2)**	**Kaba alçı+karışık alçı+saten alçılı (3)**
Bims tuğla	65.0994	74.2034	91.2455	91.7427
İzo tuğla	189.538	102.836	184.857	190.223
Gaz beton	146.109	139.826	139.217	137.828
Diyagonal yükleme (s) sonuçları (kN)				

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bölme duvar türü	Sıvasız (0)	Kaba sıva+ince sıvalı (1)	Kaba sıva+kaba alçı+karışık alçı+saten alçılı (2)	Kaba alçı+karışık alçı+saten alçılı (3)
Bims tuğla	5.05777	41.1822	45.537	32.644
İzo tuğla	10.3727	47.183	59.6473	24.8431
Gaz beton	50.7148	40.9936	45.4685	55.3954

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde dikey yönde yapılan yüklemeler sonucunda en yüksek dayanım değerine sahip malzeme izo tuğlaya ait kaba alçı + karışık alçı + saten alçılı numune 190.223 kN ile sağlamıştır. En düşük dayanım performansını gösteren numune ise 65.0994 kN ile sıvasız bims tuğla duvar numunesi olmuştur.

Diyagonal yüklemeler sonucunda en yüksek dayanım değerini 59.6473 kN 'lük dayanım değeri ile kaba sıva + kaba alçı + karışık alçı + saten alçı ile sıvanmış izo tuğla duvar numunesi elde etmiştir. Test sonuçları incelendiğinde diyagonal yükleme sonucunda en düşük dayanım değerini 5.05777 kN ile sıvasız bims tuğla dolgu duvar numunesi göstermiştir. Aşağıda Çizelge 5'te dikey yükleme sonucunda elde edilen verilerin yüzde artışları ile Çizelge 6'te ise diyagonal yükleme sonuçlarına ait verilerin yüzde artış değerleri verilmiştir. Yapılan karşılaştırmalarda yüzde artış değerleri tamamen sıvasız (0, kontrol numuneleri) numuneler baz alınarak yapılmıştır.

Çizelge 5 Dikey yükleme sonucundaki artış (%)

Bölme duvar türü	Sıva-1 % artış	Sıva-2 % artış	Sıva-3 % artış
Bims Tuğla	+14.00%	+40.21%	+40.91%
İzo Tuğla	Artış gözlenmedi	Artış gözlenmedi	+0.36%
Gaz beton	Artış gözlenmedi	Artış gözlenmedi	Artış gözlenmedi

Yukarıdaki Çizelge 5 incelendiğinde dikey yönde yapılan yüklemeler baz alındığında bims tuğladan oluşan dolgu duvar numuneleri uygulanan sıva çeşitlerinde dayanım değerlerinde artış gözlenmiş olup en belirgin artış değerleri alçı esaslı kaplamalarda meydana gelmiştir. Demek oluyor ki bims tuğlalar alçı esaslı kaplamalar uygulandığında duvar ile alçı arasında aderansın yüksek olduğu ve bütünleşik bir yapı oluştuğu görülmektedir. İlginç bir şekilde izo tuğla duvar numunelerine uygulanan sıva kaplamaları dikey yönde dayanım değerlerinde aşırı yönde bir artışa sebebiyet vermemiştir. Gaz beton duvar numuneleri ilginç şekilde uygulanan sıva kaplamaları ile bütünleşmeyip dikey yönde dayanım değerlerinde artış gözlenmemiştir.

Çizelge 6 Diyagonal yükleme sonucundaki artış (%)

Bölme duvar türü	Sıva-1 % artış	Sıva-2 % artış	Sıva-3 % artış
Bims Tuğla	+714.24%	+800.34%	+545.42%
İzo Tuğla	+354.88%	+475.04%	+139.50%
Gaz beton	Artış gözlenmedi	Artış gözlenmedi	+9.23%

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Çizelge 6 incelendiğinde; diyagonal yükleme sonucunda bims tuğladan oluşan dolgu duvar numunesine uygulanan sıva kaplamaları kesme dayanımını çok ciddi şekilde artırarak olumlu yönde etki etmiştir. İzo tuğladan oluşan dolgu duvar numunelerinde de aynı şekilde yapılan sıva kaplamaları kesme dayanımını ciddi oranlarda yükseltmiştir. Gaz betondan oluşan dolgu duvar numunelerinde kaba sıva+ ince sıva ve kaba sıva + kaba alçı + karışık alçı + saten alçı ile sıvama işlemlerinde kesme dayanımında artış gözlenmeyip kaba alçı + karışık alçı + saten alçı ile sıvanması durumunda ise az olsa da kesme dayanımında artış gözlenmiştir.

6.SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan deneysel çalışmada gaz beton, izo tuğla ve bims tuğladan oluşan 24 adet dolgu duvar numunesi sıvasız (kotrol numunesi), kaba sıva + ince sıva, kaba sıva + kaba alçı + karışık alçı + saten alçı ve kaba alçı + karışık alçı + saten alçılı olacak şekilde sıvandıktan sonra 12 adet dikey yönde (c) ve 12 adette diyagonal yönde (s) olmak üzere yükleme çerçevesine yerleştirilerek test edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlemiştir:

- Dolgu duvar numuneleri içinde dikey yönde yapılan yüklemeler sonucunda en yüksek dayanım değerini izo tuğlaya ait kaba alçı + karışık alçı + saten alçılı numune 190.223 kN ile sağlamıştır.
- Dikey yönde yapılan yüklemelerde en düşük dayanım değerini ise sıvasız gaz beton numunesi sağlamıştır.
- Dikey yüklemelerde sıvanın etkisi bims tuğladan oluşan dolgu duvarlarda gözle görülür seviyelerde artışa sebep olmuşken izo tuğla ve gaz beton dolgu duvar numunelerinde artış ciddi seviyelerde olmamış ya da artış gözlenmemiştir.
- Yapılan sıva uygulamaları dikey yönde dayanım değerlerinde bütün dolgu duvarlarda artışsal bir etki yaratmaması düşündürücüdür.
- Diyagonal yüklemeler incelendiğinde en yüksek dayanım değeri 59.6473kN ile kaba sıva + kaba alçı + karışık alçı + saten alçılı izo tuğla numunesinde görülmüştür. Bu da gösteriyor ki izo tuğlada uygulanan sıva kaplaması kendi arasında iyi bir aderans sağlayarak dolgu duvarla bütünleşik bir yapı oluşturmuştur. Dolgu duvarda meydana gelecek çatlaklar sıvanın etkisi ile gecikmiş olup kesme dayanımında artış gözlenmiştir.
- Diyagonal yükleme sonucunda en düşük dayanım değerini ise 5.05777kN ile sıvasız bims tuğla numunesi göstermiştir. Bims tuğladan yapılan dolgu duvarlarda yatay yönde harç kullanılmış olup dikey yönde harç kullanılmamıştır bu sebeple göçme birleşim bölgesinde meydana gelmiştir.
- Deneysel çalışmadan elde edilen verilerde bims tuğladan oluşan dolgu duvarlarda uygulanan sıva kaplaması hem dikey yönde hem de diyagonal yönde dayanım değerlerinde artışa sebebiyet vermiştir.
- İzo tuğlalarda sıva uygulaması dikey yönde sınırlı kalmıştır. Diyagonal yüklemede ise kaba sıva+ kaba alçı+ karışık alçı+ saten alçı ile sıvandığı durumda kesme dayanımda belirgin bir artış görülmüştür.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

- Gaz betondan oluşan bölme duvarlarda sıva katkısı incelendiğinde en yüksek dayanım değerlerini dikey yüklemede sıvasız olan durumda görülmüş olup diyagonal yükleme sonucunda en iyi dayanım değerini kaba alçı+ karışık alçı+ saten alçılı durumda sağlamıştır.
- Deneysel çalışma incelendiğinde dolgu duvarlarda sıva uygulaması kesme dayanımını dikey yöndeki dayanım değerine göre daha fazla etkilemiştir.
- Yapılan çalışmada kullanılan tuğla ile sıvanın etkileşimi tamamen farklılık göstermektedir. Bims tuğlalardan oluşan bölme duvarlarda bims tuğla sıva ile yüksek dayanım değerleri kazanmış olup uygulanan sıva performansta artırıcı bir etki yaratmıştır. İzo tuğlalarda ise uygulanan sıva dayanımda sınırlı katkıda bulunmuştur. Gaz betondan oluşan bölme duvarlar alçı bazlı sıvalarda dayanımda belirgin bir artış göstermiştir.

KAYNAKÇA

[1] Sağlıyan, Sibel. “Dolgu Duvarların Modellenme Yaklaşımlarının Betonarme Çerçeve Davranışına Etkisi”. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 30, sy. 2 (Eylül 2018): 165-74.

[2] Aras,Fuat.’’ Betonarme Binalarda Bölme Duvar Etkilerinin Tam Ölçekli Deneylerle Araştırılması’’. Teknik Dergi, 2018 8651-8667, Yazı 516.

[3] Asteris, P. G. (2003).’’ Lateral stiffness of brick masonry infilled plane frames. Journal of Structural Engineering’’, 129(8), 1071–1079.

[4] Bayülke,Nejat.’’ Betonarme Yapının Dolgu Duvarı ‘’, TMH- Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 426- 2003/4.

[5] Wang, M. L. (1987). Cladding performance on a full scale test frame. Earthquake Spectra, 3(1), 119-173.

[6] Sevil, T., Baran, M., Canbay, E., ‘’ Tuğla Dolgu Duvarların B/A Çerçeveli Yapıların Davranışına Etkilerinin İncelenmesi; Deneysel ve Kuramsal Çalışmalar’’, Uluslararası Mühendislik Araştırmaları ve Geliştirme Dergisi Cilt:2 Sayı:2, Haziran 2010.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

SEISMIC PERFORMANCE ASSESSMENT OF AN ILLEGAL STORY ADDED MASONRY HOUSE

Dr. Öğr. Üyesi, Alper ÖZMEN

İnönü Üniversitesi, alper.ozmen@inonu.edu.tr- 0000-0003-1335-3780

ABSTRACT

Earthquakes in Turkey are frequent and catastrophic natural events, leading to considerable loss of life and property. Recently, two catastrophic earthquakes measuring 7.6 and 7.7 on the Richter scale struck on February 6, 2023. It resulted in the loss of over 55 thousand people and caused extensive destruction to cities and towns. here are different reasons for the collapse of buildings. One of those reasons is adding illegal storeys to the buildings. Illegal buildings are structures that are built without proper authorization, legal bureaucratic approval, and often without adequate engineering oversight and inspections. In this study, seismic performance of a masonry house that was totally collapsed after 2023 Kahramanmaras Türkiye earthquake, is evaluated with Finite Element Method. Numerical modal analysis and nonlinear pushover analyses conducted. Structural response for the original design building and the illegal story added building is compared. According to the results, when an illegal story added the structural system, load carrying capacity has decreased and some damages can be occurred..

Keywords: Finite element analysis, illegal story, pushover analysis, 2023 Kahramanmaras Earthquake

1. INTRODUCTİON

Earthquakes in Turkey are prevalent and devastating geological occurrences, resulting in significant fatalities and property destruction. On February 6, 2023, two devastating

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
earthquakes with magnitudes of 7.6 and 7.7 transpired. This earthquake, documented during the era of instrumental seismology, is the most lethal recorded in Turkey. It resulted in the fatalities of over 55,000 individuals and caused significant destruction to cities and communities. Consequently, over 38,000 structures collapsed, resulting in fatalities. The seismic vulnerability of the Turkish building stock has emerged as a critical issue necessitating attention, owing to the significant repercussions of this earthquake sequence, which has impacted 11 provinces and over 10 million individuals. Numerous investigations were undertaken to assess the causes of damage or failure of structures during the 2023 Kahramanmaras earthquakes. Certain scholars examined the factors contributing to the destruction structures in regions affected by earthquakes [1–7]. These researches underscore the necessity for enhanced construction codes and retrofitting strategies to bolster the seismic resistance of structures in Turkey. Numerous studies examined the causes of damage to masonry buildings in regions impacted by earthquakes. Kahya et al. [9] used field measurements and computer approaches for seismic investigation of historic brick buildings in Hatay, Turkey. Two earthquake shocks that hit Kahramanmaraş shed light on damage. Numerical models reveal crack patterns and degradation mechanics. A component disintegrated in Defne despite substantial damage. The study suggests retrofitting to aid reconstruction and rehabilitation, enhancing seismic performance understanding in masonry structures. Mercimek [10] investigates the mechanisms of structural degradation of masonry buildings subsequent to earthquakes in Kahramanmaraş, Turkey. The investigation encompasses an evaluation of the building inventory, ground acceleration, seismic attributes, and damage patterns. The study investigates the failure mechanisms of out-of-plane and corner structures, principally attributed to inadequate connections among the walls, roof, and floor, insufficient axial stress, low material strength, inferior workmanship, and a deficiency in engineering services. Işık et al. [11] examined the structural damages of 27 mosques and minarets in Adıyaman province, Turkey, resulting from the Kahramanmaraş earthquakes on February 6, 2023. Despite considerable damage, there were no fatalities, and the primary cause was the local masters' deficiency in engineering services.

The collapse of structures is the result of a variety of factors. One of the most significant is the addition of unlawful storeys. The majority of structures in Turkey that were constructed prior to the 1990s have not received an adequate level of engineering services. Furthermore, the addition of illegitimate storeys to these structures occurs over time. An unlawful structure may be erected in a suburban area without the requisite land rights, or it may be a high-end building situated in a prestigious district. Structures that lack a formal design basis, those that deviate from the original plans, and those that have more storeys than the initial plans are considered illegal. In the aftermath of the 1999 earthquake in Turkey, which resulted in tens of thousands of deaths and substantial economic losses, authorities have failed to effectively implement the majority of the recommendations made by experts, including engineers, architects, and city planners. This underscores the necessity of a comprehensive approach to the issue of illegal construction.

In this study, the seismic performance of a building collapsed in the 2023 Kahramanmaras earthquakes was investigated. It was determined that a floor was added to the structural system of the building, which was not available in the project. The seismic performances of the building

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

conforming to the original project and the building with the added floor were compared. In order to ascertain the structure's functionality, pushover and modal analysis were implemented. The DIANA FEA software was employed to conduct the nonlinear analyses using the finite element method (FEM).

2. A BRİEF İNFORMATİON OF THE STRUCTURE

The case study is situated in Malatya, Turkey. Upon arrival at the site of the structure following the 2023 Kahramanmaras earthquake, researchers observed complete structural failure (Figure 1). The structure was built with masonry employing clay bricks, with three floors, each measuring 3 meters in height. The exterior walls measure 30 cm in thickness, whereas the interior walls range from 20 cm to 10 cm in thickness. The architectural design of the building features two balconies, located in the specified regions. The Google Maps pictures taken before to the 2023 Kahramanmaras earthquake disclose an additional narrative not included in the initial architectural designs of the structure (Figure 2).

a)Before earthquake **b) Post-earthquake**

Figure 1. Before (taken from google maps) and post-earthquake status of the building

The structure was built with masonry using clay bricks, with three floors, each measuring 3 meters in height. The exterior walls measure 30 cm in thickness, whereas the interior walls range from 20 cm to 10 cm in thickness. The architectural design of the building features two balconies, located in the specified regions. The Google Maps pictures taken before to the 2023 Kahramanmaras earthquake disclose an additional narrative not included in the initial architectural designs of the structure (Figure 2).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

a) Google maps image of the building **b) Architechtural project of the building**

Figure 2. The architechtural plan of the building and illegal storey addition

2.1. Material properties of the structure

The clay bricks utilized in the masonry wall construction measured 190 x 90 x 60 mm, with material parameters specified in Table 1 [11]. The specimen was extracted from the rubble post-earthquake to assess its composition and structural integrity.

Table 1. Some properties of clay brick

Weight (kg/pc)	γ (kg/m^3)	Thermal conductivity (W /mK)	f_c (MPa)	f_t (MPa)	ν
1.4	2100	1.07	5	0.6	0.20

This research constructed a finite element model utilizing the macro modeling approach, in which mortar and stone are represented as a singular material. Consequently, many empirical formulas proposed by researchers and standards were utilized to ascertain the qualities of the composite material [12]. Different nonlinear material models exist for masonry constructions across several finite element software applications. This study utilized DIANA FEA software for the analyses. The Total Strain-Based Crack Model (TSBCM) is the primary material model employed in the DIANA FEA software for the simulation of masonry structures. This material model was initially proposed by Vecchio and Collins (1986). The nonlinear behavior of the Total Strain-Based Crack model is controlled by the requirements for fracture energy dissipation, denoted as Gf and Gc. The method by which the model regulates the energy emitted during fracturing under tensile and compressive circumstances, respectively. The homogenized material properties of the case study structure, both linear and nonlinear, are provided in Table 2.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

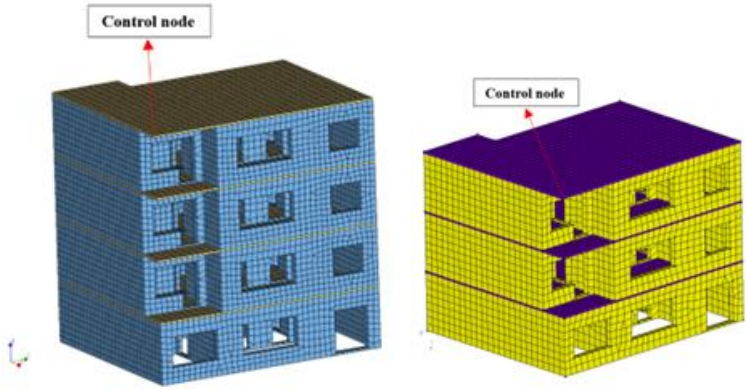
Table 2. Homogenized mechanical properties of finite element model of the building

Property	Value
E (MPa)	1850
Fc (MPa)	1.85
Ft (MPa)	0.19
$\gamma_{yığma}$ (g/cm^3)	2.04
v	0.16
Gc	4.85
Gf	0,0125

3. FİNİTE ELEMENT MODEL OF THE STRUCTURE

A finite element model (FEM) was developed with DIANA FEA finite element software [14]. The finite element analysis of the structure utilized the HX24L, PY15L, TE12L, and TP18L elements.

Two different finite element model was created. The finite element model of story-added building consists of 17672 solid elements, and 27532 nodes, while the finite element model of the original design building consists of 9470 elements, and 12666 nodes. A mesh sensitivity analysis was carried out to determine the optimum mesh size suitable for masonry. The finite element model of the structure is presented in Figure 3. The control node for the pushover analyses is indicated in Figure 3.



a) Story-added building **b) Original design building**

Figure 3. Finite element model of both buildings

4. COMPARİSON OF THE RESULTS

A modal (eigenfrequency) analysis was performed utilizing a three-dimensional finite element model (FEM) to preliminarily assess the dynamic behavior of the structure. Figure 4 illustrates the initial three mode forms and corresponding vibration frequencies of the finite element model of the structure.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

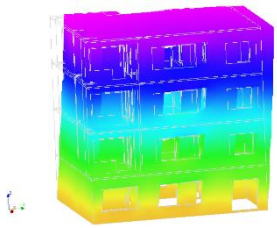
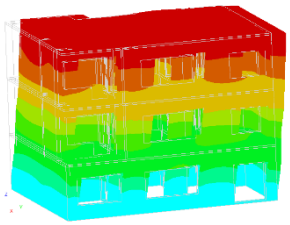
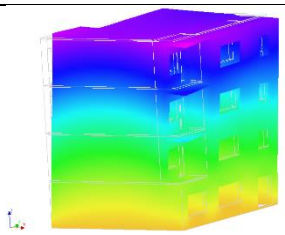
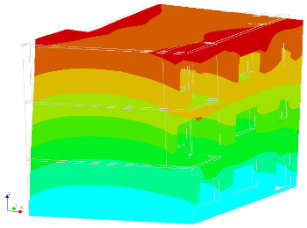
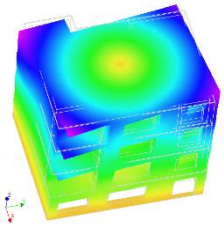
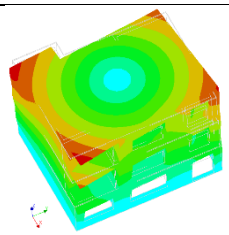
Mode Number	Story added building	Original design building
1	 *f1* = 4.04 Hz MPR y: 74.8 %	 *f1* = 5.75 Hz MPR y: 76.1 %
2	 *f2*= 5.18 Hz MPR x: 67.1 %	 *f2* = 7.77 Hz MPR x: 69.9 %
3	 *f3*=6.79 Hz MPR x: 0.08 % MPR y: 0.06 % MPR z: 0.03 %	 *f3* = 9.58 Hz MPR x: 0.01 % MPR y: 0.03 % MPR z: 0.01 %

Figure 4. First 3 Mode shapes and frequencies of the structure (MPR: Mass Participation Ratio)

Both transversal and longitudinal pushover analyses were performed to determine the buildings' lateral load-bearing capacity. This method applies progressive horizontal forces on buildings until a limit is achieved. MPA was employed in this investigation. This method generates a base shear force curve in relation to displacement at a certain control point on the structure. The capacity curve assists in assessing the load-bearing capacity of a structure subjected to

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

horizontal loads [15]. For the structures being studied, nonlinear static analyses were used to make curves that show how the base shear force-to-building weight ratio (Vt/W) changed with respect to the control node displacement. The nonlinear static results (capacity curves) were obtained from the control node (Figure 3) in both the transverse and longitudinal directions, as seen in Figure 5. The capabilities of the story-added structure and the original design project were evaluated in comparison. The non-linear static analysis indicates that the original design building withstands a maximum of 0.96 g in the transverse direction, whereas the additional storey building withstands a maximum of 0.76 g. The original design building withstands a maximum of 0.63 g in the longitudinal direction, while the additional story building resists a maximum of 0.45 g. The addition of a storey to the building resulted in a 21% reduction in capacity in the transverse direction and a 29% reduction in the longitudinal direction.

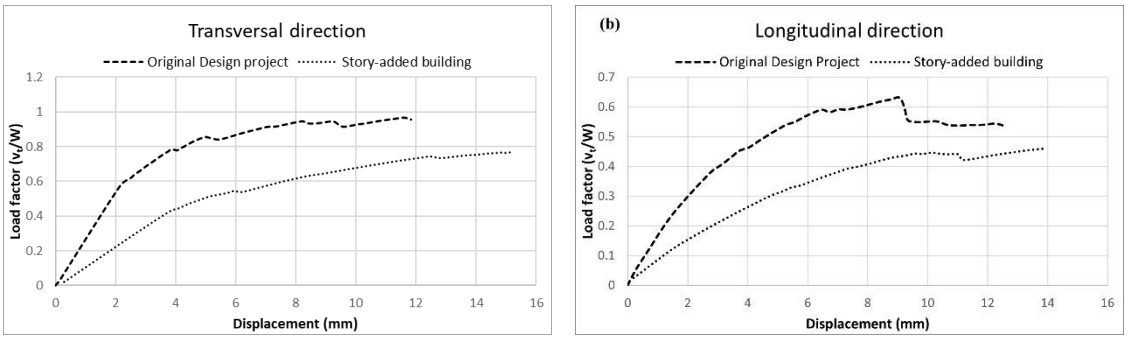


Figure 5. Capacity curves of the original project and story added building

The reduction in capacity is a significant worry as it undermines the structural integrity of the building and endangers the people during an earthquake or other natural disaster. The unauthorized construction of an additional storey has considerably compromised the structure's capacity to endure lateral and longitudinal pressures, rendering it more susceptible to failure. Following nonlinear static analyses, fracture propagation was illustrated in Figure 6.

In the original design structure, cracks generally accumulate at the peripheries of the first-floor window apertures. Cracks are evident on every level of the unauthorized structure. We noted that these fissures were localized at the peripheries of the window apertures and the 10 cm-thick inner walls. The analysis of crack patterns indicated that the original design building exhibited greater localized damage near the window openings, but the story-added building displayed more extensive cracking across its structure. The prevalence of cracks along the peripheries of window openings and interior walls signifies potential structural vulnerabilities that may be prone to additional damage or failure. The crack widths were measured in the final phase preceding collapse. The original project recorded a maximum crack width of 10.90 mm in the transverse direction and 7.79 mm in the longitudinal direction. In the newly constructed building, the largest crack width recorded was 11.05 mm in the transverse direction and 11.01 mm in the longitudinal direction.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

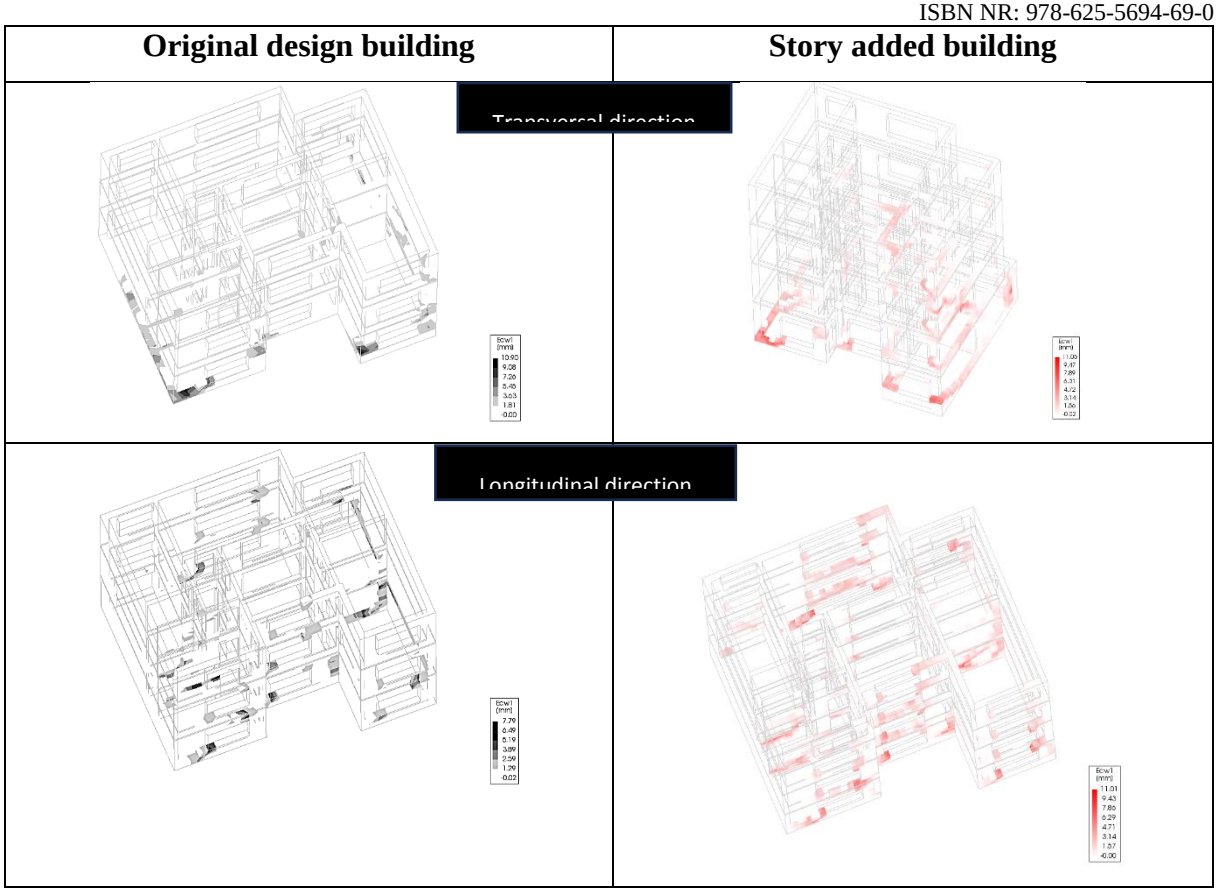


Figure 6. The maximum crack widths

5. CONCLUSİONS

This paper examines the collapse of a masonry house in Malatya province, Türkiye, following the earthquakes of 6 February 2023, which serves as the case study. The field observation and the original static project of the building reveal the existence of an unauthorized storey. This study evaluated the seismic performance of a case structure with an unauthorized additional story to its original state without the extra storey.

- When an illegal story added the building, the load capacity of building was decreased as 21% in the transversal direction and 29% in the longitudinal direction.
- In the original project, cracks typically concentrate around the edges of the first-floor window openings. Cracks are visible on all floors of the illegally added building. We observed that these cracks concentrated on the edges of the window openings and the 10 cm-thick interior walls.
- The pushover results showed that adding an illegal story added to the building reduced its load-carrying capacity. Additionally, the maximum crack width of the building in both directions was increased when an illegal story was added to the building.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

.

KAYNAKÇA

[1] İnce, O., Structural Damage Assessment of Reinforced Concrete Buildings in Adıyaman After Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes on 6 February 2023, Engineering Failure Analysis, 156, 107799, 2024.

[2] Ozturk, M., Arslan, M.H. ve Korkmaz, H.H., Effect on RC Buildings of 6 February 2023 Turkey Earthquake Doublets and New Doctrines for Seismic Design, Engineering Failure Analysis, 153, 107521, 2023.

[3] Sezgin, S.K., Sakcalı, G.B., Özen, S. ve diğerleri, Reconnaissance Report on Damage Caused by the February 6, 2023, Kahramanmaraş Earthquakes in Reinforced-Concrete Structures, Journal of Building Engineering, 89, 109200, 2024.

[4] Vuran, E., Serhatoğlu, C., Timurağaoğlu, M.Ö., Smyrou, E., Bal, İ.E. ve Livaoğlu, R., Damage Observations of RC Buildings from 2023 Kahramanmaraş Earthquake Sequence and Discussion on the Seismic Code Regulations, Bulletin of Earthquake Engineering, 1–30, 2024.

[5] Doğan, T.P., Kalkan, H., Aldemir, Ö., Ayhan, M., Böcek, M. ve Anıl, Ö., Investigation of RC Structure Damages After February 6, 2023, Kahramanmaraş Earthquake in the Hatay Region, Bulletin of Earthquake Engineering, 1–29, 2024.

[6] Binici, B., Yakut, A., Kadas, K. ve diğerleri, Performance of RC Buildings After Kahramanmaraş Earthquakes: Lessons Toward Performance Based Design, Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 22(4), 883–894, 2023.

[7] Mertol, H.C., Tunç, G., Akış, T., Kantekin, Y. ve Aydın, İ.C., Investigation of RC Buildings After 6 February 2023, Kahramanmaraş, Türkiye Earthquakes, Buildings, 13(7), 1789, 2023.

[8] Kahya, V., Genç, A.F., Sunca, F. ve diğerleri, Evaluation of Earthquake-Related Damages on Masonry Structures Due to the 6 February 2023 Kahramanmaraş–Türkiye Earthquakes: A Case Study for Hatay Governorship Building, Engineering Failure Analysis, 156, 107855, 2024.

[9] Mercimek, Ö., Seismic Failure Modes of Masonry Structures Exposed to Kahramanmaraş Earthquakes (Mw 7.7 and 7.6) on February 6, 2023, Engineering Failure Analysis, 151, 107422, 2023.

[10] Işık, E., Avcil, F., Arkan, E., Büyüksaraç, A., İzol, R. ve Topalan, M., Structural Damage Evaluation of Mosques and Minarets in Adıyaman Due to the 06 February 2023 Kahramanmaraş Earthquakes, Engineering Failure Analysis, 151, 107345, 2023.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

[11] Çağlar, H., Çağlar, A., Korkmaz, S.Z., Demirel, B. ve Bayraktar, O.Y., Geleneksel Kastamonu Evlerinin İnşasında Kullanılan El ile Üretilmiş Harman Tuğla ile Fabrikasyon Olarak Üretilen Tuğlanın Fiziksel, Mekanik ve Yapısal Karakterizasyon Özelliklerinin Karşılaştırılması, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(2), 39–48, 2018.

[12] Gönen, S. ve Soyöz, S., Seismic Analysis of a Masonry Arch Bridge Using Multiple Methodologies, Engineering Structures, 226, 111354, 2021.

[13] Vecchio, F.J. ve Collins, M.P., The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear, ACI Journal, 83(2), 219–231, 1986.

[14] DIANA FEA, User's Manual Release 10.5, The Netherlands, 2022.

[15] Minghini, F., Bertolesi, E., del Grosso, A., Milani, G. ve Tralli, A., Modal Pushover and Response History Analyses of a Masonry Chimney Before and After Shortening, Engineering Structures, 110, 307–324, 2016.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

PASTERNAK ZEMİNİ ÜZERİNDEKİ TİMOSHENKO KİRİŞLERİNİN TİTREŞİM VE BURKULMA ANALİZİ

İnşaat Mühendisi, Filiz ÇETİNKAYA

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, filiz.cetinkaya@ogr.dpu.edu.tr - 0009-0004-1145-948X

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan GÜÇLÜ

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, gokhan.guclu@dpu.edu.tr - 0000-0003-2931-9501

Doç. Dr. Uğur KAFKAS

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, ugur.kafkas@dpu.edu.tr - 0000-0003-1730-7810

ÖZET

Bu çalışmada, Pasternak elastik zemini üzerine oturan Timoshenko kirişlerinin düşey serbest titreşim ve eksenel basınç yükü altındaki burkulma davranışı incelenmiştir. Pasternak zemin modeli, zeminin düşey rijitliğine ek olarak kayma etkileşimini de dikkate alarak Winkler modelinin süreksizlik sorununu aşmaktadır. Timoshenko kiriş teorisi (TKT), narin kirişler için uygun sonuçlar veren Euler-Bernoulli teorisinin aksine, kayma deformasyonunu ve dönme ataletini analize dahil ederek özellikle kısa ve kalın kirişler için daha doğru sonuçlar sunar. Titreşim analizi kapsamında, Hamilton prensibi kullanılarak zemin ve kiriş parametrelerinin doğal frekanslar üzerindeki etkisini içeren yönetici hareket denklemleri türetilmiştir. Ayrıca bu varyasyonel yaklaşım sayesinde, denklemlerle uyumlu eşlenik sınır koşulları da formülasyonun doğal bir sonucu olarak elde edilmiştir. Hamilton prensibinin statik problemlerdeki karşılığı olan Minimum Toplam Potansiyel Enerji İlkesi esas alınarak, ele alınan sistemin yönetici burkulma denklemleri türetilmiştir. Elde edilen matematiksel model, Pasternak zeminindeki kayma direncinin, eksenel yükün destabilize edici etkisine karşı koyarak kritik burkulma yükünü artırdığını teorik olarak doğrulamaktadır. Çalışmayı desteklemek amacıyla, Ritz yöntemi kullanılarak sayısal bir örnek analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, TKT ve Pasternak zemin modelinin etkileşimini içeren dinamik ve stabilite problemlerinin analizi için tutarlı bir teorik ve sayısal çerçeve oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Timoshenko kirişi, Pasternak zemini, Burkulma, Titreşim, Hamilton prensibi, Ritz Yöntemi.

1.GİRİŞ

Zemin-Yapı Etkileşimi (ZYE), yapısal sistemlerin maruz kaldığı statik ve dinamik etkiler altında, zemin ortamı ile birlikte sergilediği ortak davranışı ifade eder. ZYE, yapısal sistemlerin kendilerine etki eden statik ve dinamik kuvvetlere zemin ortamıyla birlikte gösterdiği karşılıklı tepkime durumudur. İnşaat mühendisliğinde, özellikle dinamik ve deprem mühendisliği alanlarında ZYE temel çalışma alanlarından birini oluşturmaktadır. Söz konusu etkileşim; zemin ile temas halindeki tüm taşıyıcı sistemlerin, zemin ortamıyla birlikte hareket ederek birbirlerinin dinamik davranışlarını etkileme süreci olarak tanımlanır (Kausel, 2010; Wolf,

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1991). Geleneksel yaklaşımların aksine, ZYE'nin doğru bir şekilde modellenmesi, yapısal tasarımın güvenilirliği ve optimum performansı açısından kritik öneme sahiptir (Anand ve Satish Kumar, 2018). ZYE üzerine yapılan çalışmalar; zemin, temel ve yapı arasındaki bu etkileşimin, iç kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin yeniden dağılımına yol açması nedeniyle kritik bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu etkileşim, deprem gibi dinamik yükler altında daha da belirleyici hale gelmektedir. Dinamik yükler altında, zemin parametrelerinin ihmal edilmesi, yapıların gerçekçi olmayan dinamik rijitlikte modellenmesine ve dolayısıyla dinamik tepkilerin hatalı öngörülmesine yol açabilmektedir (Gazetas, 1983; Mourlas vd., 2020). Dolayısıyla, tasarım kuvvetlerinin doğru biçimde tahmin edilebilmesi için ZYE'nin hem statik hem de dinamik yükler altında dikkate alınması gerekmektedir (Dutta ve Roy, 2002).

Mühendislik analizlerinde, taşıyıcı eleman olarak sıklıkla ele alınan kirişler için uygun bir modelleme seçimi büyük önem arz etmektedir. Sürekli ortam modellerinin çözümünde karşılaşılan matematiksel ve sayısal güçlükler, araştırmacıları basitleştirilmiş varsayımlara dayanan mekanik modellere yöneltmiştir. Bu modeller, sürekli ortam yaklaşımlarının sunduğu teorik kesinliğe tam olarak sahip olmasalar da sağladıkları hesaplama verimliliği sayesinde, birçok mühendislik problemi için kabul edilebilir doğrulukta sonuçlar üretmektedir (Hetenyi, 1946). Kayma şekil değiştirmesi ve dönme ataletini göz ardı eden Euler-Bernoulli kiriş teorisi (EBT), özellikle narinliği düşük elemanların ve yüksek frekanslı titreşim modlarının analizinde yetersiz kalmaktadır (Levinson, 1980; Ahmed ve Rifai, 2020). Bu kısıtlamaları gidermek amacıyla, kayma deformasyonu ve dönme ataletini analize dahil eden Timoshenko kiriş teorisi (TKT) geliştirilmiş olup, kirişlerin dinamik davranışlarının daha yüksek doğrulukla modellenmesine olanak tanır (Timoshenko, 1921; Yokoyama, 1996; Elishakoff, 2020).

Ancak kiriş davranışının gerçekçi şekilde temsil edilebilmesi sadece kirişin kinematik ve mekanik özelliklerinin değil, aynı zamanda kirişin etkileşimde bulunduğu ortamın da doğru modellenmesini gerektirir. Bu gereklilik doğrultusunda; zemin ortamını matematiksel olarak idealize eden elastik zemin modelleri, ZYE problemlerinin analitik ve sayısal çözümü için temel bir çerçeve sunmaktadır. Zeminin tepkisinin modellenmesinde en yaygın kullanılan yaklaşım, tek parametreli Winkler zemin modelidir. Winkler yaklaşımı; zemin ortamını, birbirine yakın yerleştirilmiş, özdeş ve bağımsız çalışan doğrusal elastik yaylar dizisi olarak idealize eder (Winkler, 1867). Ancak bu modelde yaylar arasında herhangi bir etkileşim bulunmadığından; zemin ortamının sürekliliğinin ihmal edildiği ve yükleme sınırlarında deplasman süreksizliklerinin ortaya çıktığı bilinmektedir (Yelce vd., 2023). Söz konusu kısıtlamayı aşmak ve zemin tabakası içindeki kayma etkileşimini (shear interaction) modele yansıtabilmek amacıyla, literatürde iki ve üç parametreli zemin modelleri geliştirilmiştir (Kerr, 1964). Bu modeller arasında öne çıkan Pasternak modeli; zemin ortamını düşey yay rijitliği ve yaylar arasındaki etkileşimi sağlayan bir kayma tabakası ile temsil eder. Bu yapı, Winkler modeline kıyasla zeminin sürekliliğini ve fiziksel davranışını çok daha gerçekçi bir biçimde yansıtmaktadır (De Rosa, 1995; Kargarnovin ve Younesian, 2004; Pasternak, 1954).

Elastik zemin üzerindeki kirişlerin dinamik davranışı literatürde geniş bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Lee ve arkadaşları (1992), sonlu Pasternak zemini üzerine oturan sabit kesitli kirişlerin eğilmeli burulma serbest titreşim davranışını incelemiştir. De Rosa (1995), iki parametreli elastik zemin üzerindeki Timoshenko kirişlerinin serbest titreşimlerini incelemiş ve

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

doğal frekansların, ikinci zemin parametresinin değişimine oldukça duyarlı olduğunu göstermiştir. Yokoyama (1987), Timoshenko kirişlerinin Winkler ve Pasternak zeminleri üzerindeki serbest ve geçici titreşim davranışlarını sonlu eleman yöntemiyle analiz etmiş ve zemin parametrelerindeki değişimin kirişin dinamik rijitliğini belirgin biçimde etkilediğini göstermiştir.

TKT'nin Pasternak tipi iki-parametreli elastik zemin modeliyle birleştirilmesi, sistemin dinamik ve stabilite analizlerinde önemli sonuçlar doğurmaktadır. Bu tür karmaşık sistemlerin modellenmesinde, yönetici denklemlerin türetilmesi için Hamilton prensibi gibi enerji esaslı varyasyonel yöntemlerin etkin bir şekilde kullanıldığı görülmektedir (Deng vd., 2017; Yas ve Samadi, 2012). Ayrıca, diferansiyel denklemlerin ayrıklaştırılması amacıyla; Ritz yöntemi gibi yaklaşımların kullanılması, literatürde yaygın ve etkili bir uygulama olarak kabul görmektedir (Kumar, 2018).

Bu çalışmada, Pasternak zemini üzerindeki Timoshenko kirişlerinin serbest titreşim davranışı için yönetici denklemler Hamilton prensibi ile; burkulma analizi için gerekli formülasyon ise minimum toplam potansiyel enerji ilkesi kullanılarak türetilmiştir. Elde edilen stabilite denklemlerinin sayısal çözümü için Ritz yöntemi uygulanmıştır. Bu doğrultuda çalışmanın amacı; Pasternak zeminine ait kayma parametresi ve diğer zemin-kiriş özelliklerinin, sistemin kritik burkulma yükleri üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır.

2.TEORİK MODELLEME

2.1. Timoshenko Kiriş Teorisi

TKT, özellikle kısa ve kalın kirişlerin veya yüksek frekanslı titreşim problemlerinin analizinde, EBT'nin yetersiz kaldığı durumlar için geliştirilmiş bir yaklaşımdır. EBT, kiriş kesitinin daima tarafsız eksene dik kaldığını varsayarak kayma deformasyonunu ve dönme ataletini ihmal ederken, TKT bu iki önemli fiziksel etkiyi analize dahil eder.

TKT'nin temel gücü, EBT'den farklılaşan kinematik varsayımında yatar: Normallik koşulu gevşer yani enkesitler, kirişin tarafsız eksenine dik kalmak zorunda değildir.

Bu varsayım, enkesit düzleminin dönmesini (ϕ_x), kiriş ekseninin eğiminden $(-dw/dx)$ bağımsız bir değişken olarak tanımlamaya olanak tanır. Bu iki değişken arasındaki fark, değeri sıfırdan farklı ve enkesit üzerinde sabit olan düşey kayma şekil değiştirmesini (γ_{xz}) verir:

$$\gamma_{xz} = \phi_x + \frac{dw}{dx} \tag{1}$$

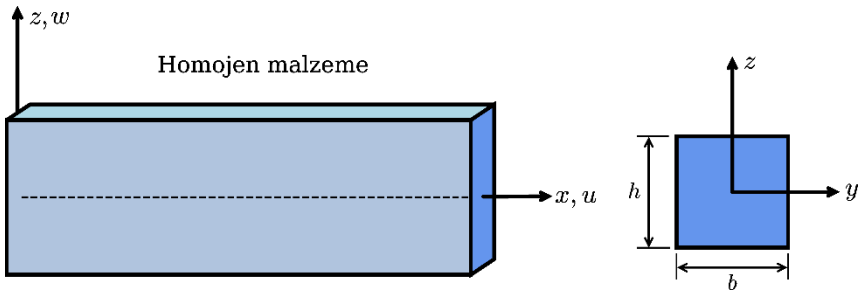
TKT kinematik varsayımlarına göre, kirişin yer değiştirme alanı şu şekilde ifade edilir (bkz. Görsel 1):

$$\begin{aligned} u_1(x,y,z) &= u(x) + z\phi_x(x) \\ u_2(x,y,z) &= 0 \\ u_3(x,y,z) &= w(x) \end{aligned} \tag{2}$$

(2) denkleminde u_1, u_2, u_3 cismin bir noktasının sırasıyla x, y, z eksen doğrultularında yapmış olduğu yer değiştirmeyi, $u(x)$ ve $w(x)$, kiriş ekseni üzerindeki noktaların x ve z ekseni

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

doğrultularındaki yer değiştirmeyi ifade etmektedir. $\phi_x(x)$ ise kiriş enkesitinin y ekseni etrafındaki dönmesidir.



Görsel 1. Kiriş geometrisi ve enkesiti

Kayma deformasyonunun analize dahil edilmesi, kesit tesirleri ile yer değiştirmeler arasındaki ilişkilerin farklılaşmasına neden olur. TKT'de, eğilme momenti (M) ve kesme kuvveti (V) genelleştirilmiş yer değiştirmeler cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$M(x) = EI\frac{d\phi_x}{dx} \tag{3}$$

$$V(x) = K_s GA\left(\phi_x + \frac{dw}{dx}\right) \tag{4}$$

Burada E elastisite modülü, I atalet momenti, G kayma modülü, A enkesit alanı, K_s kayma düzeltme katsayısıdır. TKT'nin kinematik varsayımı, düşey kayma gerilmesinin (σ_{xz}) kesit boyunca sabit olduğu sonucunu doğurur. Oysaki gerçekte, bu gerilme parabolik bir dağılıma sahiptir ve serbest yüzeylerde sıfır olmalıdır. Bu fiziksel çelişkiden kaynaklanan hata, enerji eşdeğerliği prensibi kullanılarak türetilen kayma düzeltme katsayısı ile giderilir. Katsayı, kirişin enkesit geometrisine bağlı olup, örneğin dikdörtgen kesitler için $K_s = 5/6$ değerine sahiptir. Bu sayede, TKT, basitleştirilmiş kinematik yapısına rağmen doğru sonuçlar üretir.

2.2. Pasternak Zemin Modeli

Klasik Winkler zemin modelinin en önemli kısıtı; yayların birbirinden bağımsız çalışması nedeniyle, bir noktadaki çökmenin komşu bölgelere etki etmemesi ve bunun sonucunda deformasyonda süreksizliklerin meydana gelmesidir. Bu durum, gerçekçi olmayan kayma davranışına neden olur.

Pasternak zemin modeli , bu süreksizlik sorununu gidermek amacıyla geliştirilmiştir. Pasternak modeli, temel olarak iki katmandan oluşur:

1. Winkler yay katmanı: Düşey yönde lineer elastik tepki kuvveti oluşturan bağımsız yaylardan oluşur. Bu katman, Winkler zemin yatak katsayısı (k_w) ile temsil edilir.
2. Kayma tabakası: Bu katman, birbirlerinden bağımsız olan yayların üzerine oturtulmuş, eğilme rijitliği olmayan, ancak kayma gerilmelerine direnç gösteren bir tabaka ile

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

modellenir. Kayma tabakası, kirişin düşey yer değiştirmesini (w) komşu noktalara ileterek zemin yüzeyinde süreklilik sağlar (Pasternak, 1954).

Pasternak modelinin ikinci ve ayırt edici parametresi, kayma rijitliği (G_p), zemin yüzeyinin sürekliliğini sağlayarak deneysel sonuçlara daha yakın deformasyon yayılımı elde edilmesine yardımcı olur.

Kirişin $w(x)$ kadar düşey yer değiştirmesi durumunda, Pasternak zemininden kirişe uygulanan birim uzunluk başına düşen tepki kuvveti $p(x)$, iki terimin toplamı olarak ifade edilir:

$$p(x) = k_w w - G_p \frac{d^2 w}{dx^2} \tag{5}$$

Bu ifadede yer alan birinci terim ($k_w w$) Winkler yay kuvvetini, yani düşey elastik tepkiyi temsil eder. İkinci terim $(-G_p\, d^2w/dx^2)$ ise birim uzunluğa etkiyen kayma kuvvetini temsil eder. Bu terim, zemin yüzeyinin eğriliği (d^2w/dx^2) ile orantılıdır ve komşu yaylar arasında etkileşim sağlayarak yüklemenin komşu bölgelerde de deformasyona neden olmasını sağlar; bu da fiziksel olarak daha gerçekçi bir davranıştır.

Pasternak modelinde, $G_p = 0$ alınarak sistemin Winkler zemin modeline indirgenmesi mümkündür.

2.3. Yönetici Denklemlerin Türetilmesi

Çalışmada incelenen Timoshenko kirişlerinin Pasternak zemini üzerindeki dinamik (titreşim) ve stabilite (burkulma) problemleri, analitik mekaniğin varyasyonel prensipleri kullanılarak formüle edilmiştir. Bu yaklaşımlar, sistemin hareket denklemlerini ve eşlenik doğal sınır koşullarını sistematik ve birleşik bir şekilde türetme imkânı sunar.

2.3.1. Hamilton Prensibi

Serbest titreşim gibi sistemlerin dinamik davranışlarını tanımlamak için Hamilton prensibi kullanılır. Bu prensip, sistemin t_1 ve t_2 zaman anları arasındaki gerçek hareket yörüngesinin, eylem (I) integralini durağan kıldığını belirtir:

$$\delta I = \delta \int_{t_1}^{t_2} L\,dt = 0 \tag{6}$$

Burada $L = T + W - V$, sistemin toplam Lagrange fonksiyonudur. T, kirişin ötelenme ve dönme ataletinden kaynaklanan toplam kinetik enerjiyi, W, dış kuvvetlerin işini ve V ise kirişin şekil değiştirme enerjisi ile zeminin potansiyel enerjisinin toplamını ifade etmektedir. Hamilton prensibinin uygulanmasıyla elde edilen varyasyonel ifadede; genelleştirilmiş yer değiştirmelerin türevlerini içeren terimlere kısmi integrasyon (integration by parts) uygulanarak, sistemin yönetici diferansiyel denklemleri ve bunlarla uyumlu doğal sınır koşulları türetilir.

2.3.2. Minimum Toplam Potansiyel Enerji İlkesi

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Eksenel basınç yükü altındaki burkulma problemi, statik bir stabilite problemidir ve minimum toplam potansiyel enerji ilkesi kullanılarak formüle edilir. Bu ilkeye göre, denge durumunda toplam potansiyel enerjinin birinci varyasyonu sıfır olmalıdır:

$$\delta\Pi = \delta(V_{st} + V_G) = 0 \tag{7}$$

Bu ifadede elastik şekil değiştirme enerjisi (V_{st}), kirişin eğilme, kayma deformasyonu ve zemin yay/kayma rijitlikleri tarafından depolanan enerjidir. Diğer terim olan geometrik potansiyel enerji (V_G), eksenel basınç yükünün (N_x), kirişin düşey deformasyonundan kaynaklanan eksenel kısalma üzerinde yaptığı işin potansiyel enerjisini ifade eder. Bu enerji, geometrik nonlineerlik durumunu modelleyerek burkulmayı tetikleyen destabilize edici etkiyi denklemlere dahil eder.

2.4 Pasternak Zemini Üzerindeki Timoshenko Kirişinin Serbest Titreşim Formülasyonu

Bu kısımda, Pasternak elastik zemini üzerine oturan bir Timoshenko kirişinin serbest düşey titreşim davranışı incelenmektedir. Sistem sönümsüzdür.

Analizde, kirişin düşey kayma deformasyonları ve dönme ataleti etkisi ile zeminin kayma etkileşimi birlikte değerlendirilmiştir. Hamilton prensibi kullanılarak, w ve ϕ değişkenleri için eşlenik iki hareket denklemi elde edilmiştir.

Toplam potansiyel enerji, kirişin şekil değiştirme enerjisi ile Pasternak zemininin potansiyel enerjisinden oluşmaktadır:

$$V = \frac{1}{2}\int_0^L \left[\underbrace{EI\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)^2}_{\text{kiriş eğilme}} + \underbrace{K_s GA\left(\phi + \frac{\partial w}{\partial x}\right)^2}_{\text{kiriş kayma}} + \underbrace{k_w w^2 + G_p\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2}_{\text{Pasternak zemini}} \right] dx \tag{8}$$

Timoshenko teorisi uyarınca, kirişin hem düşey ötelenmesinden hem de dönme hareketinden kaynaklanan kinetik enerjisi dikkate alınır:

$$T = \frac{1}{2}\int_0^L \left[\rho A\left(\frac{\partial w}{\partial t}\right)^2 + \rho I\left(\frac{\partial \phi}{\partial t}\right)^2 \right] dx \tag{9}$$

Hamilton prensibi uygulandığında varyasyon, her iki bağımsız değişkene göre alınır:

$$\int_{t_1}^{t_2}\int_0^L \left[\rho A\dot{w}\delta\dot{w} + \rho I\dot{\phi}\delta\dot{\phi} - EI\phi'\delta\phi' - K_s GA(\phi + w')(\delta\phi + \delta w') - k_w w\delta w - G_p w'\delta w' \right] dx\,dt = 0 \tag{10}$$

Kinetik enerji ile ilgili terimlerde zamana göre kısmi integrasyon uygulandığında:

$$\int_{t_1}^{t_2} (\rho A\dot{w}\delta\dot{w} + \rho I\dot{\phi}\delta\dot{\phi})\,dt = -\int_{t_1}^{t_2} (\rho A\ddot{w}\delta w + \rho I\ddot{\phi}\delta\phi)\,dt \tag{11}$$

Potansiyel enerji ile ilgili terimlerde konuma göre kısmi integrasyon uygulanır. Dönme terimi $(\delta\phi')$:

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$-\int_0^L EI\phi'\delta\phi' dx = \left[-EI\phi'\delta\phi\right]_0^L + \int_0^L (EI\phi')'\delta\phi dx \tag{12}$$

Düşey (kiriş kayma + zemin kayma) terimler $(\delta w')$:

$$\begin{aligned} -\int_0^L \left[K_s GA(\phi + w') + G_p w'\right]\delta w' dx = \\ \left[-\left(K_s GA(\phi + w') + G_p w'\right)\delta w\right]_0^L + \int_0^L \left[K_s GA(\phi + w') + G_p w'\right]'\delta w dx \end{aligned} \tag{13}$$

İntegral içi terimler birleştirilerek iki tane eşlenik hareket denklemi elde edilir.

1. Birinci yönetici denklem: Düşey hareket (δw)

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[K_s GA\left(\phi + \frac{\partial w}{\partial x}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial x}\left(G_p \frac{\partial w}{\partial x}\right) - k_w w = \rho A \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \tag{14}$$

   Bu denklemde; kiriş kesme kuvvetinin değişimi, Pasternak zemininden gelen kayma katkısı, zemin yay tepkisi ve kirişin eylemsizlik kuvveti dengededir.

2. İkinci yönetici denklem: Dönme hareketi $(\delta\phi)$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(EI \frac{\partial \phi}{\partial x}\right) - K_s GA\left(\phi + \frac{\partial w}{\partial x}\right) = \rho I \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \tag{15}$$

   Dönme hareketi denklemi, Winkler durumundaki denklem ile aynı formdadır; zemin parametreleri (k_w, G_p) bu denklemde doğrudan yer almaz ancak w değişkeni üzerinden sistemi etkiler.

Sınır terimleri düzenlendiğinde:

$$\left[(EI\phi')\delta\phi + \left(K_s GA(\phi + w') + G_p w'\right)\delta w\right]_0^L = 0 \tag{16}$$

$M = EI\phi', V_{eff} = K_s GA(\phi + w') + G_p w'$ fiziksel büyüklükleri ile sınır terimleri ilişkilendirildiğinde:

$$\left[M\delta\phi + V_{eff}\delta w\right]_0^L = 0 \tag{17}$$

Buna göre sınır koşulları:

1. Dönme (ϕ) için:

   Ya $\delta\phi = 0$ (Geometrik sınır koşul: Dönme engellenmiş)

   Ya da $M = 0$ (Doğal sınır koşul: Moment sıfır)

2. Düşey yer değiştirme (w) için:

   Ya $\delta w = 0$ (Geometrik sınır koşul: Çökme engellenmiş)

   Ya da $V_{eff} = 0$ (Doğal sınır koşul: Efektif kesme kuvveti sıfır)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2.5 Pasternak Zemini Üzerindeki Timoshenko Kirişinin Burkulma Formülasyonu

Bu kısımda, Pasternak elastik zemini üzerine oturan bir Timoshenko kirişinin, sabit bir eksenel basınç yükü altındaki burkulma denklemleri türetilmektedir.

Analiz, minimum toplam potansiyel enerji ilkesine dayanmaktadır. Problemde w ve ϕ olmak üzere iki bağımsız değişken bulunduğundan, varyasyonel işlem sonucunda eşlenik iki diferansiyel denklem elde edilir.

Sistemin toplam potansiyel enerjisi, şekil değiştirme enerjisi ile dış eksenel yükün geometrik potansiyel enerjisinin toplamıdır. Şekil değiştirme enerjisi, kirişin şekil değiştirme enerjisi ile Pasternak zemininin potansiyel enerjisinden oluşur:

$$V_{st}=\frac{1}{2}\int_0^L\left[\underbrace{EI\left(\frac{d\phi}{dx}\right)^2+K_sGA\left(\phi+\frac{dw}{dx}\right)^2}_{\text{kiriş}}+\underbrace{k_ww^2+G_p\left(\frac{dw}{dx}\right)^2}_{\text{Pasternak zemini}}\right]dx \tag{18}$$

Geometrik potansiyel enerji, eksenel basınç yükünün kirişin düşey yer değiştirmesinden kaynaklanan geometrik kısalma üzerinde yaptığı işin potansiyelidir:

$$V_G=-\frac{1}{2}\int_0^L N_x\left(\frac{dw}{dx}\right)^2dx \tag{19}$$

Tüm terimler birleştirildiğinde toplam potansiyel enerji fonksiyoneli:

$$\Pi=\frac{1}{2}\int_0^L\left[EI(\phi')^2+K_sGA(\phi+w')^2+k_ww^2+(G_p-N_x)(w')^2\right]dx \tag{20}$$

Bu ifadede, Pasternak zemininden gelen G_p terimi ile eksenel yükten gelen $-N_x$ terimi, w' değişkeninin karesi parantezinde birleşir. Bu durum, zemin kayma rijitliğinin eksenel yüke karşı doğrudan direnç gösterdiğini matematiksel olarak ifade eder.

Kritik burkulma yükünde enerjinin birinci varyasyonu, sıfır olmalıdır:

$$\delta\Pi=\int_0^L\left[EI\phi'\delta\phi'+K_sGA(\phi+w')(\delta\phi+\delta w')+k_w w\delta w+(G_p-N_x)w'\delta w'\right]dx=0 \tag{21}$$

Terimler gruplandırıldığında:

1. $(\delta\phi)$ terimleri:

$$EI\phi'\delta\phi'+K_sGA(\phi+w')\delta\phi \tag{22}$$

2. (δw) terimleri:

$$K_sGA(\phi+w')\delta w'+k_ww\delta w+(G_p-N_x)w'\delta w' \tag{23}$$

Türevli virtüel terimler $(\delta\phi',\delta w')$, kısmi integrasyon ile serbest bırakılır.

Eğilme terimi $(\delta\phi')$:

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$\int_0^L EI\phi'\delta\phi' dx = \left[EI\phi'\delta\phi\right]_0^L - \int_0^L (EI\phi')'\delta\phi dx \tag{24}$$

Düşey yer değiştirme terimleri $(\delta w')$:

$$\begin{aligned}&\int_0^L \left[K_s GA(\phi + w') + (G_p - N_x)w'\right]\delta w' dx \\ &= \left[(K_s GA(\phi + w') + (G_p - N_x)w')\delta w\right]_0^L - \int_0^L \left[K_s GA(\phi + w') + (G_p - N_x)w'\right]'\delta w dx\end{aligned} \tag{25}$$

Elde edilen ifadelerden, δw ve $\delta\phi$ katsayıları ayrı ayrı sıfıra eşitlenerek iki adet yönetici diferansiyel denklem elde edilir.

1. Birinci yönetici denklem: Düşey denge (δw)

$$-\frac{d}{dx}\left[K_s GA\left(\phi + \frac{dw}{dx}\right)\right] - \frac{d}{dx}\left[(G_p - N_x)\frac{dw}{dx}\right] + k_w w = 0 \tag{26}$$

$K_s GA$ ve G_p sabit olduğunda:

$$-K_s GA(\phi' + w'') - (G_p - N_x)w'' + k_w w = 0 \tag{27}$$

Bu denklemde N_x burkulmayı teşvik ederken, G_p zeminin kayma direnci ile buna karşı koyar.

2. İkinci yönetici denklem: Moment dengesi $(\delta\phi)$

$$-\frac{d}{dx}\left(EI\frac{d\phi}{dx}\right) + K_s GA\left(\phi + \frac{dw}{dx}\right) = 0 \tag{28}$$

Bu denklem, standart Timoshenko moment dengesi denklemidir. Eksenel yük ve zemin parametreleri bu denklemde açıkça görülmez, ancak sistemin eşlenik yapısı nedeniyle ϕ çözümünü etkiler.

Sınır terimleri düzenlendiğinde:

$$\left[(EI\phi')\delta\phi + \left(K_s GA(\phi + w') + G_p w' - N_x w'\right)\delta w\right]_0^L = 0 \tag{29}$$

$M = EI\phi', V_{eff} = K_s GA(\phi + w') + (G_p - N_x)w'$ fiziksel büyüklükleri ile sınır terimleri ilişkilendirildiğinde:

$$\left[M\delta\phi + V_{eff}\delta w\right]_0^L = 0 \tag{30}$$

Buna göre sınır koşulları:

1. Dönme (ϕ) için:

   Ya $\delta\phi = 0$ (Geometrik sınır koşul: Dönme engellenmiş)

   Ya da $M = 0$ (Doğal sınır koşul: Moment sıfır)

2. Düşey yer değiştirme (w) için:

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Ya $\delta w = 0$ (Geometrik sınır koşul: Çökme engellenmiş)

Ya da $V_{eff} = 0$ (Doğal sınır koşul: Efektif kesme kuvveti sıfır)

2.6. Ritz Yöntemi ve Uygulanması

Timoshenko kirişinin Pasternak zemini üzerindeki burkulma problemi için elde edilen eşlenik diferansiyel denklemlerin çözümü için, direkt varyasyonel bir yöntem olan Ritz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, problemin çözümünü, toplam potansiyel enerji gibi fiziksel bir prensibe dayanan bir fonksiyoneli minimize etme problemine dönüştürme felsefesine dayanır (Reddy, 2017).

2.6.1. Yaklaşık Çözümün Tanımlanması

Ritz yöntemi, problemin gerçek çözüm fonksiyonuna $u(x)$, sonlu sayıda bilinmeyen parametreye sahip bir yaklaşım fonksiyonu $U_N(x)$ atanmasına dayanır. Çalışmada, iki bağımsız değişken $w(x,t)$ ve $\phi(x,t)$ için yaklaşık çözümler, Ritz katsayıları (c_i) ve önceden seçilmiş yaklaşım fonksiyonlarının $\phi_i(x)$ lineer kombinasyonu şeklinde ifade edilmiştir:

$$w(x,t) \approx \sum_{i=1}^{M} c_i(t)\psi_i(x) + \psi_0(x) \qquad \phi(x,t) \approx \sum_{j=1}^{N} d_j(t)\theta_j(x) + \theta_0(x) \tag{31}$$

Bu yaklaşım fonksiyonları $(\psi_i(x)$ ve $\theta_j(x))$, çözümün yakınsaması için gerekli olan tamlık şartını sağlamalı ve en önemlisi, kirişin geometrik kısıtlamalarını temsil eden temel sınır koşullarını sağlamalıdır. Ritz yönteminin avantajı, yaklaşım fonksiyonlarının doğal sınır koşullarını sağlamak zorunda olmamasıdır.

Toplam potansiyel enerji fonksiyoneli (Π) veya Lagrange fonksiyoneli (L), yaklaşık çözümler (U_N) kullanılarak ifade edildiğinde, fonksiyoneller artık yalnızca bilinmeyen c_i ve d_j katsayılarının bir fonksiyonu haline gelir. Π'nin (veya L'nin) minimum değerini alması için gerekli koşul, her bir serbest c_i ve d_j parametresine göre kısmi türevin sıfıra eşitlenmesidir:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial c_i} = 0 \quad i = 1,2,...,M \qquad \frac{\partial \Pi}{\partial d_j} = 0 \quad j = 1,2,...,N \tag{32}$$

Bu koşulun uygulanması, bilinmeyen c_i ve d_j katsayılarının çözümünü sağlayan $M+N$ tane lineer cebirsel denklemden oluşan bir sistemle sonuçlanır. Bu sistem, sırasıyla dinamik ve stabilite problemleri için Çizelge 1'de verilen matris formlarına indirgenir:

Çizelge 1. Titreşim ve burkulma analizi için Ritz matris özdeğer denklemleri

Analiz Tipi	Yönetici Matris Formu	Belirlenen Parametre
Serbest Titreşim	$(\mathbf{K} - \omega^2\mathbf{M})\mathbf{u} = \mathbf{0}$	Doğal Frekanslar (ω)
Burkulma	$(\mathbf{K}_{st} + N_x\mathbf{K}_G)\mathbf{u} = \mathbf{0}$	Kritik Burkulma Yükleri (N_{kr})

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2.6.2 Sayısal Uygulama

Bu kısımda, teorik olarak türetilen Timoshenko kirişi - Pasternak zemini modeli için sayısal bir örnek sunularak, zemin kayma parametresi G_p'nin kritik burkulma yükü N_{kr} üzerindeki stabilize edici etkisi sayısal olarak ortaya konulmuştur. Analiz, basit mesnetli bir kiriş için Ritz yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda, kiriş genişliği $b = 0.30\,\text{m}$, yüksekliği $h = 0.50$ m ve uzunluğu $L = 5.0$ m olarak alınmıştır. Malzemenin elastisite modülü $\text{E} = 30,000,000\,\text{kN/m}^2$ ve Poisson oranı $\nu = 0.30$ olarak kabul edilmiştir. Zemin etkisi, Winkler zemin katsayısı $\text{k}_\text{w} = 5,000\,\text{kN/m}^2$ ve Pasternak kayma katsayısı $G_p = 15,000\,\text{kN}$ alınarak modellenmiştir (kayma düzeltme katsayısı $K_s = 5/6$ alındı.)

Kesit ve Malzeme Özelliklerinin Hesaplanması;

Kesit alanı:

$$A = b \times h = 0.30 \times 0.50 = 0.15\ \text{m}^2$$

Atalet momenti:

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.30 \times (0.50)^3}{12} = 0.003125\ \text{m}^4$$

Eğilme rijitliği:

$$EI = E \times I = 30,000,000 \times 0.003125 = 93,750\ \text{kNm}^2$$

Kayma modülü:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{30,000,000}{2(1+0.30)} = 11,538,461.5\ \text{kN/m}^2$$

Etkin kayma rijitliği:

$$K_s GA = \frac{5}{6} \times 11,538,461.5 \times 0.15 = 1,442,307.7\ \text{kN}$$

Burkulma yükü özdeğerleri (N_{kr}), aşağıdaki 2×2 boyutundaki matrisin determinantının sıfır olması koşulundan elde edilir:

$$\det\left(\begin{bmatrix} (K_s GA\lambda_i^2 + k_w + G_p\lambda_i^2) - N_{kr}(\lambda_i^2) & (-K_s GA\lambda_i) \\ (-K_s GA\lambda_i) & (EI\,\lambda_i^2 + K_s GA) \end{bmatrix}\right) = 0 \qquad (33)$$

Burkulma yükü genellikle $i = 1$ (ilk mod) için en küçük (kritik) değeri alır.

$$\lambda_1 = \frac{\pi}{L} = \frac{\pi}{5} \approx 0.6283\ \text{m}^{-1}, \quad \lambda_1^2 \approx 0.3948$$

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$EI\lambda_1^2 = 93,750 \times 0.3948 \approx 37,011.0 \text{ kN}$$
$$K_s GA\lambda_1^2 = 1,442,307.7 \times 0.3948 \approx 569,400.0 \text{ kN}$$
$$G_p\lambda_1^2 = 15,000 \times 0.3948 \approx 5,922.0 \text{ kN}$$

2×2 boyutundaki matrisin kurulması:

$$\det\begin{bmatrix} (569,400 + 5,000 + 5,922) - 0.3948N_{kr} & -1,442,307.7 \times 0.6283 \\ -906,201.9 & 37,011 + 1,442,307.7 \end{bmatrix} = 0$$

Determinant çözüldüğünde:

$$(580,322 - 0.3948N_{kr}) \times 1,479,319 - (-906,202)^2 = 0$$
$$858,481,273,718 - 584,035N_{kr} - 821,202,064,804 = 0$$
$$584,035N_{kr} = 37,279,208,914 \Rightarrow N_{kr} \approx 63,830.4 \text{ kN}$$

Önerilen modelin tutarlılığını doğrulamak ve zemin/kiriş parametrelerinin sisteme etkisini gözlemleyebilmek amacıyla analiz, 6 farklı senaryo için genişletilmiştir. Bu bağlamda, geliştirilen genel formülasyonda zemin kayma parametresi $G_p = 0$ alınarak sistem Winkler zemin modeline, tüm zemin parametreleri $(k_w = G_p = 0)$ sıfırlanarak ise zeminsiz duruma indirgenmiştir. Ayrıca TKT formülasyonunda kayma rijitliği sonsuz kabul edilip $(K_s GA \to \infty)$, dönme ataleti ihmal edilerek $(I_P = 0)$ EBT'ye ait sonuçlar elde edilmiş ve TKT'nin hesaba kattığı kayma deformasyonu etkisinin mertebesini belirlenmiştir. Tüm durumlar karşılaştırmalı olarak Çizelge 2'de özetlenmiş olup, burkulma yüklerindeki değişim yüzdeleri Durum 1 referans alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Farklı kiriş teorileri ve zemin modelleri altında kritik burkulma yüklerinin (N_{kr}) karşılaştırmalı analizi

Durum	Teori	Zemin Modeli	N_{kr} (kN)	Değişim
1 (referans)	EBT	Zeminsiz	37.011,00	-
2	TKT	Zeminsiz	36.084,50	% -2,5
3	EBT	Winkler	49.676,10	%34
4	TKT	Winkler	48.749,60	%32
5	EBT	Pasternak	64.676,10	%75
6	TKT	Pasternak	63.749,60	%72

Elde edilen sayısal veriler, teorik beklentilerle tam bir uyum içerisindedir (bkz. Çizelge 2). TKT, kayma deformasyonlarını formülasyona dahil ederek sistemi EBT'ye göre daha esnek modellemektedir; bu durum, zeminsiz analizlerde kritik burkulma yükünde yaklaşık %2,5'lik bir azalmaya neden olmaktadır (Çizelge 2, Durum 1 ve 2). Buna karşın Pasternak zemin modelinin devreye girmesiyle, modeldeki kayma tabakası (G_p) yükü zemin yüzeyinde dağıtarak sürekliliği sağlamakta ve sisteme önemli bir stabilize edici katkı sunmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Nitekim Pasternak modeli, sadece Winkler yayı içeren modele (Durum 4) kıyasla burkulma yükü kapasitesini belirgin oranda artırmıştır. Referans alınan zeminsiz duruma göre ise, Pasternak zeminli TKT modeli yaklaşık %72 mertebesinde (Durum 6) bir kapasite artışı sağlamaktadır. Bu bulgular, zemin kayma direncinin burkulma stabilitesi üzerindeki kritik rolünü ve önerilen modelin tutarlılığını sayısal olarak doğrulamaktadır.

KAYNAKLAR

Ahmed, A. M., & Rifai, A. M. (2021). Euler-Bernoulli and Timoshenko beam theories analytical and numerical comprehensive revision. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 6(7), 20-32. https://doi.org/10.24018/ejeng.2021.6.7.2626

Anand, V., & Satish Kumar, S. R. (2018). Seismic Soil-structure Interaction: A State-of-the-Art Review. *Structures*, *16*, 317–326. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2018.10.009

De Rosa, M. A. (1995). Free vibrations of Timoshenko beams on two-parameter elastic foundation. *Computers & Structures*, 57(1), 151-156. https://doi.org/10.1016/0045-7949(94)00594-S

Deng, H., Chen, K., Cheng, W., & Zhao, S. (2017). Vibration and buckling analysis of double-functionally graded Timoshenko beam system on Winkler-Pasternak elastic foundation. *Composite Structures*, 160, 152–168. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.10.027

Dutta, S. C., & Roy, R. (2002). A critical review on idealization and modeling for interaction among soil–foundation–structure system. *Computers & Structures*, 80(20-21), 1579-1594. https://doi.org/10.1016/S0045-7949(02)00115-3

Elishakoff, I. (2020). Who developed the so-called Timoshenko beam theory?. *Mathematics and Mechanics of Solids*, 25(1), 97-116. https://doi.org/10.1177/1081286519856931

Gazetas, G. (1983). Analysis of machine foundation vibrations: state of the art. *International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2(1), 2-42. https://doi.org/10.1016/0261-7277(83)90025-6

Hetényi, M. (1946). Beams on elastic foundation: Theory with applications in the fields of civil and mechanical engineering (Vol. 16). Ann Arbor: University of Michigan Press.

Kargarnovin, M. H., & Younesian, D. (2004). Dynamics of Timoshenko beams on Pasternak foundation under moving load. *Mechanics Research Communications*, 31(6), 713-723. https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2004.05.002

Kausel, E. (2010). Early history of soil–structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(9), 822-832. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2009.11.001

Kerr, A. D. (1964). Elastic and Viscoelastic Foundation Models. *Journal of Applied Mechanics*, 31(3), 491–498. https://doi.org/10.1115/1.3629667

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Kumar, Y. (2018). The Rayleigh–Ritz method for linear dynamic, static and buckling behavior of beams, shells and plates: A literature review. *Journal of Vibration and Control*, 24(7), 1205-1227. https://doi.org/10.1177/1077546317694724

Lee, S. Y., Kuo, Y. H., & Lin, F. Y. (1992). Stability of a Timoshenko beam resting on a Winkler elastic foundation. *Journal of Sound and Vibration*, 153(2), 193-202. https://doi.org/10.1016/S0022-460X(05)80001-X

Levinson, M. (1980). An accurate, simple theory of the statics and dynamics of elastic plates. *Mechanics Research Communications*, 7(6), 343-350.https://doi.org/10.1016/0093-6413(80)90049-X

Mourlas, C., Khabele, N., Bark, H. A., Karamitros, D., Taddei, F., Markou, G., & Papadrakakis, M. (2020). Effect of soil–structure interaction on nonlinear dynamic response of reinforced concrete structures. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 20(13), 2041013. https://doi.org/10.1142/S0219455420410138

Pasternak, P. L. (1954). On a new method of analysis of an elastic foundation by means of two foundation constants. https://ci.nii.ac.jp/naid/10018682456

Timoshenko, S. P. (1921). LXVI. On the correction for shear of the differential equation for transverse vibrations of prismatic bars. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(245), 744-746. https://doi.org/10.1080/14786442108636264

Winkler, E. (1867). Die Lehre von der Elasticitaet und Festigkeit: mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendung in der Technik, für polytechnische Schulen, *Bauakademien, Ingenieure, Maschinenbauer, Architecten, etc. H. Dominicus*.

Wolf, J. P. (1991). Classification of analysis methods for dynamic soil-structure interaction, *Proceedings Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*. University of Missouri-Rolla.

Yas, M. H., & Samadi, N. (2012). Free vibrations and buckling analysis of carbon nanotube-reinforced composite Timoshenko beams on elastic foundation. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 98, 119-128. https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2012.07.012

Yelce, T. U., Balcı, E., & Bezgin, N. Ö. (2023). A discussion on the beam on elastic foundation theory. *Challenge*, 9(1), 34-47.https://doi.org/10.20528/cjsmec.2023.01.004

Yokoyama, T. (1987). Vibrations and transient responses of Timoshenko beams resting on elastic foundations. *Ingenieur-Archiv*, 57(2), 81-90. https://doi.org/10.1007/BF00541382

Yokoyama, T. (1996). Vibration analysis of Timoshenko beam-columns on two-parameter elastic foundations. *Computers & Structures*, 61(6), 995-1007. https://doi.org/10.1016/0045-7949(96)00107-1

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

VİSKOZ AKIŞLI SÖNÜMLEYİCİLERİN KULLANILDIĞI BETONARME ÇERÇEVELERİN DEPREM PERFORMANSININ ANALİTİK İNCELENMESİ

ŞENOL KORKMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi, senol.korkmaz@std.yildiz.edu.tr – 0000-0003-3860-9201

Dr. MURAT SERDAR KIRÇIL

Yıldız Teknik Üniversitesi, kircil@yildiz.edu.tr – 0000-0003-4447-9597

ÖZET

Literatürde pasif enerji sönümleyici cihazlarının deprem etkilerini azaltmadaki etkinliği farklı yapı sistemleri üzerinde gerçekleştirilen çok sayıda deneysel ve analitik çalışma ile ortaya konulmuştur. Yapı güçlendirmesinde bu cihazlar kullanılarak hedef performans seviyelerinin tanımlanması ve buna karşılık gelen ilave sönüm oranının belirlenmesi, önemli bir araştırma konusu olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, pasif enerji sönümleyici tiplerinden biri olan viskoz akışlı sönümleyici sistemlerin kullanıldığı betonarme binaların güçlendirmesine yönelik olarak deprem performansının analitik incelenmesi amacıyla kapsamlı analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ilave sönüm oranı ile yapının hedeflenen deprem performansı arasındaki ilişki analitik bir bağlamda açıklanmıştır. Bu kapsamda, 15 katlı düzlemsel betonarme çerçeveler, farklı kesit ve donatı özelliklerine sahip kolon ve kiriş elemanları kullanılarak modellenmiş olup diyagonal çaprazlı sönümleyici cihazların iç ve dış yerleşime sahip tiplerinin deprem etkileri altındaki davranışları ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ilave sönüm oranının yapı performansı üzerindeki etkisinin, yapı–sönümleme sistemleri arasındaki etkileşimi belirleyen parametrelerle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, gerçekleştirilen kapsamlı analizler, pasif enerji sönümleyici sistemlerin kullanıldığı mevcut betonarme binaların performansa dayalı güçlendirilmesi için pratik bir öneri sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Pasif Enerji Sönümleme Cihazları, İlave Sönüm Oranı, Sismik Güçlendirme, Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Analizi.

1. GİRİŞ

Literatürde ve uluslararası şartnamelerde yaygın olarak kabul edilen yaklaşım, seyrek ve çok seyrek deprem etkileri altında göçme mekanizması oluşturmadan kontrollü yapısal hasarların oluşmasına izin verilmesi ve can güvenliğinin korunması, depreme dayanıklı tasarım felsefesinin temelini oluşturmaktadır. Bununla birlikte yapılar, elastik olmayan şekil değiştirmeler gerçekleştirerek enerji sönümleme kapasitelerini artırabilmektedir. Yapıda oluşan deprem etkilerinin azaltılması için kullanılan pasif enerji sönümleme (PES) cihazları, giren deprem enerjisinin belirli bir kısmını ısı enerjisine dönüştürerek sönümlemektedir. Sonuç

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

olarak, bu enerji sönümleme sistemleri sayesinde yapısal elemanlarda oluşan şekil değiştirme talepleri önemli ölçüde azaltılmaktadır. PES cihazlarının geliştirilmesine yönelik olarak, literatürde çok sayıda cihaz testi çalışması gerçekleştirilmiştir [1–3]. Geliştirilen bu cihazların davranışlarının incelenmesi amacıyla, test yapıları üzerinde sarsma masası deneyleri yapılmıştır [4–6]. Söz konusu deneylerden elde edilen sonuçlar, bu tür sönümleme sistemlerinin yapısal uygulamalarda etkin bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur [7,8]. Bu cihazların uygulanabilirliğinin artmasıyla birlikte, yapı davranışı üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenmiş; ardından güçlendirme uygulamalarında kullanılmaya ve optimize edilmeye başlanmıştır [9–12]. Literatürde genel kabul gören yaklaşım, PES cihazlarının mevcut yapılarda deprem riskini azalttığı, yapısal performansı iyileştirdiği ve dolayısıyla güçlendirme çalışmalarında kullanılmasının uygun olduğu yönündedir. Benzer şekilde, mevcut betonarme binaların güçlendirilmesine ilişkin bir algoritma önerisi de [13] numaralı çalışmada sunulmuştur. Bu çalışma kapsamında mevcut yapıların güçlendirilmesine yönelik analitik çalışmalar, OpenSees [14] tabanlı olarak geliştirilen bir algoritma aracılığıyla yürütülmüştür. Binaların güçlendirilmesi kapsamında geliştirilen algoritmada, PES cihazların tasarımı ve optimizasyonunu ele alan birçok çalışmada olduğu gibi yapı sistemi olarak düzlemsel çerçevelerin kullanıldığı görülmektedir [15–17]. Bina tipi yapıların güçlendirmesinde PES cihazlarının kullanımına yönelik farklı yaklaşımlar, hem uluslararası şartnamelerde hem de literatürde geniş bir şekilde ele alınmaktadır. Bu yaklaşımlar genel olarak, yerdeğiştirmeye bağlı çalışan metalik akma elemanları ve rijit-plastik (sürtünmeli) sönümleyici cihazlarının yanı sıra hıza bağlı çalışan viskoz akışkanlı ve viskoelastik sönümleyici cihazları da kapsamaktadır. Bu bağlamda, PES cihazların tasarımını kolaylaştırmak amacıyla literatürde ve şartname esaslarında yer alan performansa dayalı güçlendirme yaklaşımlarının genel olarak kuvvet, yerdeğiştirme ve ilave sönüm esaslı olmak üzere üç ana başlık altında toplandığı görülmektedir. Bu yaklaşımlardan ilki olan kuvvet esaslı yaklaşımı, deprem sırasında yapının elastik olmayan davranışını doğru biçimde temsil edememesi ve hasar potansiyelini güvenilir biçimde yansıtamaması nedeniyle bu çalışma kapsamına alınmamıştır. Geleneksel dayanım esaslı bu yaklaşımların söz konusu yetersizliği, yapının hasar potansiyelini güvenilir biçimde yansıtamaması, yerdeğiştirme talepleriyle doğrudan ilişkilendirilen bir tasarım yaklaşımının gerekliliğini ortaya koymuştur [18]. Bu kapsamda geliştirilen Doğrudan Yerdeğiştirme Esaslı Tasarım (DYET) prosedürleri dayanım yerine belirli bir limit durumuna karşılık gelen yerdeğiştirme kapasitesini esas alan alternatif deprem tasarım ve güçlendirme metodolojisi sunmaktadır [19]. DYET prosedürleri, PES cihazlarının kullanıldığı güçlendirme stratejilerine de uyarlanmıştır. Bu kapsamda, sönümleyicili çapraz elemanların kullanılması durumunda rijitlik değişiminin incelenmesi [20] ve sönümleyici cihaz kuvvetine dayalı DYET yaklaşımları [21] literatürde yer almaktadır.

Performansa dayalı deprem tasarım prosedürlerinin literatürde ve uluslararası yapı şartnamelerinde yer almasıyla birlikte, yapının elastik olmayan tepkisini ortaya koymakta yetersiz kalan geleneksel kuvvet ve yerdeğiştirme esaslı deprem tasarım yaklaşımları yerine, yapısal hasarı daha gerçekçi biçimde temsil edebilen ve plastik yerdeğiştirmeleri de dikkate alan yaklaşımlar tercih edilmektedir. Bununla birlikte, deprem etkisi altında yapının tepkisini belirleyen yapı özellikleri, sönümleme sisteminin karakteristikleri ve yerleşimleri, zemin parametreleri ve bölgenin depremselliği de dikkate alındığında, analiz yöntemlerine bağlı

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

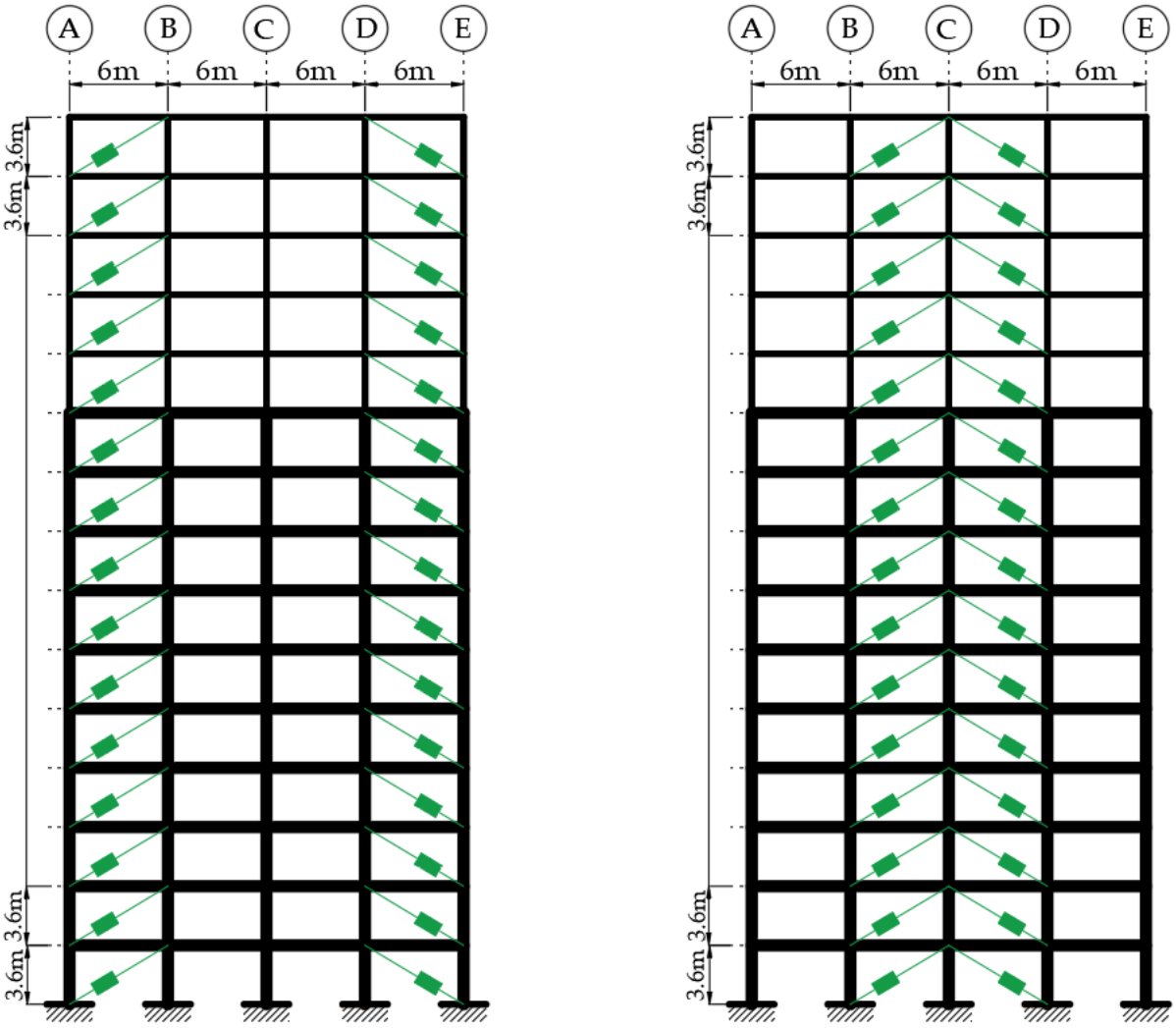
olarak uygun tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesi oldukça kapsamlı ve karmaşık bir süreç hâline gelmektedir. Bu nedenle literatürde yapılan çalışmaların çoğu belirli kabuller ve sınırlı kapsamlar çerçevesinde ele alınmıştır. Buna paralel olarak, güçlendirme sürecini kolaylaştırmak amacıyla FEMA 356 Tablo 1-6'da [22], doğrusal davranışı esas alan tepki spektrumu ve eşdeğer deprem yükü yöntemlerinde kullanılmak üzere etkin sönüm oranına bağlı sönüm katsayıları tanımlanmıştır. Bu bağlamda, PES cihazlarının kullanıldığı yapılarda plastik yerdeğiştirmeleri hesaba katan performansa dayalı tasarım ve güçlendirme prosedürlerinde ilave sönüm oranının kullanılması yeni bir yaklaşım değildir. Ancak, bu yaklaşımda ilave sönüm değerinin en baştan seçilmesi tasarımı basitleştirse de, bu değerler için gerçekleştirilen analizler ilave sönümün yapı üzerindeki katkısını yeterli doğrulukta ortaya koyamamaktadır. Bu nedenle, söz konusu ilave sönüm değerinin optimize edilebilmesi için analizlerin yinelemeli olarak tekrarlanması gerekmektedir. PES sistemlerinin kullanıldığı yapılarda ilave sönüm yaklaşımı kapsamında incelenen konular; sönüm azaltma faktörlerinin yeterliliğinin değerlendirilmesi [23], sönüm azaltma faktörleri için basitleştirilmiş matematiksel ifadelerin önerilmesi [24] ve ilave sönüm esaslı güçlendirme tasarım yaklaşımlarının araştırılması [25] şeklinde özetlenebilir.

Cihazların tarafından sönümlenen enerji miktarının artmasına bağlı olarak, histeretik enerji talebinde meydana gelen azalmanın paralelinde, yapısal elemanlarda plastik davranış sırasında oluşan hasar birikimi de azalmaktadır. Enerjideki bu değişim, ilave sönüm oranı ile temsil edilerek bir parametre olarak kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında, bina tasarım ve güçlendirmesi için hedeflenen performans seviyesine ulaşmada ilave sönümün yapının deprem performansı üzerindeki etkileri ve yapı-sönümleme sistem etkileşimi birlikte dikkate alınarak incelenecektir.

2. MODELLEME VE ANALİZ KABULLERİ

Bildiri kapsamında, yapı ile viskoz akışlı sönümleyici (VAS) cihazların birlikte kullanıldığı ve OpenSees yazılımı [14] aracılığıyla gerçekleştirilen analitik çözümlemelerde benimsenen kabuller ayrıntılı olarak bu bölümde açıklanmıştır. Bu çalışma kapsamında önerilen prosedür, pasif enerji sönümleme (PES) sistemlerinin kullanıldığı yeni yapılacak veya güçlendirilecek mevcut binalarda deprem performansı belirlenmesinde şekil değiştirme esaslı yöntemlere dayanmaktadır. Bu doğrultuda, özellikle TBEC 2018 Bölüm 5 [26] ile mevcut binaların deprem performansının belirlenmesinde kullanılan ASCE/SEI 41-23 [27] ve FEMA 356 [22] dokümanları esas alınmıştır. Bununla beraber binaların deprem performansının belirlenmesinde Eurocode 8 [28] ve TBEC 2018'de [26] tanımlanan şekil değiştirme sınırları kullanılmıştır. Bu çalışmada, simetrik bir betonarme binanın idealize edilmiş bir bölümünü temsil edecek şekilde düzlemsel çerçeve sistemleri kullanılmıştır. İncelenen yaklaşım kapsamında, PES cihazların kullanıldığı 15 katlı düzlemsel betonarme çerçeveler üzerinde incelemeler yapılmıştır. Çerçevelerin kat yükseklikleri tüm katlarda 3.6 m olarak kabul edilmiş, her bir çerçeve ise 6 m açıklığa sahip dört açıklıktan oluşmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 1. Düzlemsel Betonarme Çerçevelerin Boy Kesitleri

Düzlemsel çerçevelerin incelenmesinde, farklı kesit boyutlarına ve donatı düzenlemelerine sahip betonarme elemanları kullanılmıştır. Ayrıca, 15 katlı çerçevelerde ilk 10 katta daha büyük kesitli betonarme elemanlar tercih edilirken, üst katlarda eleman boyutları kademeli olarak azaltılmıştır. Sönümleyici sistemlerin incelenmesinde, farklı karakteristik özelliklere sahip VAS cihazlar, diyagonal konfigürasyonla iç ve dış yerleşimli olarak modellenmiştir (Görsel 1). Çalışma kapsamında, farklı betonarme eleman varyasyonlarına sahip toplam 6 adet düzlemsel betonarme çerçeve kullanılmış olup elemanların düzlem çerçevede dağılımları Çizelge 1'de verilmiştir. Betonarme elemanların kesit ve donatı özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Örnek olarak 5 numaralı çerçeve tipi için, ilk 10 kattaki kolon ve kiriş kesitleri sırasıyla KOL3 (600×600 mm) ve KIR2 (400×600 mm) olarak, üst katlarda ise kolon ve kiriş kesitleri sırasıyla KOL2 (600×600 mm) ve KIR1 (400×600 mm) olarak düzenlenmiştir. KIR1 ve KIR2 kirişlerinde sırasıyla 4φ18 ve 4φ26 nervürlü alt-üst boyuna donatı, KOL2 ve KOL3 kolonlarında ise sırasıyla 8φ18 ve 8φ24 nervürlü boyuna donatı kullanılmıştır.

Analiz modellerinde tanımlanan etkin rijitlik değerleri, ASCE/SEI 41-23 Bölüm 10.3'te [27] verilen esaslara uygun olarak belirlenmiştir. Yapının periyotları OpenSees yazılımında [14]

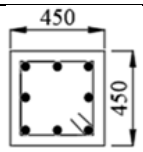
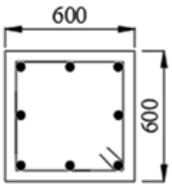
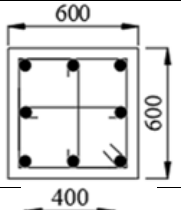
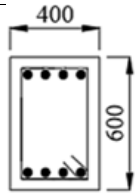
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

özdeğer analizi yapılarak bulunmuş ve doğal titreşim periyotları ile birlikte Çizelge 3'te sunulmuştur.

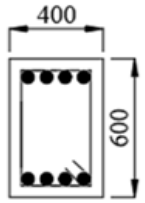
Çizelge 1. Düzlemsel Betonarme Çerçevelerde Betonarme Elemanların Dağılımı

Çerçeve No.	Kat No.	Kolon Tipi	Kiriş Tipi
1	1~10	KOL2	KIR1
	11~15	KOL1	KIR1
2	1~10	KOL2	KIR2
	11~15	KOL2	KIR1
3	1~10	KOL2	KIR2
	11~15	KOL2	KIR2
4	1~10	KOL3	KIR1
	11~15	KOL1	KIR1
5	1~10	KOL3	KIR2
	11~15	KOL2	KIR1
6	1~10	KOL3	KIR2
	11~15	KOL2	KIR2

Çizelge 2. Betonarme Taşıyıcı Elemanların Kesit Özellikleri ve Donatı Konfigürasyonu

Eleman No.	Donatı Konfigürasyonu	Kesit
KOL1	Boyuna D. 8ϕ18 Etriye 2ϕ8/200	
KOL2	Boyuna D. 8ϕ18 Etriye 2ϕ10/150	
KOL3	Boyuna D. 8ϕ24 Etriye 3ϕ10/150	
KIR1	Üst D. 4ϕ18 Alt D. 4ϕ18 Etriye 2ϕ10/200	

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

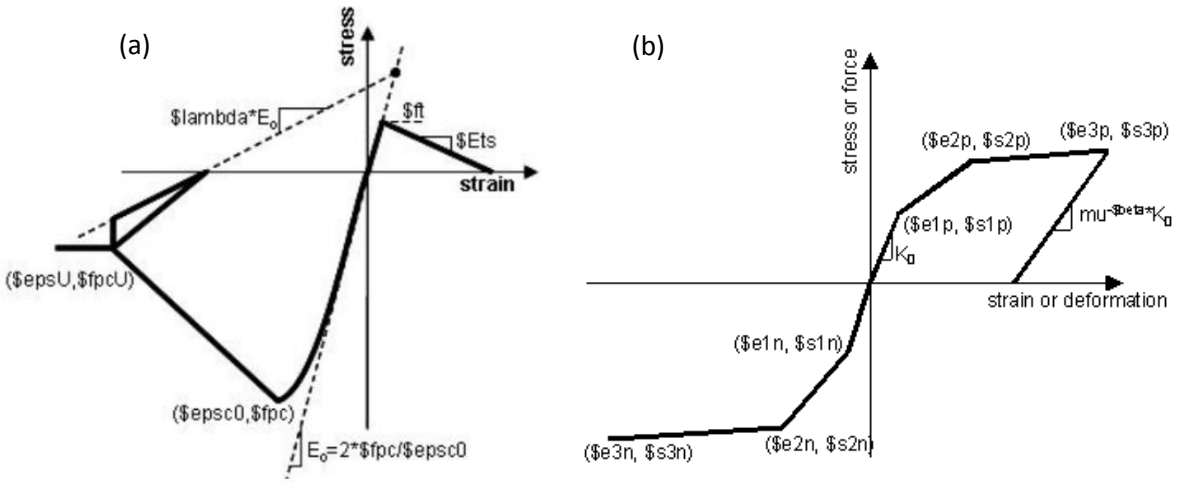
KIR2	Üst D. 4ϕ26 Alt D. 4ϕ26 Etriye 2ϕ10/200	

Çizelge 3. Düzlemsel Betonarme Çerçevelerin Doğal Titreşim Periyotları

Çerçeve No.	Mod 1 (sn)	Mod 2 (sn)	Mod 3 (sn)
1	3.56	1.21	0.69
2	3.37	1.12	0.63
3			
4	3.51	1.19	0.67
5	3.32	1.11	0.62
6			

2.1. Modal Analiz

OpenSees yazılımında oluşturulan analiz modellerinde, betonarme kesitler fiber esaslı yaklaşımla yani beton ve donatı lifler olarak modellenmiştir. Beton malzeme davranışı "Concrete02" modeli kullanılarak temsil edilmiştir (Görsel 2a). Donatı çeliğinin (Görsel 2b) çevrimsel gerilme–şekil değiştirme davranışını tanımlamak amacıyla ise "uniaxialMaterial (Hysteretic)" modeli kullanılmıştır [29]. Düzlemsel betonarme çerçeve kirişlerine ölü ve hareketli yük etkitilmiştir. Betonarme elemanlarda sırasıyla 20 MPa ve 30 MPa silindir basınç dayanımına sahip betonlar ile 420 MPa akma dayanımına sahip donatı çeliği esas alınmıştır.



Görsel 2. "Concrete02" ve "uniaxialMaterial" Malzeme Modellerine ait Gerilme–Şekil Değiştirme İlişkileri

Doğrusal olmayan analiz prosedürlerinin kullanılması durumunda, ASCE/SEI 41-23 Madde 6.2.3.1'e [27] göre bilgi düzeyi katsayısı, bu çalışma için kapsamlı bilgi düzeyi kabul edilmiştir. Benzer bir yaklaşım, TBEC 2018 Madde 15.2.12'de [26] de tanımlanmıştır.

2.2. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanında Analiz

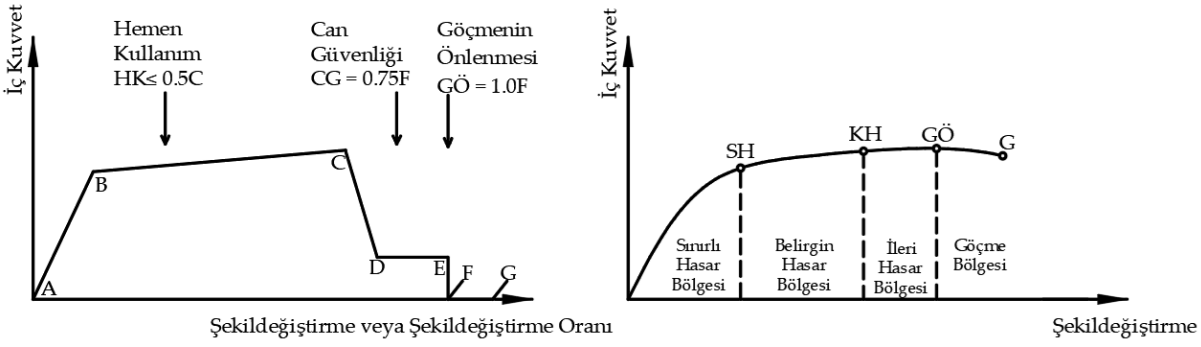
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bu çalışmada doğrusal olmayan zaman tanım alanı (ZTA)analizleri, OpenSees [14] yazılımı kullanılarak Newmark integrasyon yöntemine ($\gamma = 0.5$ ile $\beta = 0.25$ sabitleri ile) dayanan "integrator Newmark" komutu ile gerçekleştirilmiştir. Yakınsama toleransı 0.0001 olarak tanımlanmıştır. Rayleigh sönüm modeli, doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizlerinde yaygın olarak kullanılan bir yaklaşım olup OpenSees [14] yazılımında "rayleigh" komutu kullanılarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada, şekil değiştirme esaslı prosedür için kullanılan yük birleşimi TBEC 2018 Madde 5.2.2'ye [26] göre tanımlanmıştır. Betonarme yapılar için %5 içsel sönüm oranı kabul edilmiştir. Kiriş ve kolonlar OpenSees yazılımında [14] yığılı plastik mafsal kabulüyle modellenmiştir. Paulay ve Priestley [30] çalışmasına uyumlu ve mühendislik uygulamalarında yaygın olarak benimsenen pratik bir kabulle plastik mafsal uzunluğu (L□), kesit derinliğinin yarısı olarak alınmıştır. Bu çalışmada plastik mafsalların, eleman uçlarından itibaren eleman uzunluğunun %5'i kadar bir mesafede konumlandırıldığı kabul edilmiştir. Elemanların doğrusal olmayan davranışı, hem kirişlerin hem de kolonların modellenmesinde kullanılan tek eksenli, çift doğrusal histeretik malzeme modelleri ile yığılı plastik mafsal kabulleri kullanılarak OpenSees yazılımında [14] oluşturulmuştur. Plastik mafsal bölgelerindeki davranış, "Hysteretic" komutu ile tanımlanan çift doğrultulu histeretik tepkiyi takip etmektedir (Görsel 2b). Bu histeretik model, ayrıca taşıyıcı elemanın davranış sınırlarını tanımlayan çok parçalı doğrusal idealize omurga bağıntılarıyla ilişkilendirilmiş olup elemanın dayanım ile şekil değiştirme sınırlarını belirlemektedir.

2.3. Çerçeve Elemanlarının Doğrusal Olmayan Davranışı

Plastik mafsal davranış bölgelerini (elastik, plastik, göçme) gerçekçi bir şekilde temsil eden ve literatürde yaygın olarak kabul gören ASCE/SEI 41-23 [27] tarafından tanımlanan omurga eğrileri Görsel 3a'da sunulmuştur. Bu çok parçalı doğrusal idealize şekil, A ile B noktaları arasındaki elastik davranış bölgesini, B ile E noktaları arası plastik davranış bölgesini temsil etmektedir. Plastik bölgede C–D aralığı ani bir dayanım kaybını, D–E aralığı ise dayanım kaybının yataylaştığı bölgeyi göstermekte olup, E noktasından sonra elemanın taşıyıcı kapasitesi etkin biçimde kaybolmakta ve göçme meydana gelmektedir. Buna karşılık, TBEC 2018 [26] kapsamında tanımlanan ve performans kriterlerini içeren omurga grafiğinde (Görsel 3b), plastik bölge içerisinde ani dayanım kaybı tarifleyen bir bölge tanımlanmamıştır. Bu omurga eğrisinde, Sınırlı Hasar (SH) noktasına kadar elastik davranış bölgesini, SH ile Göçme (G) noktaları arası plastik davranış bölgesini temsil etmektedir. İlgili omurga grafiklerinde plastik bölge içerisinde üç farklı performans düzeyi tanımlanmaktadır. TBEC 2018 [26] yönetmeliği ile performans tanımlarında küçük farklılıklar bulunmakla birlikte, ASCE/SEI 41-23 [27] yönetmeliği esas alındığında betonarme elemanlar için performans sınırları; Hemen Kullanım (HK) / Sınırlı Hasar (SH), Can Güvenliği (CG) / Kontrollü Hasar (KH) ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) / Göçme Öncesi (GÖ) olarak tanımlanmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 3. Doğrusal Olmayan Prosedürler için Omurga Eğrileri ve Performans Kabul Kriterleri

Bu çalışmada kullanılan performans düzeylerine ait sınır bağıntıları, Eurocode 8-3 [28] ve TBEC 2018 [26] yönetmeliklerinin yaklaşımları esas alınmıştır. Betonarme elemanlarda sargılı beton için performans sınır durumları ise TBEC 2018 esasları kapsamında değerlendirilmiş olup Çizelge 4'te verilmiştir.

Bu çalışmada, bina önem katsayısı 1.0 olan konut, işyerleri ve benzeri yapılar incelenmiş olup DD2 (tasarım depremi) düzeyinde Kontrollü Hasar performans seviyesi hedeflenmektedir.

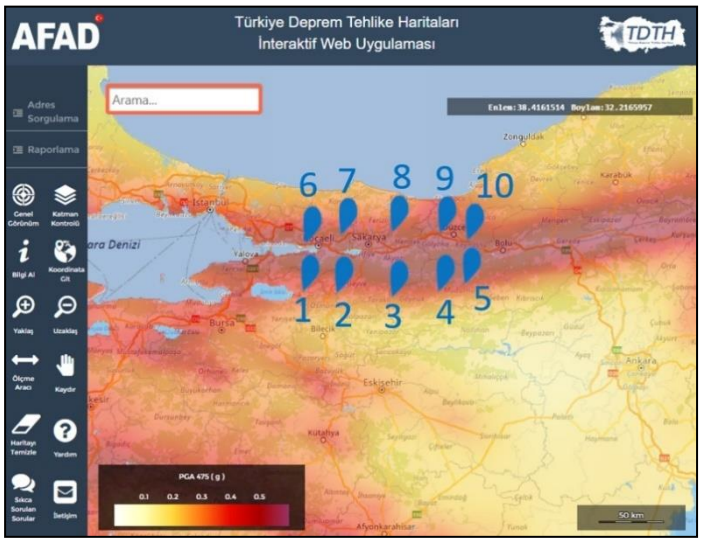
Çizelge 4. Betonarme Elemanların Performans Sınır Değerleri

Eleman No.	Eksenel Kuvvet (kN)	Sınırlı Hasar Sınırı (rad)	Kontrollü Hasar Sınırı (rad)	Göçme Öncesi Hasar Sınırı (rad)
KOL1	220	0.0001	0.0118	0.0157
	0	0.0001	0.0128	0.0170
	-1200	0.0001	0.0040	0.0054
	-2400	0.0001	0.0026	0.0034
KOL2	220	0.0001	0.0118	0.0157
	0	0.0001	0.0128	0.0170
	-1200	0.0001	0.0040	0.0054
	-2400	0.0001	0.0026	0.0034
KOL3	220	0.0001	0.0118	0.0157
	0	0.0001	0.0128	0.0170
	-1200	0.0001	0.0040	0.0054
	-2400	0.0001	0.0026	0.0034
KIR1	-	0.0001	0.0118	0.0158
KIR2	-	0.0001	0.0134	0.0178

2.4. Depremsellik

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Yapı tasarımı ve güçlendirmesine ilişkin araştırmalar ve uluslararası yapı ile deprem şartnameleri incelendiğinde, karşılaşılan zorluklardan biri, uygun yer hareketlerinin seçimi ve bu yer hareketlerinin yapıya etkilerinin değerlendirilmesidir. Bu bağlamda doğrusal veya doğrusal olmayan analizlerde elde edilecek tüm sonuçları doğrudan etkilediği için, en kritik aşama uygun deprem kayıtlarının seçilmesi ve bu kayıtların doğru biçimde ölçeklendirilmesidir. Ayrıca deprem spektrumlarının tanımlanmasında esas alınacak yerel zemin sınıfları, FEMA 450 [31] esaslarına göre belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında, betonarme düzlem çerçevelerin C zemin sınıfında bir bölgede olduğu varsayılmıştır. Spektrumların oluşturulabilmesi için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (TDTH) [32] kullanılarak Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde seçilen 10 farklı bölgede spektral ivme katsayısı okumaları (Görsel 4) gerçekleştirilmiştir.



Okuma No.	S_s	S_1	PGA(g)
1	0.915	0.269	0.384
2	0.917	0.27	0.384
3	1.188	0.339	0.487
4	0.87	0.272	0.359
5	0.976	0.297	0.404
6	0.966	0.271	0.398
7	0.928	0.263	0.382
8	0.948	0.272	0.39
9	1.022	0.291	0.423
10	0.98	0.296	0.402
Ortalama Değerler	0.971	0.284	0.401
Kabul Edilen Değerler	1	0.3	0.4

Görsel 4. TDTH'dan [32] Seçilen Bölgenin Spektral İvme Katsayı Değerleri

2.5. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklendirilmesi

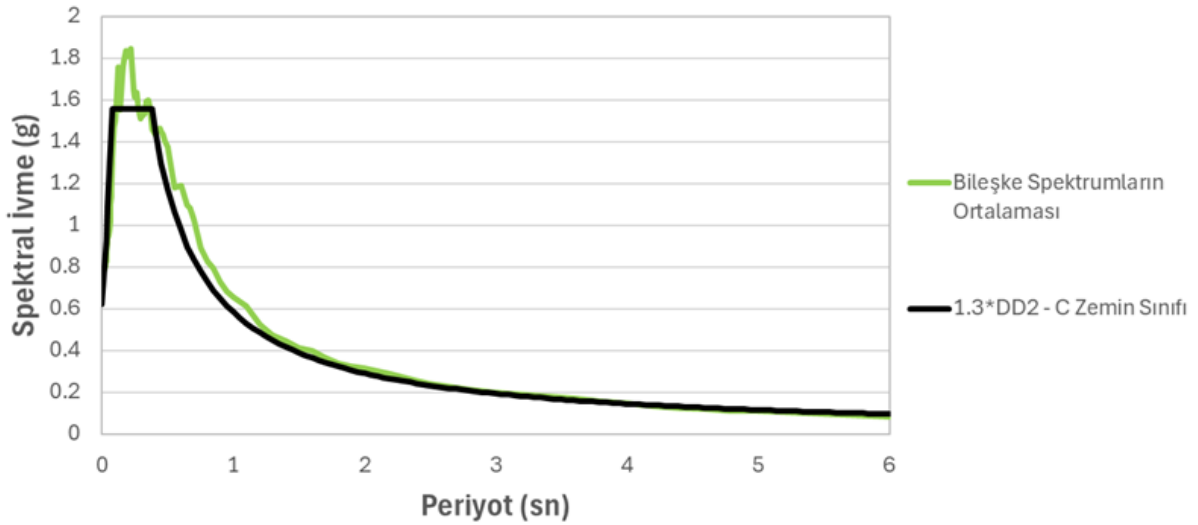
Bu çalışma kapsamında, ölçeklendirme uygulamalarında kullanılmak üzere DD2 deprem yer hareket düzeyi (50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem) esas alınmıştır. TBDY 2018'e [26] göre seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilmiştir. TBDY 2018, seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının 0.2T ve 1.5T periyotları arasındaki genliklerinin tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3'ten daha küçük olmamasını öngörmektedir. Seçilen yer hareketlerinin karakteristik özellikleri ve ölçeklendirme katsayıları Çizelge 5'te, ölçeklendirilmiş kayıtların ortalama tepki spektrumu ise Görsel 5'te sunulmaktadır. T, ele alınan yapının doğal titreşim periyodudur.

Çizelge 5. TBEC 2018'e [26] göre C Sınıfı Zemin için Ölçeklendirme Çizelgesi

Deprem İsmi	Deprem Yılı	İstasyon İsmi	Yer Kaydı No.	Magnitüd	Ölçeklendirme Katsayıları
Kern County	1952	Taft Lincoln School	15	7.36	2.85
Loma Prieta	1989	Fremont - M. SJ	762	6.93	3.94

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Loma Prieta	1989	Palo Alto - SLAC Lab	787	6.93	1.29
Loma Prieta	1989	Saratoga - Aloha Ave	802	6.93	1.02
Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY029	1198	7.62	1.23
Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY052	1211	7.62	3.45
Chi-Chi, Taiwan	1999	HWA029	1278	7.62	2.44
Chuetsu-oki, Japan	2007	Joetsu, Aramaki Dist.	4852	6.80	4.32
Iwate, Japan	2008	IWT015	5623	6.90	4.47
Iwate, Japan	2008	Yuzama Yokobori	5807	6.90	2.86



Görsel 5. TBEC 2018'e [26] göre C Zemin Sınıfı için Bileşke Tepki Spektrumlarının Ölçeklendirilmiş Ortalaması

3. SÖNÜMLEYİCİ CİHAZ TASARIMI VE İLAVE SÖNÜM ORANI KABULLERİ

Pasif enerji sönümleme sistemleri arasında viskoz akışkanlı sönümleyici (VAS) cihazların kullanımı, enerji sönümleme yoluyla deprem performansını artırma yeteneği ve yapısal rijitlik özelliklerini önemli ölçüde değiştirmeden sönümleme oranını artırma özelliği nedeniyle artmıştır [33]. VAS cihazlar mevcut yapıları güçlendirmesinde uygulanabilmektedir. Hıza bağlı viskoz akışkanlı sönümleyici cihazlar için [34] raporunda;

$$F_{VAS}=C_{VAS}\,|\dot{u}|^{a}\;\sin(\dot{u}) \tag{1}$$

şekilde ifade edilebilir. Burada, cihazdaki etkin kuvvet FVAS, cihazın her iki ucu arasındaki göreli yerdeğiştirme u, cihazların sönüm katsayıları CVAS, cihazın her iki ucu arasındaki göreli hız $\dot{u}$ ve cihazın davranışını karakterize eden hızla ilişkili üstel sabiti a ile ifade edilmektedir. Doğrusal olmayan VAS cihazların için a=0.3 kabulü yapılmıştır [35].

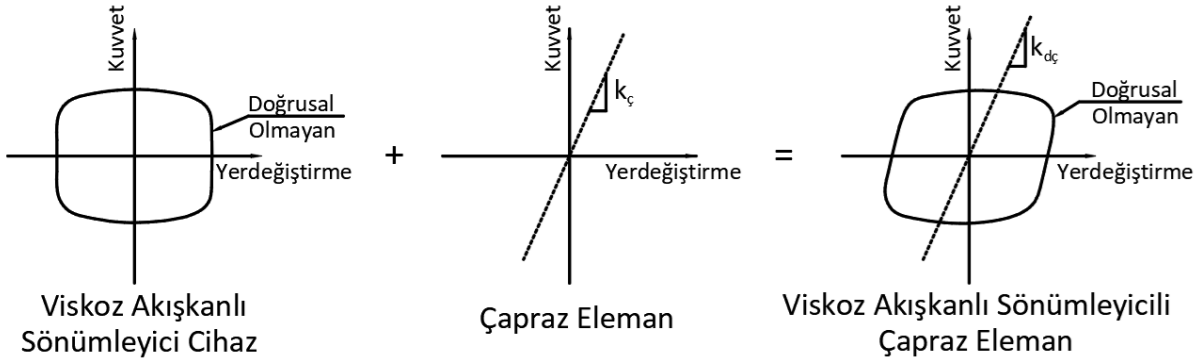
Sönüm katsayısı, idealize edilmiş sönümleyici cihazın tükettiği enerjinin, yapıdaki tüm sönümleme mekanizmalarının toplam tükettiği enerjiye eşdeğer olacak şekilde belirlenmelidir. Bu yapılan idealizasyon, "eşdeğer viskoz sönümleme" olarak adlandırılmaktadır [36]:

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$\xi_{eş} = \frac{E_D}{4\pi E_s} \quad (2)$$

burada E_D ve E_S, sırasıyla sistem tarafından sönümlenen enerji ve şekil değiştirme (gerilme) enerjisini ifade etmektedir.

Viskoz akışkanlı sönümleyici cihazların yapı sistemine kattığı ilave sönüm oranının belirlenmesinde, cihaz karakteristik özellikleri kullanılarak Denklem 2 üzerinde gerekli matematiksel dönüşümler yapılacaktır. Bu nedenle sönümleme sisteminin idealize edilmiş histeretik davranışı modeli (Denklem 1'e göre oluşturulan Görsel 6) kullanılarak sönümlediği enerji (E_D) ve yapı sistemindeki şekil değiştirme enerjisi (E_S) belirlenmiştir.



Görsel 6. VAS için İdealize Edilmiş Kuvvet–Yerdeğiştirme İlişkileri [16,35]

Bu kapsamda doğrusal olmayan viskoz akışkanlı sönümleyici cihazların rijitliği (k_d), çapraz elemanlar ($k_ç$) ve çaprazlı sönümleyici cihazların rijitliği ($k_{dç}$) ile temsil etmektedir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen yapısal analizlerde, VAS cihaz içeren sönümleme sisteminin özellikleri, Maxwell tipi viskoelastik model esas alınarak tanımlanmıştır. Analiz modellerinde kullanılan cihaz yerdeğiştirme sınırları, F_{VAS} ve C_{VAS} değerleri Çizelge 6'da özetlenmiştir.

Çizelge 6. Viskoz Akışkanlı Sönümleyicili Çapraz Elemanların Özellikleri

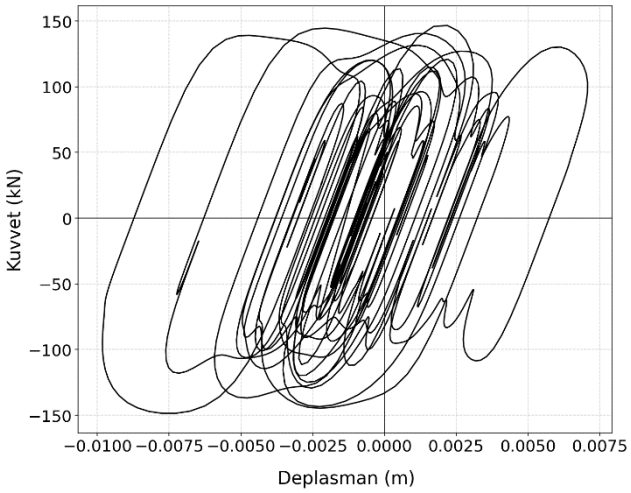
Nominal Kuvvet (kN)	Sönüm Katsayısı [kN.(s/m)^a]	Cihaz Yerdeğiştirme Sınırları (cm)	Çapraz Eleman Profilleri	Rijitlik ($k_{dç}$) (kN/m)
250	369	7.6	RHS 150X150X6.3	58300
500	738	10.2	RHS 200X200X6.3	83320

4. ANALİZ SONUÇLARI

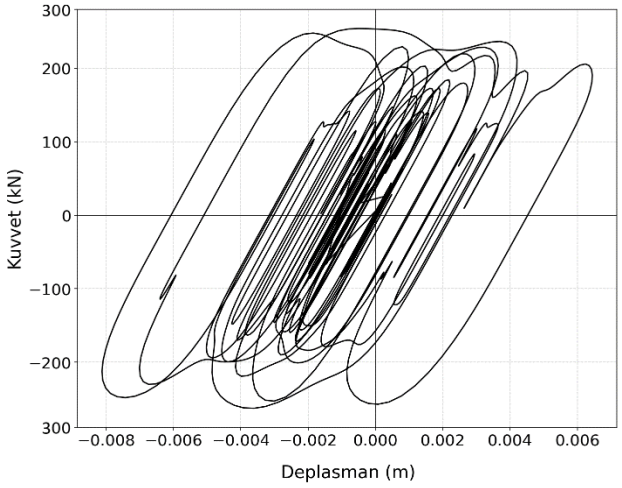
Bu bölümde, C zemin sınıfı için ölçeklendirilmiş 11 adet yer hareketi kaydı kullanılarak 15 katlı düzlem çerçeve sistemleri üzerinde gerçekleştirilen doğrusal olmayan ZTA analizlerinin sonuçları sunulmaktadır. Söz konusu analizlerden elde edilen cihaz histeretik davranışları (Görsel 7 ve 8), tepe deplasmanları (Görsel 9 ve 10), deprem giriş enerjisi ile sönümlenen enerji (Görsel 11 ve 12), ve ek sönüm oranına (Görsel 13) ilişkin ortalama değerler çeşitli sönümleyici cihaz konfigürasyonları için karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

4.1. Sönümleyici Cihaz Tipleri için Histeretik Eğriler

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

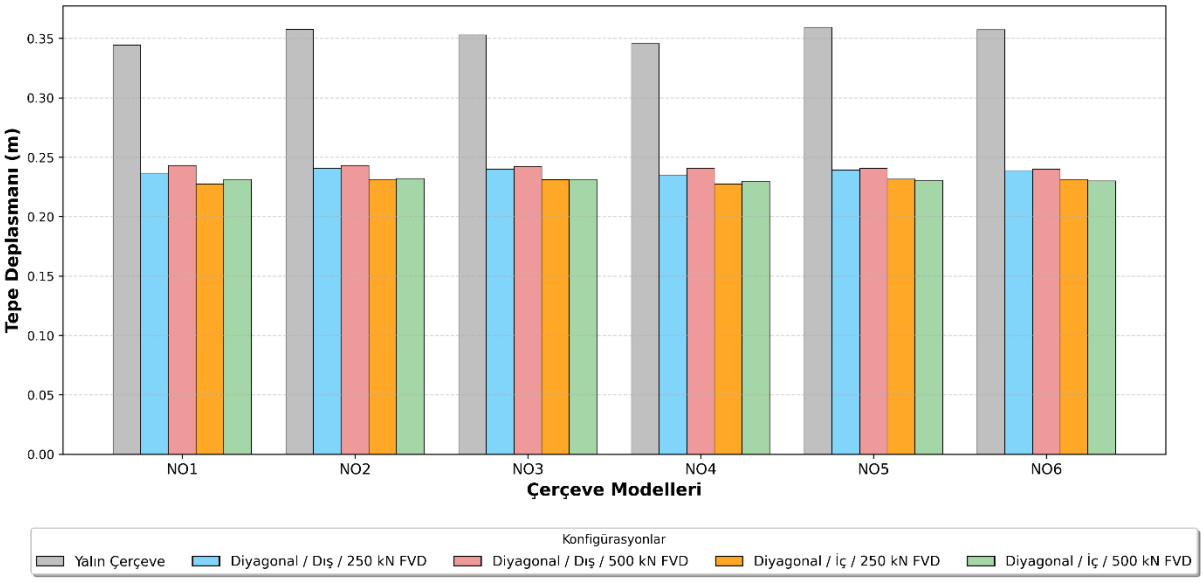


Görsel 7. VAS (Nominal Kuvvet 250 kN) için Kuvvet–Deplasman Sonuçları



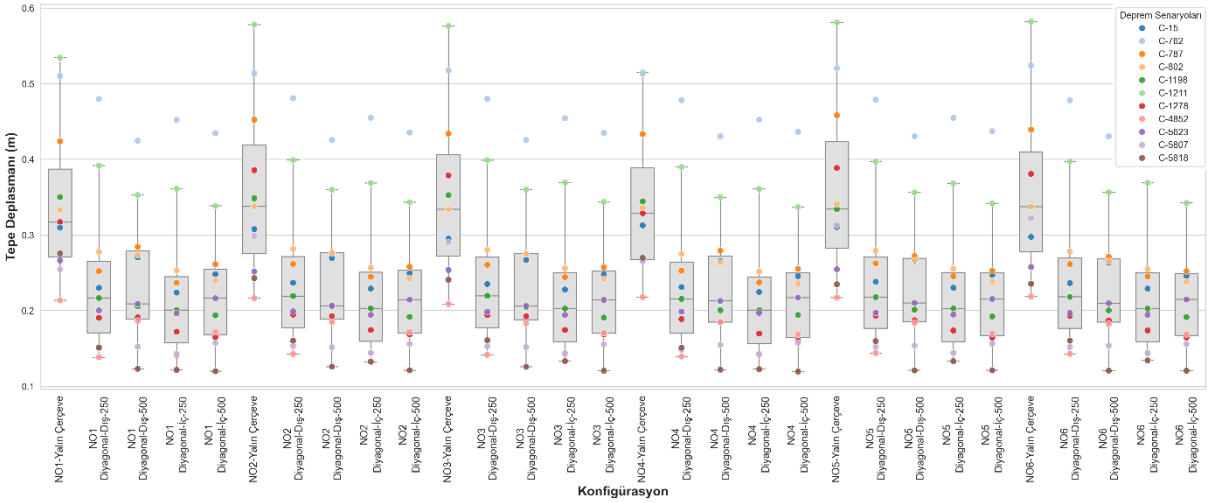
Görsel 8. VAS (Nominal Kuvvet 500 kN) için Kuvvet–Yerdeğiştirme Sonuçları

4.2. Tepe Deplasmanı



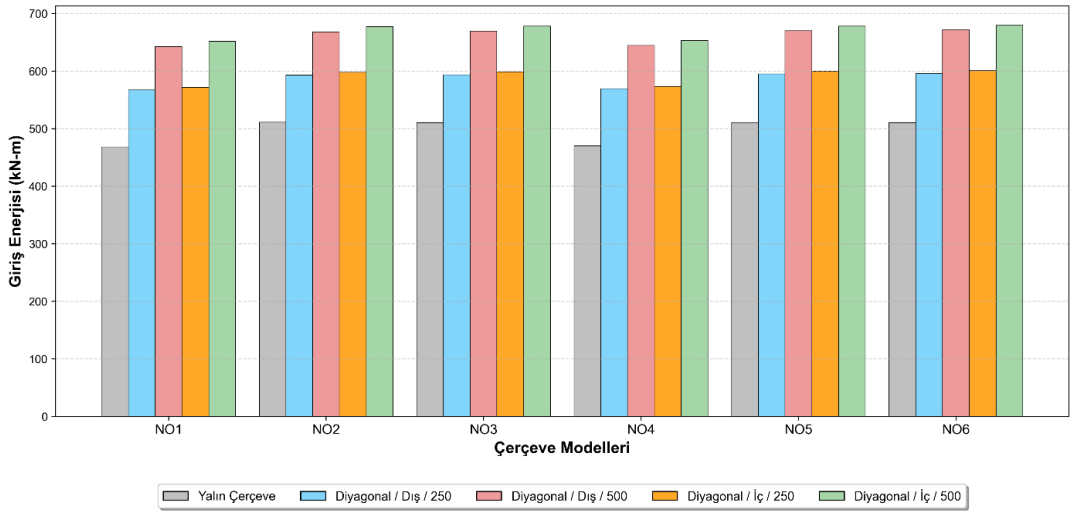
Görsel 9. 15 Katlı Çerçevelerin Tepe Deplasman Sonuçları

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

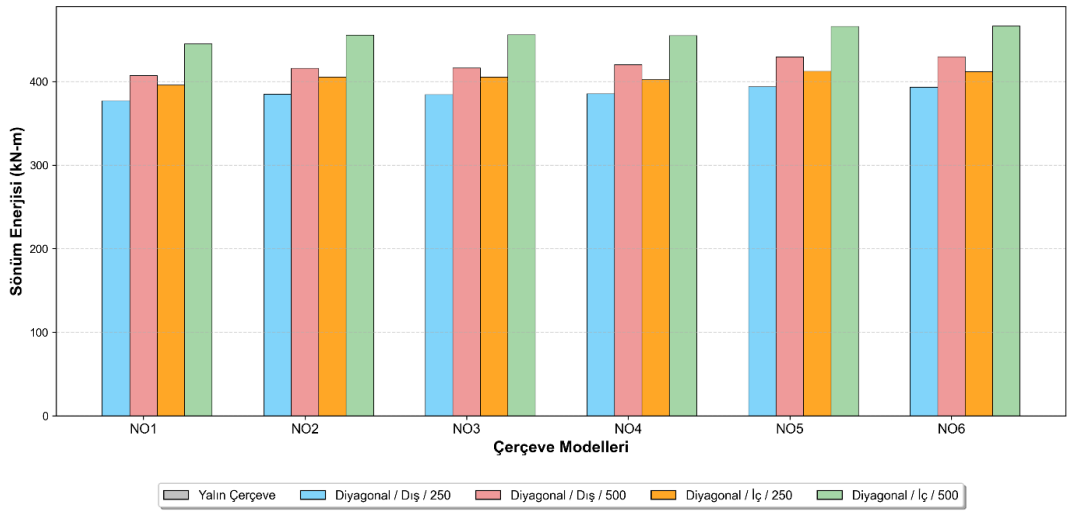


Görsel 10. 15 Katlı Çerçevelerin Tepe Deplasman Dağılım (Boxplot) Grafiği

4.3. Deprem Giriş ve Sönüm Enerjisi



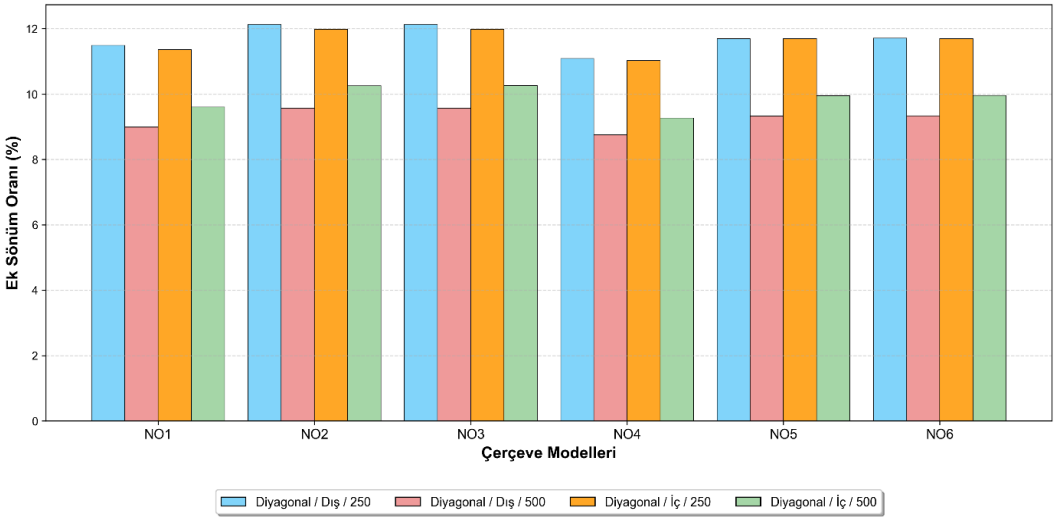
Görsel 11. 15 Katlı Çerçevelerin Deprem Giriş Enerji Grafiği



Görsel 12. 15 Katlı Çerçevelerin Sönüm Enerji Grafiği

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

4.4. Ek Sönüm Oranı

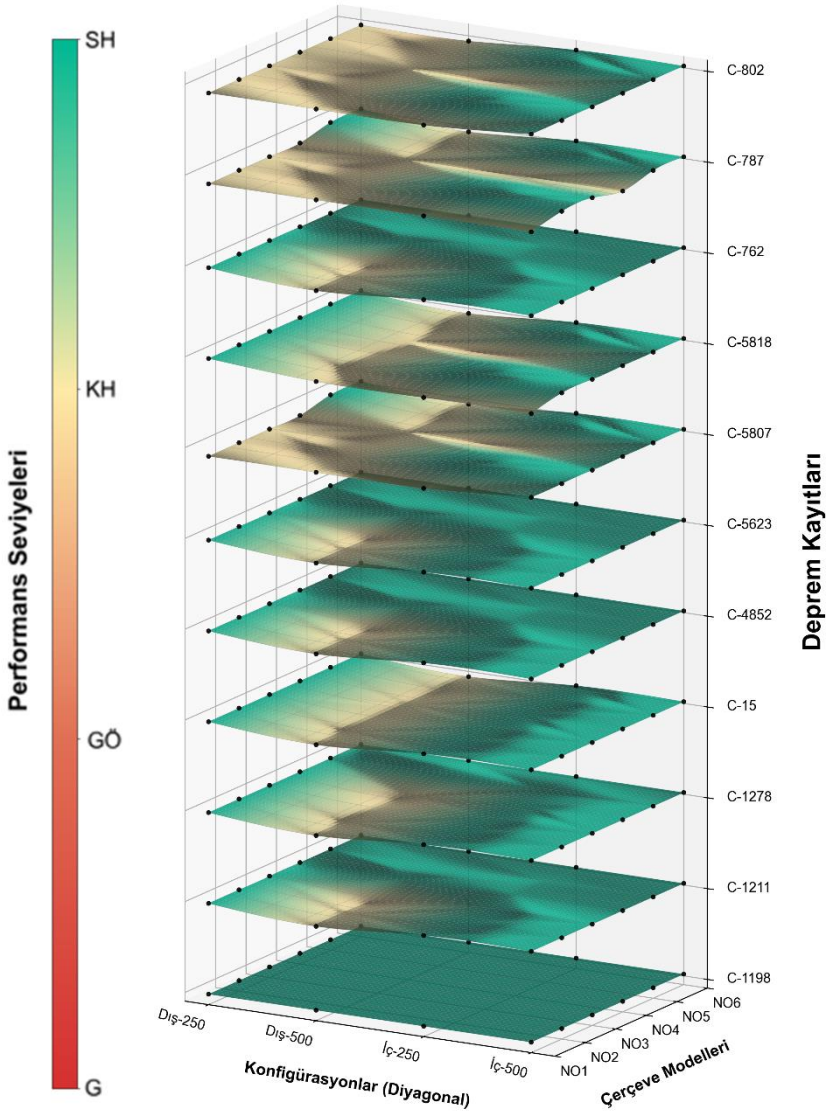


Görsel 13. 15 Katlı Çerçevelerin Ek Sönüm Oranı Grafiği

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Sönümleyici cihaz optimizasyonu yaklaşımlarında süreç boyunca konfigürasyonu ve karakteristik özelliklerde yapılan değişiklikler başlangıç kabullerinin de değişmesine neden olmaktadır. Bu durum etkileşim hâlinde olan yapı ve sönümleyici cihaz davranışlarının da değişmesine yol açarak birden fazla parametrenin etkilenmesine neden olabilir. Dolayısıyla, önerilen prosedürlerin ardışık yinelemeli analizlerle tekrarlanması gerekmektedir. Bununla birlikte, analizlerin çoğunlukla doğrusal olmayan ZTA yöntemi kullanılarak gerçekleştirildiği dikkate alındığında, söz konusu yaklaşımların pratiklikten oldukça uzaklaştığı görülmektedir. Bu nedenle yapının deprem performansı belirleyen parametreleri kullanarak analitik bir şekilde ortaya koyan bir öneri geliştirilmiştir. Bu önerini oluşturulabilmesi için C zemin sınıfı için ölçeklenmiş 11 adet deprem kaydı, 6 adet betonarme düzlemsel çerçeve ve 4 adet pasif enerji sönümleme sistemi kullanılarak doğrusal olmayan ZTA analizleri OpenSees'de gerçekleştirilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 14. 15 Katlı Çerçeveler için Deprem Performans Esaslı Öneri Grafiği

Sonuç olarak, belirleyici parametrelerin analitik olarak değerlendirildiği öneri grafiği (Görsel 14), güçlendirme sürecinde tekrarlı analizlere ihtiyaç duymaması nedeniyle pratik bir araç olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, öneri belirleyici parametrelerin kullanımı sayesinde kolay bir tahminle etkileşimli bir deprem güçlendirme sürecine olanak tanımaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu çalışmada sunulan araştırmayı etkileyebilecek herhangi bir bilinen finansal çıkar çatışmasının veya kişisel ilişkinin bulunmadığını beyan ederler.

KAYNAKÇA

1. Latour, M.; Piluso, V.; Rizzano, G. Free from damage beam-to-column joints: Testing and design of DST connections with friction pads. Eng. Struct. 2015, 85, 219–233. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.12.019

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2. Constantinou, M.C.; Symans, M.D. Experimental study of seismic response of buildings with supplemental fluid dampers. Struct. Des. Tall Build. 1993, 2, 93–132. https://doi.org/10.1002/tal.4320020203

3. Shen, K.L.; Soong, T.T. Modeling of viscoelastic dampers for structural applications. J. Eng. Mech. 1995, 121, 694–701. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(1995)121:6(694)

4. Shin, H.M.; Haroon, M.; Shin, K.J.; Lee, H.D. Dynamic response of RC frames retrofitted with friction- damped brace systems through shaking table tests. Case Stud. Constr. Mater. 2023, 20, e02725. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02725

5. Sorace, S.; Terenzi, G. Seismic protection of frame structures by fluid viscous damped braces. J. Struct. Eng. 2008, 134, 45–55. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2008)134:1(45)

6. Shen, K.L.; Soong, T.T.; Chang, K.C.; Lai, M.L. Seismic behaviour of reinforced concrete frames with added viscoelastic dampers. Eng. Struct. 1995, 17, 372–380. https://doi.org/10.1016/0141-0296(95)00020-8

7. Mrad, C.; Titirla, M.D.; Larbi, W. Comparison of strengthening solutions with optimized passive energy dissipation systems in symmetric buildings. Appl. Sci. 2021, 11, 10103. https://doi.org/10.3390/app112110103

8. Guo, T.; Xu, J.; Xu, W.; Di, Z. Seismic upgrade of existing buildings with fluid viscous dampers: Design methodologies and case study. J. Perform. Constr. Facil. 2014, 29, 04014103. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000671

9. Pall, A.S.; Marsh, C. Response of friction-damped braced frames. J. Struct. Div. 1982, 108, 1313–1323. https://doi.org/10.1061/jsdeag.0005968

10. Filiatrault, A.; Cherry, S. Seismic design spectra for friction-damped structures. J. Struct. Eng. 1990, 116, 1334–1355. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1990)116:5(1334)

11. Asgarian, B.; Shokrgozar, H.R. BRBF response modification factor. J. Constr. Steel Res. 2009, 65, 290–298. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2008.08.002

12. Tchamo, J.M.; Ying, Z. An alternative practical design method for structures with viscoelastic dampers. Earthq. Eng. Eng. Vib. 2018, 17, 459–473. https://doi.org/10.1007/s11803-018-0455-8

13. Durgun, Y. *Mevcut Betonarme Yapıların Deprem Performanslarının Belirlenmesi ve Viskoz Akışkanlı Sönümleyiciler ile Güçlendirilmesi için Artımsal Analize Dayalı Bir Algoritma*. Ph.D. Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul, Türkiye, 2013.

14. Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSees). Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), 2006.

15. Catalan, A.; Rizzo, F.; Cahis, X.; Sabba, M.F.; Foti, D. Modelling and application of buckling-restrained braces for performance-based earthquake engineering frameworks. J. Vib. Eng. Technol. 2025, 13, 1–15. https://doi.org/10.1007/s42417-024-01698-1

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

16. Lin, Y.Y.; Tsai, M.H.; Hwang, J.S.; Chang, K.C. Direct displacement-based design for buildings with passive energy dissipation systems. Eng. Struct. 2003, 25, 25–37. https://doi.org/10.1016/s0141-0296(02)00099-8

17. Hareen, C.B.V.; Mohan, S.C. Energy-based seismic retrofit and design of building frames with passive dampers. Eng. Struct. 2022, 250, 113412. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113412

18. Priestley, M.J.N. Myths and fallacies in earthquake engineering—Conflicts between design and reality. Bull. N. Z. Soc. Earthq. Eng. 1993, 26, 329–341. https://doi.org/10.5459/bnzsee.26.3.329-341

19. Priestley, M.J.N.; Calvi, G.M.; Kowalsky, M.J. Displacement-based seismic design of structures. Earthq. Spectra 2008, 24, 555–577. https://doi.org/10.1193/1.2932170

20. Mazza, F.; Vulcano, A. Control of earthquake and wind response of steel-framed buildings using viscoelastic dampers. Earthq. Eng. Struct. Dyn. 2011, 40, 155–174. https://doi.org/10.1002/eqe.1012

21. Maley, T.J.; Sullivan, T.J.; Di Corte, G. Development of a displacement-based design method for steel dual systems with buckling-restrained braces and moment-resisting frames. J. Earthq. Eng. 2010, 14, 106–140. https://doi.org/10.1080/13632461003651687

22. FEMA 356 NEHRP; Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency: Washington DC, USA, 2000.

23. Lin, Y.Y.; Chang, K.C. Study on damping reduction factor for buildings under earthquake ground motions. J. Struct. Eng. 2003, 129, 206–214. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:2(206)

24. Castillo, T.; Ruiz, S.E. Reduction factors for seismic design spectra for structures with viscous energy dampers. J. Earthq. Eng. 2014, 18, 323–349. https://doi.org/10.1080/13632469.2013.860932

25. Sorace, S.; Terenzi, G. Existing prefab RC industrial buildings: Seismic assessment and supplemental damping-based retrofit. Soil Dyn. Earthq. Eng. 2017, 94, 193–203. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.01.023

26. TBEC: Turkish Building Earthquake Code; General Directorate of Disaster and Emergency Management: Ankara, Turkey, 2018.

27. ASCE 41-23; Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. American Society of Civil Engineers: Reston, VA, USA, 2023.

28. EN 1998-3; Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Europen Committee for Standardization: Brusells, Belgium, 2005.

29. Mazzoni, S.; McKenna, F.; Scott, M.H.; Fenves, G.L. OpenSees Command Language Manual; Earthquake Engineering Research Center: Berkeley, CA, USA, 2007.

30. T. Paulay and M. J. N. Priestley, Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings; John Wiley & Sons; NY, USA, 1992.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
31. FEMA 450-1; NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures. Federal Emergency Management Agency: Washington DC, USA, 2003.

32. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları. Available online: http://tdth.afad.gov.tr/TDTH (accessed on 15 Feb. 2022).

33. Constantinou, M.C.; Soong, T.T.; Dargush, G.F. Passive energy dissipation systems for structural design and retrofit. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research 1998, MCEER Monograph No.1.

34. Constantinou, M.C.; Reinhorn, A.M.; Li, C. Experimental and analytical investigation of seismic retrofit of structures with supplemental damping, Part 1: Fluid viscous damping devices. National Center for Earthquake Engineering Research 1995, NCEER-95-0001.

35. Fluid Viscous Damper, General Guidelines for Engineers Including a Brief History. Taylor Devices Inc.: North Tonawanda, NY, USA, 2024.

36. Chopra A. K., *Dynamics of Structures*: *Theory and Applications to Earthquake Engineering*, 4th ed.; Prentice Hall: NJ, USA, 2012.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

BİGA YARIMADASINDA YER ALAN YAPISAL UNSURLARIN LANDSAT8-OLI UYDU GÖRÜNTÜSÜ İLE ÇİZGİSELLİK ANALİZİ

Dr. Erdem GÜNDOĞDU

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, erdem@comu.edu.tr - ORCID ID

ÖZET

Biga Yarımadası ve yakın çevresi, son yüzyılda meydana gelen M>5 olan depremlerle, sismik aktivite bakımından Türkiye'nin en önemli aktif yapısal unsurlarının başında gelmektedir. Biga Yarımadası'nın orta kısmında ise, (a) Yenice-Gönen Fayı (b) Sarıköy Fayı (c) Biga-Çan Fay Zonu olmak üzere 3 önemli aktif yapısal unsur bulunmakta olup, çalışma alanını oluşturmaktadır. Bu çalışmada, sözü edilen unsurların meydana getirdiği çizgiselliklerin sunduğu doğrultuların, uydu görüntüsü yardımıyla belirlenerek; literatürde var olan yapısal unsurların meydana getirdiği çizgiselliklerle karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 514 tanesi, LANDSAT8-OLI uydu görüntüsü ile ortaya çıkarılan çizgisellik; 286 tanesi literatürde 1/250.000 ölçekli diri fay haritalarında gösterilen verilerin değerlendirilmesiyle yorumlanan çizgisellik olmak üzere toplam 800 tane çizgiselliğin karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. LANDSAT8-OLI uydu görüntüsüne uygulanan çeşitli bant kombinasyonları, filtreleme ve görüntü keskinleştirme işlemlerinden sonra, 514 adet çizgisellik belirlenmiş olup, bu çizgiselliklerin baskın doğrultusunun N41°-60°E arasında yoğunlaştığı görülmüştür. LANDSAT8-OLI uydu görüntüsünden elde edilen çizgiselliklerin, literatürdeki veriler ile karşılaştırılması için ve 1/250.000 ölçekli diri fay haritasında gösterilen aktif yapısal unsurların meydana getirdiği çizgisellikler değerlendirilmiş, belirlenen 178 adet çizgiselliğin baskın doğrultusunun N41°-60°E olduğu görülmüştür. Yine 1/250.000 ölçekli diri fay haritasında gösterilen, aktivitesi şüpheli olan ve/veya çizgisellik olarak gösterilen unsurların tamamı çizgisellik olarak değerlendirilmiş, belirlenen 108 adet çizgiselliğin baskın doğrultusunun N61°-80°E olduğu görülmüştür. Bu verilerin sonucunda; LANDSAT8-OLI uydu görüntüsü ile elde edilen çizgiselliklerin, aktif yapılara ait unsurları daha iyi yansıttığı görülmektedir. Böylece, bir bölgede aktif yapıların belirlenmesi için, saha verilerinin yanı sıra, LANDSAT8-OLI uydu görüntüsü ile çizgisellik analizinin yapılması, güvenilir sonuçlar vermekte olup, özellikle saha çalışmalarından önce bölgenin yapısal unsurları hakkında fikir vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Biga Yarımadası, Çizgisellik Analizi, LANDSAT, Yapısal Unsurlar

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Jeolojik, tektonik ve jeomorfolojik özellikler, genellikle saha çalışmalarındaki gözlemler sonucu ortaya çıkarılmaktadır. Ancak büyük ölçekli yapısal unsurlar, sahada her zaman belirgin izler sunmayabilir. Bu doğrusal yapılar ve süreksizliklerin belirlenmesinde jeolojik ve jeofizik yöntemler kullanılmakta olup, 3B modelleme, özellikle yerçekimi verileri yardımıyla, jeofizik yöntemlerle doğrusal yapıların ve gömülü süreksizliklerin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Böylece, yüzey gözlemleriyle belirlenen süreksizliklere ek olarak, yeni süreksizlikler de tespit edilmiştir (Aydın vd., 2019). Ayrıca, manyetik anomali verilerinin 3B modellemesinden elde edilen sonuçlarla volkanik yapılar değerlendirildiğinde, volkanik alanların mevcut yapısal haritalarla uyumlu olduğu görülmektedir (Bektaş vd., 2013). Potansiyel alan verileri kullanılarak, bölgesel yanal tektonik araştırma kapsamında elde edilen sonuçlar, GPS ölçümleri ve mevcut tektonik verilerin tek bir haritada birleştirilmesiyle uyumluluğunu kontrol etmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Büyüksaraç, 2007). Bu tür durumlarda, saha gözlemlerinin yanı sıra, günümüzde yaygın olarak uydu görüntülerinin çeşitli yöntemlerle işlenmesi prensibine dayanan uzaktan algılama çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Böylece uzaktan algılama çalışmaları sayesinde, büyük ölçekli yapısal unsurların tanınmasında kolaylıklar sağlanmaktadır. Jeolojik çizgisellikleri haritalamak, yer bilimleri çalışmalarında oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü çizgisellikler; mineral araştırması, sismik ve risk değerlendirmesi, hidrojeolojik araştırmalar, inşaatlarda yer seçimi gibi pek çok çalışmaya temel oluşturmaktadır. Çizgisellikleri belirleme metotları genellikle optik verilerin yarı otomatik veya görsel değerlendirmesine ve sayısal yükseklik modellerine dayanır (Rahnama ve Gloaguen, 2014). Tektonik özelliklerin çoğu düz çizgisel unsurlarla ilişkilidir ve kısaca çizgisellik olarak ifade edilmektedir. Arazi koşullarının güçlüğünden dolayı bazen çok geniş alanlar arazide çalışılamamaktadır. Ayrıca bu yöntemle tüm çizgiselliklerin haritalanması da mümkün olamayabilir (Karnieli vd., 1996; Shahzad vd., 2011). Yerbilimleri ve özellikle jeoloji araştırmalarında, baskın Neotektonik dönem yapıları ve aktif tektonik unsurların belirlenmesinde sıkça kullanılan çizgisellik analizi (Süzen ve Toprak, 1998; Över vd., 2004), sadece kırık hatları, kıvrım eksenleri ve faylanmaları temsil etmeyebilir (Karaca vd., 2003). Bunun yanı sıra; vadi, sırt gibi doğrusal unsurlar olan yapısal çizgisellikler, doğanın ve topoğrafyanın tanımlanması için önemli olan unsurları da içermektedirler (O'Leary vd., 1976). Bu yüzden çizgisellikler, tüm tektonik yapıları temsil edebilir (Morelli ve Piana 2006; Oliveira vd., 2012). Yerbilimleri alanında yapılan çalışmalarında genellikle LANDSAT ve ASTER uydu görüntüleri kullanılmaktadır. Bunun nedeni bu uydu görüntülerinin; ücretsiz olarak sağlanıyor olması, kullanıcılara çok bantlı görüntü olanağı sunması, mekânsal çözünürlük olarak orta ölçekli jeolojik çalışmalara uygun olması ve büyük alan kaplayan çalışmalara olanak sağlamasıdır (Doğru ve Yücel, 2017).

Bu çalışmada, çalışma alanını; Afrika, Arap ve Avrasya Plakaları arasında yer alan Anadolu Bloğu'nun (Türkiye) batı kesiminde yer alan Biga Yarımadası oluşturmaktadır. Anadolu Bloğu ile Avrasya Plakası arasındaki sınırı oluşturan, bölgesel anlamda çok büyük bir önem taşıyan ve sismik olarak aktivitesi çok yüksek bir sismojenik zon bulunmaktadır ve literatürde "Kuzey Anadolu Fay Sistemi (NAFS)" olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1a). Biga Yarımadası, NAFS'nin batı uzantılarını bünyesinde barındıran ve son yüzyılda meydana gelen büyük depremlerle ön plana çıkan sismik aktivitesi yüksek bir alandır. Biga Yarımadasında meydana

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

gelen yıkıcı depremlere kaynaklı eden fayların başında; Yenice-Gönen Fayı, Sarıköy Fayı ve Biga-Çan Fay Zonu gelmektedir. Bu alanı kapsayan LANDSAT8-OLI uydu görüntüsü üzerinde, çeşitli bant kombinasyonları ve filtreler denenerek çizgisellik analizi yapılmıştır. Yapılan bu çizgisellik analizinden elde edilen sonuçlar, literatürde var olan ve 1/250.000 ölçekli diri fay haritasında gösterilen yapısal unsurların durumlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonrasında, uydu görüntülerinden elde edilen çizgiselliklerin, literatürde var olan ve genellikle saha çalışmalarıyla elde edilen verileri yansıtıp yansıtmadığı tartışılmıştır. Böylece bu tür çizgisellik analizi çalışmalarında, uydu görüntülerinin kullanımının önemi vurgulanmıştır.

2. TEKTONİK ORTAM VE BÖLGENİN DEPREMSELLİĞİ

Afrika, Arabistan ve Avrasya Plakaları arasındaki kıtasal çarpışmanın sonucunda meydana gelen deformasyonun etkisiyle başlıca dört ana neotektonik unsur gelişmiştir. Bunlar; (a) Arabistan Plakası ile Anadolu Bloğu'nun sınırını oluşturan "Doğu Anadolu Fay Zonu", (b) Arabistan Plakası ile Afrika Plakası arasındaki sınırı oluşturan "Ölü Deniz Fay Zonu", (c) Afrika Plakası ile Anadolu Bloğu'nun sınırını oluşturan Kıbrıs-Helen yayı, ve (d) Anadolu Bloğu ile Avrasya Plakası'nın sınırını oluşturan "Kuzey Anadolu Fay Sistemi"dir (McKenzie, 1972, 1978; Şengör, 1979, 1980; Jackson ve McKenzie, 1984; Şengör vd., 1985; Taymaz vd., 1991; LePichon, vd., 1995; Armijo vd., 1999; Bozkurt, 2001, Kürçer vd., 2019) (Şekil 1a)

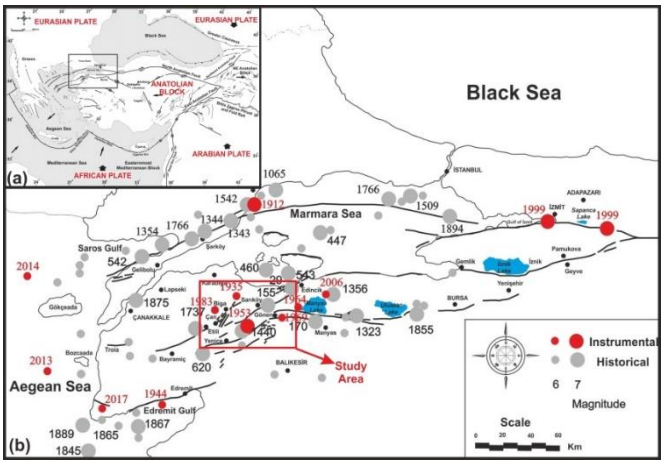
Hem Arap hem de Afrika plakalarının kuzeye doğru hareketleri, Anadolu bloğunun Mio-Pliyosen'den günümüze kadar batıya doğru hareketi ile sonuçlanmaktadır. Neotektonik dönemde başlayan bu hareketler, Anadolu Bloğu'nda birçok aktif fayların meydana gelmesine sebep olmuştur. Sağ yanal Kuzey Anadolu Fay Zonu ve sol yanal Doğu Anadolu Fay Zonu; Anadolu Bloğu'nun sırasıyla kuzey ve doğu sınırını oluşturmaktadır (Özden vd, 2018) (Şekil 1a).

Anadolu Bloğu ile Avrasya Plakası'nın sınırını oluşturan Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS); son yüzyılda üretmiş olduğu büyük depremlerle karakteristik, sağ yanal doğrultu atımlı aktif bir fay sistemidir (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988). Kuzey Anadolu Fay Sistemi, Doğu Akdeniz Bölgesi'nin sismik bakımdan en aktif fay sistemlerinden biridir. Doğuda Karlıova Üçlü Kavşak Noktası'ndan başlayarak, yaklaşık 1000 km'lik bir hat boyunca Adapazarı doğusuna kadar uzanır ve Bolu'dan itibaren batıya doğru zonal bir yapı kazanarak, bu bölgedeki değişen bölgesel gerilme durumlarının etkisiyle kuzey ve güney kol olmak üzere iki kola ayrılarak, büyük ölçekli bir atkuyruğu yapısı oluşturur (Barka ve Gülen, 1988; Şengör ve Barka, 1992; Kürçer vd., 2019)

Kuzey kol, Dokurcun Vadisi'nden (Adapazarı doğusu) itibaren KAFS'nden ayrılarak Sapanca Gölü içerisinden Marmara Denizi'ne doğru uzanır. Marmara Denizi içerisinde ise doğudan batıya doğru sırasıyla Adalar, Avcılar, Kumburgaz, Tekirdağ segmentlerini oluşturur ve Marmara Denizi içerisinden Saros Körfezi'ne, oradan da Ege Denizi'nin kuzeyine doğru uzanır (Kürçer vd., 2019; Emre vd., 2013). Güney kol ise, Dokurcun Vadisi ile Marmara Denizi güneyi arasında, yaklaşık D-B yönünde uzanır, Gemlik Körfezi ile Kapıdağ Yarımadası arasında Marmara Denizi'nin güney kıyısını takip eder, Kapıdağ Yarımadası'ndan itibaren GB yönünde Biga Yarımadası'na doğru devem eder (Kürçer vd., 2019). Biga Yarımadası, Türkiye'nin kuzeybatısında yer alır ve batıda Ege Denizi, kuzeyde Marmara Denizi, güneyde Edremit

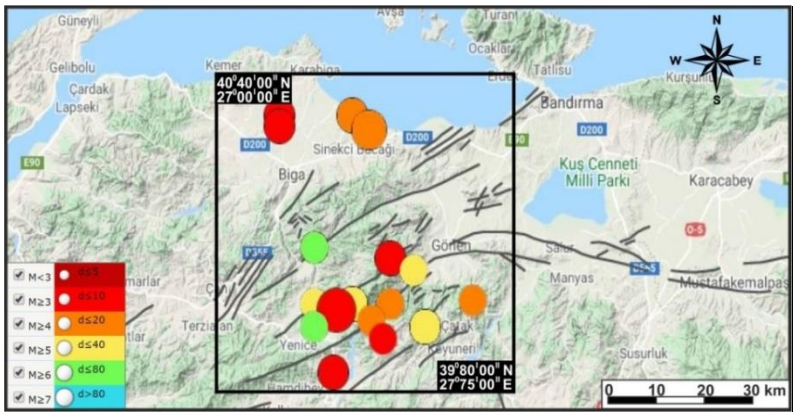
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Körfezi ile sınırlandırılmış bir alanı temsil eder. Biga Yarımadası, neotektonik dönemde meydana gelen birçok aktif fay ile karakterizedir (Özden vd, 2018). KAFS'nin Güney kolu Biga Yarımadası'nda KD'dan GB'ya doğru sırasıyla Edincik Fayı, Sinekçi Fayı, Çan-Biga Fay Zonu, Sarıköy, Bekten, Yenice-Gönen Fayı, Evciler Fayı ve Edremit Fay Zonu ile temsil olunur (Kürçer vd., 2019, Emre vd., 2013) (Şekil 1b).



Şekil 1. (a) Afrika Plakası, Arap Plakası ve Avrasya Plakası arasında yer alan Anadolu Bloğu üzerinde çalışma alanının konumu (Şengör, 1979 and Barka, 1992'den düzenleyen Özden at al., 2015'ten alınmıştır). **(b)** Hem tarihsel dönemde (1900 öncesi) hem aletsel dönemde (1900 sonrası) Biga Yarımadası'nda meydana gelmiş önemli depremlerin oluş zamanları ve lokasyonları ile çalışma alanının konumu (Ambraseys and Finkel, 1991; Şaroğlu et al., 1992; Kürçer et al., 2012'den düzenleyen Özden et al., 2018'den alınmıştır).

Bu çalışmada, KAF'ın Biga Yarımadasındaki uzantılarını oluşturan ve son yüzyılda Mw>7 deprem üretmiş olan başta Yenice-Gönen Fayı olmak üzere, Biga-Çan Fay Zonu ve Sarıköy Fayları ile sınırlı alan değerlendirilmiştir. Sözü edilen alan Biga Yarımadası'nın, sismik aktivitesi en yüksek alanlarının başında gelmektedir. Çalışma alanında, 01.01.1900–15.01.2020 tarihleri arasında 39.80-40.40 enlemleri ve 27.00-27.75 boylamları arasında M>7.0 olan 1 adet, 7.0>M>6.0 olan 1 adet, 6.0>M>5.0 4 adet olmak üzere; M≥4.5 olan toplam 20 adet deprem meydana gelmiştir. Şekil 2'de lokasyonları verilen bu depremlere ait parametreler, Tablo 1'de sunulmuştur.



Şekil 2. Çalışma alanında (39.80-40.40 enlemleri ve 27.00-27.75 arasında kalan bölge) 01.01.1900-15.01.2020 tarihleri arasında meydana gelmiş M≥4.5 depremlerin harita üzerinde gösterimi (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/ adresinden, bu çalışma için derlenmiştir)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Tablo 1. Çalışma alanında (39.80-40.40 enlemleri ve 27.00-27.75 arasında kalan bölge) 01.01.1900-15.01.2020 tarihleri arasında meydana gelmiş M≥4.5 depremler ve bu depremlere ait bazı parametreler (Xm: Maximum büyüklük, Md: Süreye Bağlı Büyüklük, Ml: Yerel (Lokal) Büyüklük, Mw: Moment Büyüklüğü, Ms: Yüzey Dalgası Büyüklüğü, Mb: Cisim Dalgası Büyüklüğü) (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/ adresinden, bu çalışma için derlenmiştir)

No	Date	Hour	Latitude	Longitude	Depth (km)	xM	MD	ML	Mw	Ms	Mb
1	10.07.2008	07:49	40.007	27.714	13.6	4.9	0.0	4.9	-	-	-
2	05.07.1983	12:01	40.330	27.210	07.0	5.9	0.0	5.9	-	5.8	5.5
3	05.03.1969	14:41	40.060	27.560	33.0	4.8	4.6	4.7	4.8	4.6	4.7
4	03.03.1969	00:59	40.080	27.500	06.0	5.8	5.4	0.0	5.8	5.8	5.6
5	21.08.1966	01:30	40.330	27.400	12.0	5.1	4.9	4.9	5.1	4.9	4.8
6	18.07.1956	09:46	39.960	27.300	60.0	4.7	4.6	4.6	4.7	4.5	4.6
7	01.04.1953	01:47	39.970	27.450	20.0	4.9	4.9	4.9	4.8	4.9	4.9
8	31.03.1953	18:24	40.100	27.300	15.0	4.7	4.6	4.6	4.7	4.5	4.6
9	26.03.1953	15:10	39.940	27.480	10.0	4.9	4.7	4.7	4.9	4.7	4.8
10	24.03.1953	20:20	40.000	27.500	12.0	4.9	4.7	4.7	4.9	4.7	4.8
11	22.03.1953	13:17	40.000	27.300	26.0	4.5	4.3	4.3	4.5	4.2	4.4
12	19.03.1953	21:13	39.880	27.350	10.0	5.3	5.0	4.9	5.3	5.0	5.0
13	19.03.1953	12:53	40.100	27.300	48.0	4.9	4.8	4.8	4.9	4.8	4.9
14	18.03.1953	23:28	40.000	27.400	30.0	4.7	4.6	4.6	4.7	4.5	4.6
15	18.03.1953	22:28	40.000	27.400	30.0	4.9	4.8	4.8	4.9	4.8	4.9
16	18.03.1953	21:18	39.960	27.590	30.0	5.5	5.3	5.3	5.5	5.4	5.3
17	18.03.1953	20:20	40.000	27.400	30.0	5.3	5.0	4.9	5.3	5.0	5.0
18	18.03.1953	19:06	39.990	27.360	10.0	7.2	6.7	6.7	6.8	7.2	6.6
19	22.10.1935	07:29	40.310	27.210	10.0	5.4	5.1	5.1	5.4	5.2	5.1
20	04.01.1935	16:20	40.300	27.450	20.0	6.3	6.0	6.0	6.2	6.3	5.9

3. MATERYAL VE METOT

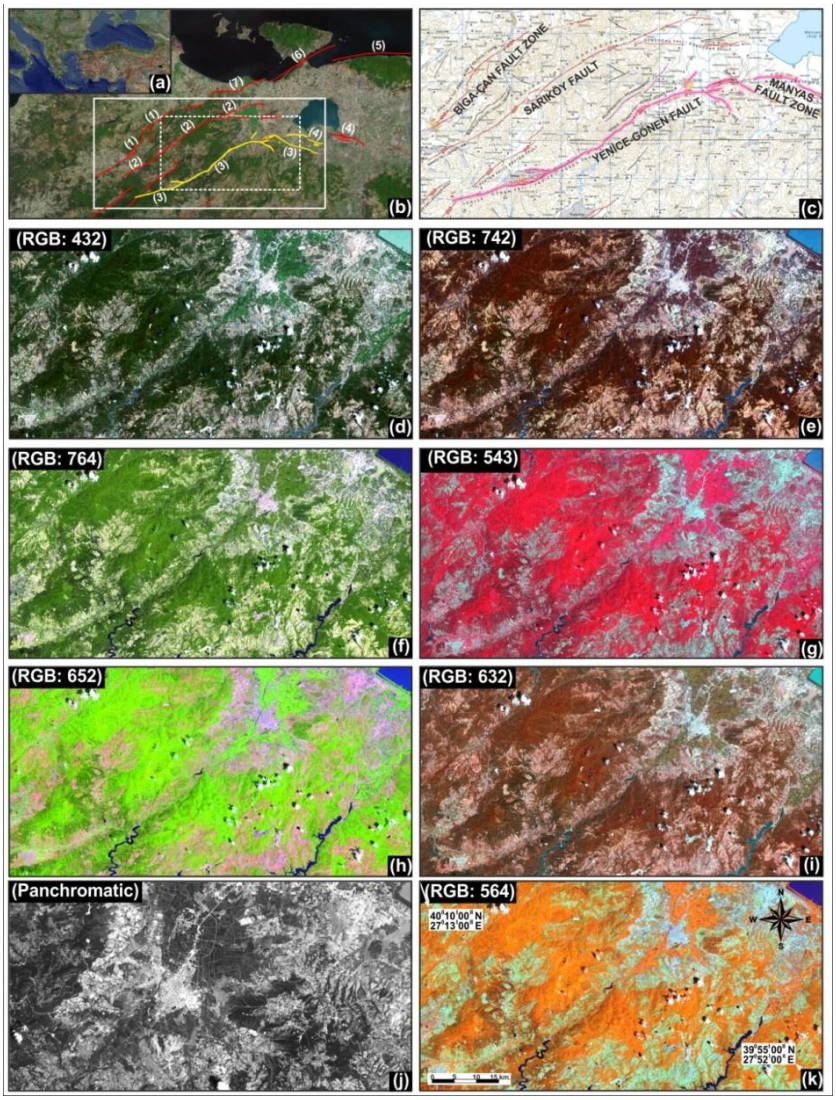
Bu çalışmada, ilk olarak LANDSAT8-OLI uydusuna ait, USGS internet sitesinden temin edilen, 22.07.2019 tarihli ve LC08_L1TP_181032_20190722_20190801_01_T1 kodlu uydu görüntüsü kullanılmıştır. OLI, dokuz adet spektral band olarak veri toplamaktadır. Bu dokuz bandın yedi tanesi daha önceki LANDSAT5-TM ve LANDSAT7-ETM sensörlerinde bulunan aralıklarına sahiptir. Bu sayede eski LANDSAT verileri ile uyumludur. Yeni iki spektral band derin mavi/aerosol ve kısa dalga infrared sirrus bandları ile yüksek ve ince bulutları tespit edilmesine ve su kalitesinin ölçülmesine imkân vermiştir (http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=49).

LANDSAT8-OLI uydu görüntülerine; çalışma amacına yönelik olarak çeşitli bant kombinasyonları uygulanmaktadır. Örneğin; genellikle **(a)** 4-3-2 bantları ile yapılan bant kombinasyonu (RGB:432) "Natural Color"u, **(b)** RGB:543 bant kombinasyonu "Color Infrared"i, **(c)** RGB:764 bant kombinasyonu "Short-Wave Infrared"i, **(d)** RGB:652 bant kombinasyonu "Agriculture"i, **(e)** RGB:762 bant kombinasyonu "Geology"i, **(f)** RGB:564 bant kombinasyonu ise "Land/Water" özellikleri belirlemeye yönelik olarak kullanılmaktadır (https://gisgeography.com/landsat-8-bands-combinations/). Bir sahanın jeolojik olarak litolojik özelliklerinin ortaya çıkarılması için, 7-4-2 bant kombinasyonunun (RGB: 742) iyi sonuç verdiği, bunun yanı sıra belli litolojileri tespit etmeye yönelik bant oranlamasının kullanıldığı da literatürde belirtilmiştir (Doğru ve Yücel, 2017).

Bu çalışmada, tüm bant kombinasyonları denenmiştir. 39°50'00"N–40°14'45"N enlemleri ile, 27°00'00"E–27°49'10"E boylamları arasında kalan, çalışma alanındaki aktif tektonik unsurların başında gelen; Yenice-Gönen Fayı, Biga-Çan Fay Zonu ve Sarıköy Fayı'nın meydana getirdiği

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

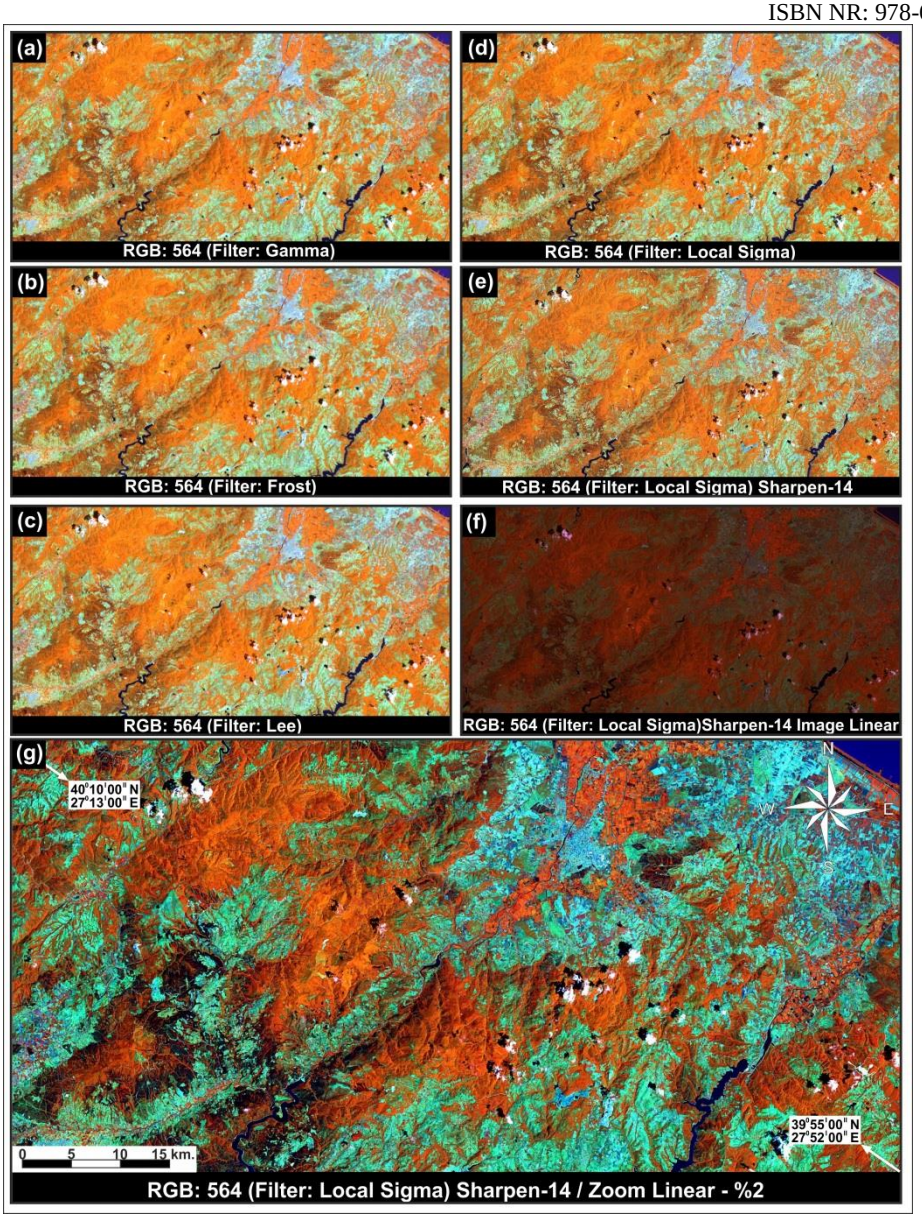
ana çizgiselliği; en iyi yansıtan bant kombinasyonunun, (RGB: 564) ile oluşturulan bant kombinasyona ait olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 3). Tüm bu bant kombinasyonu işlemleri ENVI 5.0 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. (a) Türkiye'nin aktif tektonik unsurları üzerinde çalışma alanının gösterimi (Emre ve diğ., 2011a, 2011b, 2013) **(b)** Kesikli çizgi ile gösterilen çalışma alanında yer alan önemli aktif tektonik yapılar (Emre ve diğ., 2011a, 2011b, 2013) (1:Biga-Çan Fay Zonu, 2:Sarıköy Fayı, 3:Yenice-Gönen Fayı) **(c)** Diri Fay haritası üzerinde çalışma alanı içerisinde yer alan aktif faylar (Emre ve diğ., 2011a, 2011b, 2013) **(d-i)** Çalışma alanına ait LANDSAT8-OLI uydu görüntüsü ile denenen çeşitli bant kombinasyonları ile oluşturulan görüntüler. **(j)** Pankromatik band (Band:8) **(k)** Tercih edilen band kombinasyonu (RGB: 564)

Çalışma sahasındaki ana çizgisellikleri en iyi yansıttığı sonucuna varılan RGB:564 bant kombinasyonu üzerinde çeşitli filtreleme işleme uygulanmıştır (Şekil 4a-d). Uygulanan; Gamma, Frost, Lee ve Local Sigma filtreleri arasından en iyi sonucu veren filtrenin, Local Sigma filtresi ile sağlandığı görülmüştür (Şekil 4d).. Daha sonra Local Sigma filtresi üzerine çeşitli görüntü keskinleştirme yöntemleri de denenmiştir (Şekil 4e-g). Tüm bu filtreleme işlemleri de ENVI 5.0 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. RGB:564, Local Sigma Filtresi uygulanan ve sharpen-14, zoom linear %2 olarak elde edilen görüntü üzerinde, ana çizgiselliklerin gösterimi ise Şekil 5'te sunulmuştur.

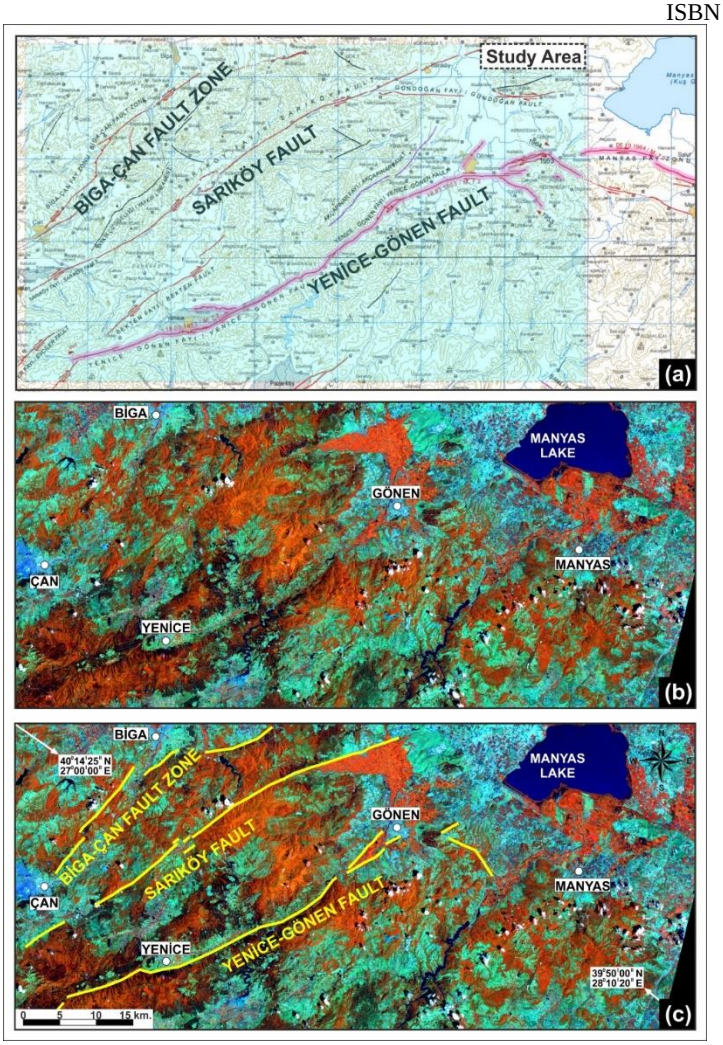
ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Şekil 4. Kullanılan (RGB:564) LANDSAT8-OLI görüntüsüne uygulanan filtreler **(a)** Gamma filtresi **(b)** Frost filtresi **(c)** Lee filtresi **(d)** Local Sigma Filtresi **(e-g)** Görüntü kesinleştirme uygulanmış uydu görüntüsü

LANDSAT8-OLI uydu görüntüsüne uygulanan bant kombinasyonu, filtreleme ve görüntü keskinleştirme işlemlerinden sonra, GLOBAL MAPPER-20 yazılımı ile belirlenen çizgiselliklerin doğrultuları değerlendirilmiştir. Çizgiselliklerin doğrultularının baskın karakter sergilediği dilimler ise, STERONET programı yardımıyla oluşturulan gül diyagramları ile belirlenmiştir. Bir sonraki aşamada, uydu görüntüsünden elde edilen bu verilerin, 1/250.000 ölçekli diri fay haritalarında gösterilen yer alan yapısal unsurlarla (aktif fay, aktif olmayan fay, çizgisellik gibi) karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, literatürde mevcut olan tektonik yapılara ait unsurlar da gruplara ayrılarak değerlendirilmiştir. Tüm bu işlemlerden sonra da, LANDSAT8-OLI uydu görüntüsünden elde edilen çizgisellikler, literatürdeki çizgisellikler ile karşılaştırılmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Şekil 5. (a) Çalışma alanında yer alan aktif faylar (Emre ve diğ., 2011a, 2011b) **(b)** Çalışma alanına ait Local Sigma filtresi ve görüntü kesinleştirme uygulanan RGB:564 uydu görüntüsü **(c)** Bu uydu görüntüsü üzerine çizilmiş ana faylar

4. LANDSAT8-OLI GÖRÜNTÜSÜ ÜZERİNDE ÇİZGİSELLİK ANALİZİ

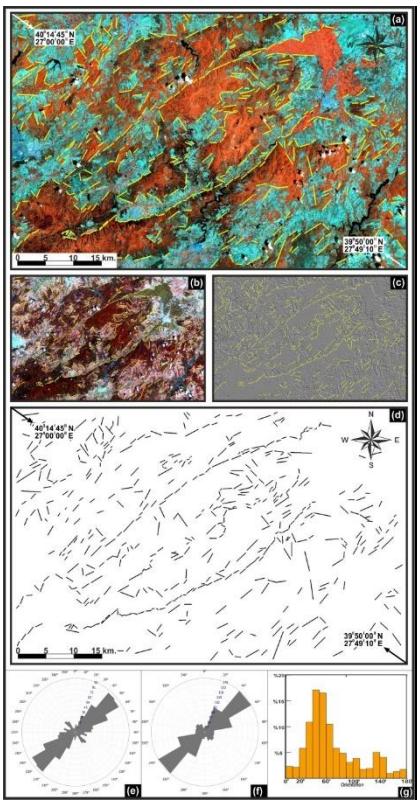
4.1. LANDSAT8-OLI uydu görüntüleri üzerinden elde edilen veriler

LANDSAT8-OLI görüntüsü üzerinde çizgisellikler belirlenirken, sadece jeolojik birimlerin sınırlarını oluşturan, ancak aktif yapısal unsur olarak değerlendirilmeyecek çizgiselliklerin denetimi de yapılmıştır. Bunun için jeolojik özellikleri ön plana çıkaran diğer bant kombinasyonlarından ve literatürde mevcut olan jeoloji haritalarından da yararlanılmıştır. Yapısal unsur özelliği taşımayan çizgisellikler değerlendirmeye alınmamıştır ve harita üzerine işaretlenmemiştir. LANDSAT8-OLI görüntüsü üzerinden (RGB:564 / Local Sigma filter / sharpen-14 / zoom linear %2) materyal ve metot kısmında bahsedilen işlem basamaklarından sonra, yapısal unsur özelliği taşıyan toplam 514 adet çizgisellik tespit edilmiştir. Tespit edilen çizgiselliklerin en kısa olanı 306 metre, en uzun olanı ise 3972 metre uzunluğa sahiptir. Bu çizgiselliklerin 391 tanesi (%76,1) KD doğrultulu, 123 tanesi (%23,9) ise KB doğrultuludur. Doğrultuların yoğunlaştığı alanlar, hem 10° hem de 20° dilimler halinde ayrı ayrı gösterilmiştir. 20° dilimler dikkate alındığında, doğrultuların en çok yoğunlaştığı alanın 173 adet (%33,7) çizgiselliğin belirlendiği K41°-60°D aralığında olduğu görülmektedir (Şekil 6 ve Tablo 2).

Tablo 2. LANDSAT8-OLI Uydu Görüntüsünden elde edilen çizgiselliklerin doğrultuları (N: Çizgisellik sayısı)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Dilim: 10 derece				Dilim: 20 derece	
Doğrultu (NE-SW)	**N**	**Doğrultu (NW-SE)**	**N**	**Doğrultu**	**N**
0°-10° (N0°-10°E)	12	91°-100° (N0°-10°W)	16	0°-20°	23 (% 4.5)
11°-20° (N11°-20°E)	11	101°-110° (N11°-20°W)	20	21°-40°	86 (%16,7)
21°-30° (N21°-30°E)	30	111°-120° (N21°-30°W)	9	**41°-60°**	**173 (% 33,7)**
31°-40° (N31°-40°E)	56	121°-130° (N31°-40°W)	10	61°-80°	84 (% 16,3)
41°-50° (N41°-50°E)	**88**	131°-140° (N41°-50°W)	26	81°-100°	41 (% 8)
51°-60° (N51°-60°E)	**85**	141°-150° (N51°-60°W)	21	101°-120°	29 (% 5,6)
61°-70° (N61°-70°E)	54	151°-160° (N61°-70°W)	5	121°-140°	36 (%7)
71°-80° (N71°-80°E)	30	161°-170° (N71°-80°W)	7	141°-160°	26 (% 5,1)
81°-90° (N81°-90°E)	25	171°-180° (N81°-90°W)	9	161°-180°	16 (% 3,1)
N= 391 (% 76,1)		**N= 123 (% 23,9)**		**N= 514**	



Şekil 6. (a) LANDSAT 8 OLI uydu görüntüsü(RGB: 562) ve üzerinde belirtilmiş çizgisellikler (b) RGB: 562 üzerinde belirlenen çizgiselliklerin, RGB: 632 üzerinde kontrolü (c) RGB: 562 üzerinde belirlenen çizgiselliklerin, pankromatik bantta (Bant 8) 135° yönünde uygulanan 5x5 çekirdek filtresi ile birlikte gösterimi (d) Elde edilen doğrusal yapılar (e) Çizgiselliklerin doğrultularının 10° dilimler halinde gül diyagramında gösterimi (f) Çizgiselliklerin doğrultularının 20° dilimler halinde gül diyagramında gösterimi (g) Çizgiselliklerin doğrultularının 10° dilimler halinde grafik üzerinde gösterimi (0°-90° arası KD doğrultuları; 90°-180° KB doğrultuları gösterir)

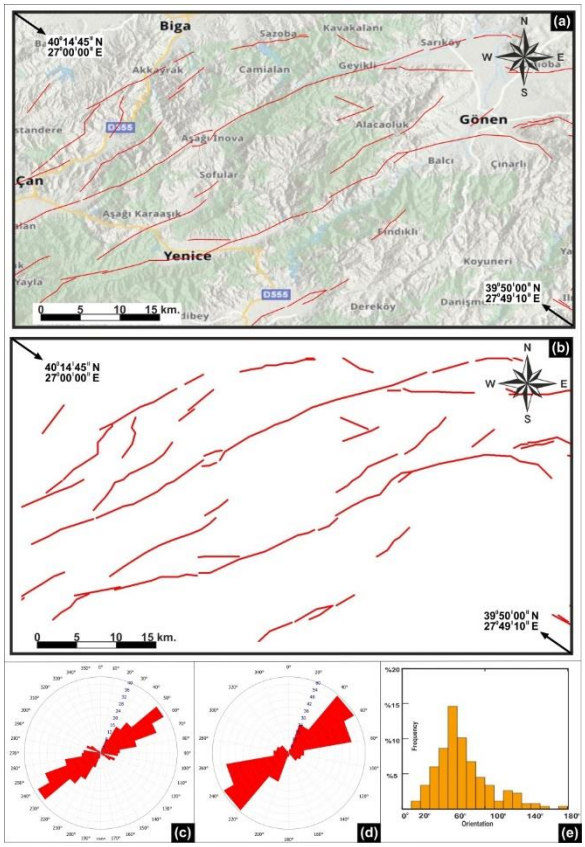
4.2. Literatürdeki mevcut tektonik yapılara ait unsurların (aktif fay, aktif olmayan fay, çizgisellik gibi) tamamının çizgisellik olarak değerlendirilmesi

4.2.1. Literatürdeki aktif yapısal unsurların doğrultularının değerlendirilmesi

Emre ve diğ., 2011a, 2011b, 2013 tarafından yayınlanan ve 1/250.000 ölçekli diri fay haritasında gösterilen aktif unsurların doğrultuları değerlendirilmiştir. Buradaki aktif unsurlar; özellikle 1953 yenice depreminden sonra Yenice-Gönen Fayı üzerinde meydana gelen yüzey kırığı, Holosen Fayı ve Kuvaterner Fayı olarak nitelendirilen aktif faylardır. Burada bir fayın, doğrultu değiştirdiği her iki noktanın arası ayrı bir çizgisellik olarak değerlendirilmiştir. Böylece tek bir çizgi halinde bulunan bir fayın birden çok doğrultudan oluşan çizgiselliklerden

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

meydana geldiği düşünülerek çizgisellikler değerlendirilmiştir. Böylece literatürdeki aktif yapısal unsurların çizgisellik olarak değerlendirilmesi ile toplam 178 adet çizgisellik harita üzerine işaretlenmiştir. İşaretlenen bu çizgiselliklerin en kısa olanı 624 metre, en uzun olanı ise 6890 metre uzunluğa sahiptir. Bu çizgiselliklerin 147 tanesi (%82,6) KD doğrultulu, 22 tanesi (%17,4) ise KB doğrultuludur. Doğrultuların yoğunlaştığı yerler, hem 10°, hem de 20° dilimler halinde ayrı ayrı gösterilmiştir. 20° dilimler dikkate alındığında, doğrultuların en çok yoğunlaştığı alanın 62 adet (%34,8) çizgiselliğin belirlendiği K41°-60°D aralığında olduğu görülmektedir (Şekil 7 ve Tablo 3).



Şekil 7. (a-b) Deprem Yüzey Kırığı, Holosen Fayı, Kuvaterner Fayı (Emre ve diğ., 2011a, 2011b, 2013) (Her bir yapısal unsurun, doğrultu değiştirdiği her iki noktasının arası, ayrı bir çizgisellik olarak değerlendirilmiştir) (c) Çizgiselliklerin doğrultularının 10° dilimler halinde gül diyagramında gösterimi **(d)** Çizgiselliklerin doğrultularının 20° dilimler halinde gül diyagramında gösterimi **(e)** Çizgiselliklerin doğrultularının 10° dilimler halinde grafik üzerinde gösterimi (0°-90° arası KD doğrultuları; 90°-180° KB doğrultuları gösterir)

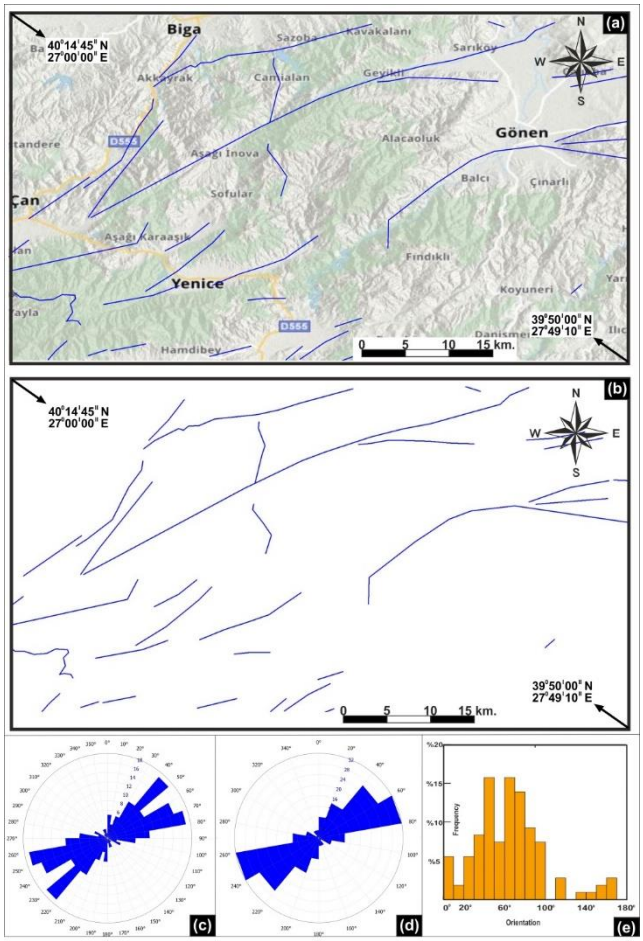
Tablo 3. Literatürde mevcut olan, Deprem Yüzey Kırığı, Holosen Fayı, Kuvaterner Fayını (Emre ve diğ., 2011a, 2011b, 2013) meydana getiren unsurların çizgisellik olarak değerlendirilmesiyle elde edilen doğrultular (N: Veri sayısı)

Dilim: 10 derece				**Dilim: 20 derece**	
Doğrultu (NE-SW)	**N**	**Doğrultu (NW-SE)**	**N**	**Doğrultu**	**N**
0°-10° (N0°-10°E)	0	91°-100° (N0°-10°W)	9	0°-20°	3 (% 1,7)
11°-20° (N11°-20°E)	3	101°-110° (N11°-20°W)	3	21°-40°	25 (% 14,0)
21°-30° (N21°-30°E)	9	111°-120° (N21°-30°W)	7	**41°-60°**	62 (% 34,8)
31°-40° (N31°-40°E)	16	121°-130° (N31°-40°W)	6	61°-80°	45 (% 25,3)
41°-50° (N41°-50°E)	23	131°-140° (N41°-50°W)	2	81°-100°	21 (% 11,8)
51°-60° (N51°-60°E)	**39**	141°-150° (N51°-60°W)	2	101°-120°	10 (% 5,6)
61°-70° (N61°-70°E)	**27**	151°-160° (N61°-70°W)	1	121°-140°	8 (% 4,5)
71°-80° (N71°-80°E)	18	161°-170° (N71°-80°W)	0	141°-160°	3 (% 1,7)
81°-90° (N81°-90°E)	12	171°-180° (N81°-90°W)	1	161°-180°	1 (% 0,6)
N= 147 (% 82,6)		**N= 22 (% 17,4)**		**N= 178**	

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

4.2.2. Literatüre göre aktif olmayan yapısal unsurların doğrultularının değerlendirilmesi

Emre ve diğ., 2011a, 2011b, 2013 tarafından yayınlanan ve 1/250.000 ölçekli diri fay haritasında; aktif unsurların yanı sıra, aktivitesi kuşkulu olan faylar ve çizgisellikler de belirtilmiştir. Burada yine bir unsurun doğrultu değiştirdiği her iki noktasının arası ayrı bir çizgisellik olarak değerlendirilmiştir. Böylece tek bir çizgi halinde bulunan bir yapısal unsurun birden çok doğrultudan oluşan çizgiselliklerden meydana geldiği düşünülerek çizgisellikler değerlendirilmiştir. Böylece literatürde; aktivitesi kuşkulu olan fayların ve çizgiselliklerin değerlendirilmesiyle toplam 108 adet çizgisellik harita üzerine işaretlenmiştir. İşaretlenen bu çizgiselliklerin en kısa olanı 803 metre, en uzun olanı ise 8041 metre uzunluğa sahiptir Bu çizgiselliklerin 90 tanesi (%83,3) KD doğrultulu, 18 tanesi (%16,7) ise KB doğrultuludur. Doğrultuların yoğunlaştığı yerler, hem 10°, hem de 20° dilimler halinde ayrı ayrı gösterilmiştir. 20° dilimler dikkate alındığında, doğrultuların en çok yoğunlaştığı alanın 32 adet (%29,6) çizgiselliğin belirlendiği K61°-80°D aralığında olduğu görülmektedir (Şekil 8 ve Tablo 4).



Şekil 8. (a-b) Olası Kuvaterner Fayı ve çizgisellikler (Emre ve diğ., 2011a, 2011b, 2013) (Her bir yapısal unsurun, doğrultu değiştirdiği her iki noktasının arası, ayrı bir çizgisellik olarak değerlendirilmiştir) (c) Çizgiselliklerin doğrultularının 10° dilimler halinde gül diyagramında gösterimi (d) Çizgiselliklerin doğrultularının 20° dilimler halinde gül diyagramında gösterimi (e) Çizgiselliklerin doğrultularının 10° dilimler halinde grafik üzerinde gösterimi (0°-90° arası KD doğrultuları; 90°-180° KB doğrultuları gösterir)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Tablo 4. Literatürde mevcut olan, Olası-Kuvaterner Fayı ve çizgisellikleri (Emre ve diğ., 2011a, 2011b, 2013) meydana getiren unsurların çizgisellik olarak değerlendirilmesiyle elde edilen doğrultular (N: Veri sayısı)

Dilim: 10 derece				**Dilim: 20 derece**	
Doğrultu (NE-SW)	**N**	**Doğrultu (NW-SE)**	**N**	**Doğrultu**	**N**
0°-10° (N0°-10°E)	6	91°-100° (N0°-10°W)	8	0°-20°	8 (% 7,4)
11°-20° (N11°-20°E)	2	101°-110° (N11°-20°W)	0	21°-40°	15 (% 13,9)
21°-30° (N21°-30°E)	6	111°-120° (N21°-30°W)	3	41°-60°	25 (% 23,1)
31°-40° (N31°-40°E)	9	121°-130° (N31°-40°W)	0	**61°-80°**	**32 (% 29,6)**
41°-50° (N41°-50°E)	**17**	131°-140° (N41°-50°W)	1	81°-100°	18 (% 16,7)
51°-60° (N51°-60°E)	8	141°-150° (N51°-60°W)	1	101°-120°	3 (% 2,8)
61°-70° (N61°-70°E)	**17**	151°-160° (N61°-70°W)	2	121°-140°	1 (% 0,9)
71°-80° (N71°-80°E)	15	161°-170° (N71°-80°W)	3	141°-160°	3 (% 2,8)
81°-90° (N81°-90°E)	10	171°-180° (N81°-90°W)	0	161°-180°	3 (% 2,8)
N= 90 (% 83,3)		**N= 18 (% 16,7)**		**N= 108**	

5. SONUÇLAR

Tektonik özelliklerin çoğu düz çizgisel unsurlarla ilişkili olup, kısaca çizgisellik olarak ifade edilmektedir ve çizgisellik analizi yerbilimlerinde (özellikle jeoloji araştırmalarında), baskın Neotektonik dönem yapıları ve aktif tektonik unsurların belirlenmesinde günümüzde sıkça kullanılmaktadır. Çalışma alanını; Afrika, Arap ve Avrasya Plakaları arasında yer alan Anadolu Bloğu'nun (Türkiye) batı kesiminde yer alan Biga Yarımadası oluşturmaktadır.

Biga Yarımadası; Anadolu Bloğu ile Avrasya Plakası arasındaki sınırı oluşturan, bölgesel anlamda çok büyük bir önem taşıyan ve sismik olarak aktivitesi çok yüksek bir sismojenik zon olan Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin batı uzantılarını bünyesinde barındırmakta olup, son yüzyılda meydana gelen yıkıcı depremler ile ön plana çıkmaktadır. Bu bölge; gerek lokal, gerek bölgesel tektonizmanın önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Biga Yarımadası'nın (Batı Türkiye) aktif tektonik yapılarının başında ise Yenice-Gönen Fayı, Sarıköy Fayı ve Biga-Çan Fay Zonu gelmektedir.

Bu çalışmada, 22.07.2019 tarihli LANDSAT8-OLI uydu görüntüsü kullanılmıştır. RGB: 564 bant kombinasyonuna uygulanan Local Sigma Filtresi üzerinde görüntü keskinleştirme yöntemi de kullanılmıştır. Bu çalışmada, LANDSAT8-OLI uydu görüntüleri yardımıyla belirlenen çizgiselliklerin, literatürde var olan çizgiselliklerle karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda; LANDSAT8-OLI uydu görüntüsü ile belirlenen 514 adet çizgisellik; literatüre göre hem aktif olan, hem aktivitesi şüpheli olan, hem de çizgisellik olarak nitelendirilen unsurlarla karşılaştırılmıştır.

LANDSAT8-OLI uydu görüntüsünde denenen çeşitli bant kombinasyonları sonucunda, çizgisel yapıları en iyi yansıttığı sonucuna varılan RGB:564 bant kombinasyonu ile üretilen görüntü üzerinde 514 adet çizgisellik belirlenmiştir. Bu çizgiselliklerin uzunlukları 306 metre ile 3972 metre arasında değişmektedir. Belirlenen 514 adet çizgisellik göz önünde bulundurulduğunda, baskın doğrultunun 173 adet (%33,7) çizgisellik ile 41°-60° arasında olduğu (N41°-60°E) belirlenmiştir (Şekil 6, Tablo 2).

LANDSAT8-OLI uydu görüntüsünden elde edilen çizgiselliklerin, literatürdeki veriler ile karşılaştırılması için, önceki çalışmalarda yayınlanan ve 1/250.000 ölçekli diri fay haritasında gösterilen, aktif yapısal unsurlar (özellikle 1953 Yenice depreminden sonra meydana gelen Deprem Yüzey Kırığı, Holosen Fayı, Kuvaterner Fayı) (Emre ve diğ., 2011a, 2011b, 2013)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

çizgisellik olarak değerlendirilmiştir. Burada bir fayın doğrultu değiştirdiği her iki noktanın arası, ayrı bir çizgisellik olarak değerlendirilmiştir. Böylece tek bir çizgi halinde bulunan bir fayın birden çok doğrultudan oluşan çizgiselliklerden meydana geldiği düşünülerek çizgisellikler işaretlenmiştir. Bu çizgiselliklerin uzunlukları 624 metre ile 6890 metre arasında değişmektedir. Belirlenen 178 adet çizgisellik göz önünde bulundurulduğunda, baskın doğrultunun 62 adet (%34,8) çizgisellik ile 41°-60° arasında olduğu (N41°-60°E) görülmektedir (Şekil 7, Tablo 3).

Yine benzer şekilde LANDSAT8-OLI uydu görüntüsünden elde edilen çizgiselliklerin, literatürdeki veriler ile karşılaştırılması için, önceki çalışmalarda yayınlanan ve 1/250.000 ölçekli diri fay haritasında gösterilen, ancak aktivitesi kesin olmayan yapısal unsurların ve çizgiselliklerin, (Emre ve diğ., 2011a, 2011b, 2013) doğrultuları değerlendirilmiştir. Yine burada bir unsurun doğrultu değiştirdiği her iki noktanın arası ayrı bir çizgisellik olarak değerlendirilmiştir. Böylece tek bir çizgi halinde bulunan bir fayın birden çok doğrultudan oluşan çizgiselliklerden meydana geldiği düşünülerek çizgisellikler işaretlenmiştir. Bu çizgiselliklerin uzunlukları 803 metre ile 8041 metre arasında değişmektedir. Belirlenen 108 adet çizgisellik göz önünde bulundurulduğunda, baskın doğrultunun 32 adet (%29,6) çizgisellik ile 61°-80° arasında olduğu (N61°-80°E) görülmektedir (Şekil 8, Tablo 3).

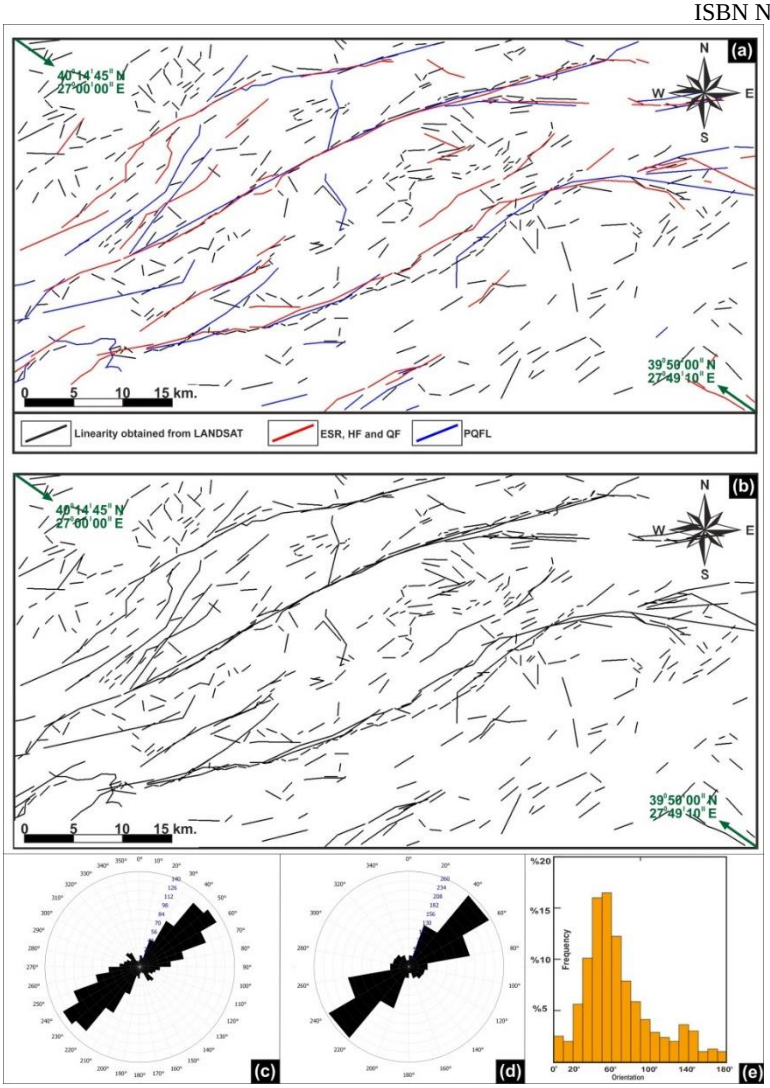
LANDSAT8-OLI uydu görüntüsünden elde edilen 514 adet çizgisellik, literatürdeki 1/250.000 ölçekli diri fay haritasında gösterilen ve 178 adet çizgisellik olarak değerlendirilen aktif unsurlar ile 108 adet çizgisellik olarak değerlendirilen aktivitesi şüpheli unsurlar birlikte değerlendirilmiş ve toplam 800 adet veri tek bir harita üzerinde gösterilerek, ortak sonucu gösterilmiştir (Şekil 9).

Tüm bu 800 adet verinin uzunlukları 306 metre ile 8041 metre arasında değişmektedir. 800 adet çizgisellik göz önünde bulundurulduğunda, baskın doğrultunun 260 adet (%32,5) çizgisellik ile 41°-60° arasında olduğu (N41°-60°E) sonucuna varılmıştır (Şekil 9, Tablo 5).

Tablo 5. Literatürde gösterilen Olası-Kuvaterner Fayı, çizgisellikler, deprem yüzey kırığı, Holosen Fayı, Kuvaterner Fayı'nın (Emre ve diğ., 2011a, 2011b, 2013) çizgisellik olarak değerlendirilerek harita üzerine işaretlenmesiyle ve LANDSAT8-OLI uydu görüntüsünden elde edilen çizgiselliklere ait toplam 800 adet verinin doğrultuları toplam 800 adet veriyer ait tüm doğrultular (N: Veri sayısı)

Dilim: 10 derece				**Dilim: 20 derece**	
Doğrultu (NE-SW)	**N**	**Doğrultu (NW-SE)**	**N**	**Doğrultu**	**N**
0°-10° (N0°-10°E)	18	91°-100° (N0°-10°W)	33	0°-20°	34 (% 4,3)
11°-20° (N11°-20°E)	16	101°-110° (N11°-20°W)	23	21°-40°	126 (% 15,8)
21°-30° (N21°-30°E)	45	111°-120° (N21°-30°W)	19	**41°-60°**	**260 (% 32,5)**
31°-40° (N31°-40°E)	81	121°-130° (N31°-40°W)	16	61°-80°	161 (% 20.1)
41°-50° (N41°-50°E)	128	131°-140° (N41°-50°W)	29	81°-100°	80 (% 10)
51°-60° (N51°-60°E)	132	141°-150° (N51°-60°W)	24	101°-120°	42 (% 5,3)
61°-70° (N61°-70°E)	98	151°-160° (N61°-70°W)	8	121°-140°	45 (% 5,6)
71°-80° (N71°-80°E)	63	161°-170° (N71°-80°W)	10	141°-160°	32 (% 4)
81°-90° (N81°-90°E)	47	171°-180° (N81°-90°W)	10	161°-180°	20 (% 2,5)
N= 596 (% 78,5)		**N= 172 (% 21,5)**		**N= 800**	

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



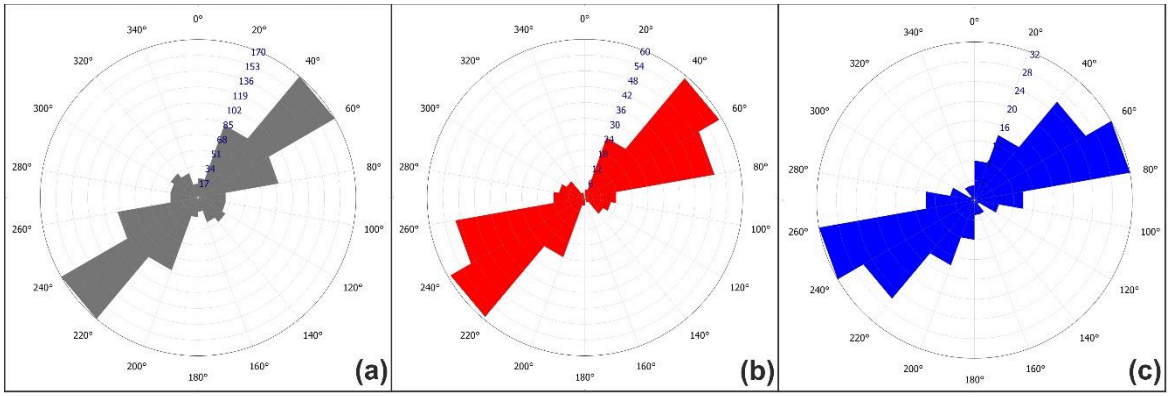
Şekil 9. (a-b) Literatürde gösterilen Olası-Kuvaterner Fayı, çizgisellikler, deprem yüzey kırığı, Holosen Fayı, Kuvaterner Fayı'nın (Emre ve diğ., 2011a, 2011b, 2013) çizgisellik olarak değerlendirilerek harita üzerine işaretlenmesi ve LANDSAT8-OLI uydu görüntüsünden elde edilen çizgiselliklerin ayrı ayrı (a) ve birlikte (b) olacak şekilde tek bir harita üzerinde gösterimi (c) Çizgiselliklerin doğrultularının 10° dilimler halinde gül diyagramında gösterimi **(d)** Çizgiselliklerin doğrultularının 20° dilimler halinde gül diyagramında gösterimi **(e)** Çizgiselliklerin doğrultularının 10° dilimler halinde grafik üzerinde gösterimi (0°-90° arası KD doğrultuları; 90°-180° KB doğrultuları gösterir)

6. TARTIŞMA

LANDSAT8-OLI uydu görüntüsü yardımıyla belirlenen çizgiselliklerden (N=514) elde edilen baskın doğrultunun N41°-60°E (Şekil 10a); literatürde var olan aktif unsurların (N=178) değerlendirilmesiyle yorumlanan baskın doğrultunun N41°-60°E (Şekil 10b); literatürde var olan aktivitesi şüpheli unsurların (N=108) unsurların değerlendirilmesiyle yorumlanan baskın doğrultunun N61°-80°E (Şekil 10 c) olduğu görülmüştür (Tablo 6). LANDSAT8-OLI görüntüsü ile elde edilen çizgiselliklere ait baskın doğrultunun, literatürde var olan aktivitesi şüpheli unsurları nispeten yansıttığı görülse de, aktif yapılara ait unsurların doğrultularını daha iyi yansıttığı görülmektedir. Böylece, bir bölgede aktif yapıların belirlenmesi için, LANDSAT8-OLI uydu görüntüsü ile çizgisellik analizi yapılması, güvenilir sonuçlar vermekte olup, son derece yararlıdır. Özellikle saha çalışması yapılamayacağı veya yapılmasının büyük zaman alacağı bölgesel alanlarda bu tür çizgisellik analizi çalışmalarının yapılması ile bölgenin

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

aktif yapılarının belirlenmesini ve yorumlanmasını sağlayacaktır. Çizgisellik analizi ile elde edilen verilerin temsil ettiği unsurların aktif olup olmadığı ise, saha gözlemleri çalışmaları ve/veya literatür verileriyle de kıyaslanması, çalışmanın güvenirliğini artıracaktır.



Şekil 10. Çizgiselliklerden elde edilen doğrultuların, 20'lik dilimler halinde gül diyagramı üzerinde gösterimi (a) LANDSAT8-OLI uydu görüntüsünden elde edilen çizgisellikler (b) 1/250.000 ölçekli diri fay haritasındaki aktif unsurlar (c) 1/250.000 ölçekli diri fay haritasındaki aktivitesi kesin olmayan unsurlar ve çizgisellikler

Tablo 6. LANDSAT8-OLI uydu görüntüsünden elde edilen çizgisellikler ile literatürde gösterilen Olası-Kuvaterner Fayı, çizgisellikler, deprem yüzey kırığı, Holosen Fayı, Kuvaterner Fayının doğrultularının karşılaştırılması (ESR: Deprem Yüzey Kırığı, HF: Holosen Fayı, QF: Kuvaterner Fayı, PQFL: Olası Kuvaterner Fayı veya Çizgisellik)

Doğrultu	LANDSAT 8 OLI	(ESR, HF, QF)	(PQFL)	Toplam
0°-20°	23 (% 4.5)	3 (% 1,7)	8 (% 7,4)	34 (% 4,3)
21°-40°	86 (%16,7)	25 (% 14,0)	15 (% 13,9)	126 (% 15,8)
41°-60° (N41°-60°E)	**173 (% 33,7)**	**62 (% 34,8)**	25 (% 23,1)	**260 (% 32,5)**
61°-80° (N61°-80°E)	84 (% 16,3)	45 (% 25,3)	**32 (% 29,6)**	161 (% 20.1)
81°-100°	41 (% 8)	21 (% 11,8)	18 (% 16,7)	80 (% 10)
101°-120°	29 (% 5,6)	10 (% 5,6)	3 (% 2,8)	42 (% 5,3)
121°-140°	36 (%7)	8 (% 4,5)	1 (% 0,9)	45 (% 5,6)
141°-160°	26 (% 5,1)	3 (% 1,7)	3 (% 2,8)	32 (% 4)
161°-180°	16 (% 3,1)	1 (% 0,6)	3 (% 2,8)	20 (% 2,5)
N	514	178	108	800
Max uzunluk	3972 m	6890 m	8041 m	8041 m
Min uzunluk	306 m	624 m	803 m	306 m
Baskın Doğrultu	N41°-60°E	N41°-60°E	N61°-80°E	N41°-60°E

KATKI BELİRTME

Bu çalışma FYL-2015-592 numaralı ÇOMÜ-BAP projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

Ambraseys, N. N. & Finkel, C. F. (1991). Long-term seismicity of İstanbul and of the Marmara Sea region. *Terra Nova*, 3, 527–39.

Anwar, A., Shawki, N., Abdoh, G. (2013). Landsat ETM-7 for lineament mapping using automatic extraction technique in the SW part of Taiz area, Yemen. *Global Journal of human social science geography, geo-science, environmental and disaster management*. 13, ISS 3, VER 1.0.

Armijo, R., Meyer, B., Hubert-Ferrari, A. & Barka, A. (1999). Westward propagation of North Anatolian Fault into the Northern Aegean: timing and kinematics. *Geology*, 27, 267–70.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Aydin, O. L., Bektas, O., Buyuksarac, A. & Yilmaz, H. (2019). 3D Modeling and Tectonic Interpretation of the Erzincan Basin (Turkey) using Potential Field Data. *Earth Sciences Research Journal*, 23(1), 57-66.

Barka, A. A. (1992). The North Anatolian Fault Zone. *Annales Tectonicae*, 6, 164-195.

Barka, A. & Gülen, L. (1988). New constrains on age and total offset on the North Anatolian Fault Zone: Implications for tectonics of the Estern Mediterranean Region. *METU Journal of Pure and Applied Sciences*, 21, 39–63.

Barka, A.A. & Kadinsky-Cade, K. (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and its infl uence on earthquake activity. *Tectonics*, 7(3), 663–684.

Bektaş, Ö., Büyüksaraç, A. & Rozimant, K. (2013). 3D Modelling and Structural Investigation of the Central Volcanics in Slovakia Using Magnetic Data. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, vol:8, pp.27-33.

Büyüksaraç, A. (2007). Investigation into the regional wrench tectonics of inner East Anatolia Turkey using potential field data. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 160, pp.86-95.

Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey – A synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3–30

Doğru M. & Yücel M. A., (2017). LANDSAT 8 OLI Multispektral Verileri Kullanılarak Litolojik Harita Yapımı, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, ss.172-184.

Emre, Ö., Doğan, A. & Özalp, S. (2011a). 1:250.000 Scale Active Fault Map Series of Turkey, Balıkesir (NJ 35-3) Quadrangle. Serial Number: 4, *General Directorate of Mineral Research and Exploration*, Ankara-Turkey.

Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S. & Yıldırım, C. (2011b). 1:250.000 Scale Active Fault Map Series of Turkey, Bandırma (NK 35-11b) Quadrangle. Serial Number: 4, *General Directorate of Mineral Research and Exploration*, Ankara-Turkey.

Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. & Şaroğlu, F. (2013). 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-30*, Ankara, Türkiye.

http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, (Last accessed January 2020)

https://gisgeography.com/landsat-8-bands-combinations, (Last accessed January 2020)

http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=49, (Last accessed January 2020)

Jackson, J. & McKenzie, D. P. (1984). Active tectonics of the Alpine–Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 77, 185–246.

Jordan, G. & Schott, B. (2005). Application of wavelet analysis to the study of spatial pattern of morphotectonic lineaments in digital terrain models. A case study. *Remote Sensing of Environment*, 94, pp. 31–38.

Jourda, J.P., Djagoua, E.V., Kouamé, K., Saley, M.B., Gronayes, C.C., Achy, J.J., Biémi, J. & Razack M. (2006). Identification et cartographie des unités lithologiques et des accidents structuraux majeurs du département de korhogo (nord de la côte d'ivoire): Apport de l'imagerie ETM+ de landsat. *Revue Télédétection*, 6 (2), pp. 123- 142.

Karaca Ö., Karagüzel R. & Ertunç A., (2003). Uzaktan Algılama Yöntemi Kullanılarak Fethiye ve Çevresinin Jeolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Seri A. Yerbilimleri C.20, S.1, s. 52-61.

Karnieli, A., Meisels, A., Fisher, L. & Arkin, Y. (1996). Automatic extraction and evaluation of geological linear features from digital remote sensing data using a hough transform. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62(5), 525-531.

Kavak, K. Ş. & Çetin H. (2007). A detailed geologic lineament analysis using Landsat TM data of Gölmarmara/Manisa Region, Turkey. *Online Journal of Earth Science*, 1, 3, 145-153.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Köküm, M. 2019. Lineament Analysis of the area between Palu (Elazığ) and Pütürge (Malatya) on the East Anatolian Fault System by using Landsat TM images. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi.* 9, 1, 119-127.

Kürçer, A., Chatzipetros, A., Tutkun, S. Z., Pavlides, S., Özden, S., Syrides, G., Vouvalidis, K., Ulugergerli, E., Ateş, Ö. & Ekinci, Y. L. (2012). An assessment of the earthquakes of Ancient Troy, NW Anatolia, Turkey. Tectonics, Book Series, Chapter 7, pp. 171–200.

Kürçer, A., Özalp S., Özdemir, E., Güldoğan, Ç. U. & Duman, T. Y., (2019). Active tectonic and paleoseismologic characteristics of the Yenice-Gönen fault, NW Turkey, in light of the 18 March 1953 Yenice-Gönen Earthquake (Ms=7.2). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 159, 29-63.

Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Lallemant, S., Noomen, R. & Veis, G. (1995). Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respect to Europe implications for eastern Mediterranean tectonics, *Journal of Geophysical Research*, 100, 12675-12690.

Lim, S., Ibrahim, K. & Tjia, D. (2001). Radiometric and Geometric information content of Tiung Sat-l MSEIS data, in: Tiung SAT1: *From Inception to Inauguration*, pp. 169-184.

McKenzie, D. P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 30 (2), 109– 185.

McKenzie, D. P. (1978). Active tectonics of the Alpine Himalayan Belt The Aegean Sea and surrounding regions, *Geophysical Journal International*, 55 (1), 217-254.

Mallast, U., Gloaguen, R., Geyer, S., Rodiger, T. & Siebert, C. (2011). Derivation of groundwater flow-paths based on semi-automatic extraction of lineaments from remote sensing data. *Hydrol. Earth Syst. Sci*., 15, 2665-2678.

Morelli, M. & Piana, F. (2006). Comparison between remote sensed lineaments and geological structures in intensively cultivated hills (Monferrato and Langhe domains, NW Italy). *International Journal of Remote Sensing*, 27, pp. 4471–4493.

O'Leary, D. W. Freidman, J. D. & Pohn, H.A. (1976). Lineament, linear, lineation: Some proposed new definitions for old terms. *Geological Society of America Bulletin*. 87:463-1469.

Oliveira, C., Filho, A. & Rossetti, D. F. (2012). Effectiveness of SRTM and ALOS-PALSAR data for identifying morphostructural lineaments in northeastern Brazil, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 33, No. 4, 1058-1077.

Över, S., Kavak, K. Ş., Bellier, O. & Özden, S. (2004). Is the Amik Basin (SE-Turkey) a Triple Junction Area? Analyses of SPOT XS Imagery and Seismicity, *International Journal of Remote Sensing*, Volume: 25, Number: 19, 3857-3872.

Özden, S., Gündoğdu, E. & Bekler T. (2015). "Interactions between Eurasian/African and Arabian plates: Eskişehir Fault, NW Turkey", *Journal of African Earth Sciences*, 111, 349-362.

Özden, S., Över, S., Altuncu Poyraz, S., Güneş, Y. & Pınar, A. (2018). "Tectonic implications of the 2017 Ayvacık (Çanakkale) earthquakes, Biga Peninsula, NW Turkey", *Journal of Asian Earth Sciences*, pp.125-141.

Platzman, E. S., Tapırdamaz, C. & Şanver, M. (1998). Neogene anticlock-wise rotation of central Anatolia (Turkey): preliminary palaeomagnetic and geochronological results. *Tectonophysics*, 299, pp. 175-189.

Rahnama, M. & Gloaguen R., (2014). TecLines: A MATLAB-Based Toolbox for Tectonic Lineament Analysis from Satellite Images and DEMs, Part 1: Line Segment Detection and Extraction, *Remote Sensing*, 6, 5938-5958.

Rayan, T. (2013). Automatic Extraction and Geospatial Analysis of Lineaments and their tectonic significance in some areas of Northern Iraq using remote sensing techniques and GIS. *International journal of enhanced research in science technology and engineering*, 2 (2), FEB.

Sedrette, S. & Rebaï, N. (2016). Automatic extraction of lineaments from Landsat ETM+ images and their structural interpretation: Case Study in Nefza region (North West of Tunisia). *Journal of Research in Environmental and Earth Sciences*, 04, 139-145.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Shahzad, F. Gloaguen, R. & Tecdem, A., (2011). Matlab based toolbox for tectonic geomorphology, part 1: Drainage network preprocessing and stream profile analysis. *Computers & Geosciences*, 37, 250–260.

Süzen, M. L. & Toprak, V. (1998). Filtering of Satellite Images in Geological Lineament Analyses: An Application to A Fault Zone in Central Turkey, *International Journal of Remote Sensing*, 196:6, 1101- 1114.

Şaroğlu, F., Emre, Ö. & Kuşçu, İ., (1992). Türkiye Diri Fay Haritası. *M.T.A. serisi*, Ankara.

Şengör, A. M. C. (1979). The North Anatolian transform fault: Its age, offset and tectonic signifi cance. *Journal of the Geological Society*, 136, 269–282.

Şengör, A. M. C. (1980). Türkiye'nin Neotektoniği'nin Esasları, *Türkiye Jeoloji Kurumu Konferans Serisi 2*.

Şengör, A. M. C., Görür, N. & Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: Biddle, K. & Christie-Blick, N. (eds), Strike-Slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, Special Publications 37, 227–264.

Şengör, A. M. C. & Barka, A. A. (1992). Evolution of escape-related strike-slip systems: Implications for distribution of collisional orogens. *29th International Geological Congress*, Kyoto, Japan, Abstracts, 1, 232.

Taymaz, T., Jackson, J. & McKenzie, D. P. (1991). Active tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophysical Journal International*, 106, 433–490.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

MADENCİLİK VE MADEN ÇIKARMA BÖLÜMÜ ÖĞRENCİLERİNİN, İŞLETMEDE MESLEKİ EĞİTİM (3+1) KAPSAMINDA İŞ BAŞI EĞİTİMİ YAPABİLECEĞİ KAMU KURUMLARIN COĞRAFİK DAĞILIMI

Dr. Erdem GÜNDOĞDU

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, erdem@comu.edu.tr - ORCID ID

ÖZET

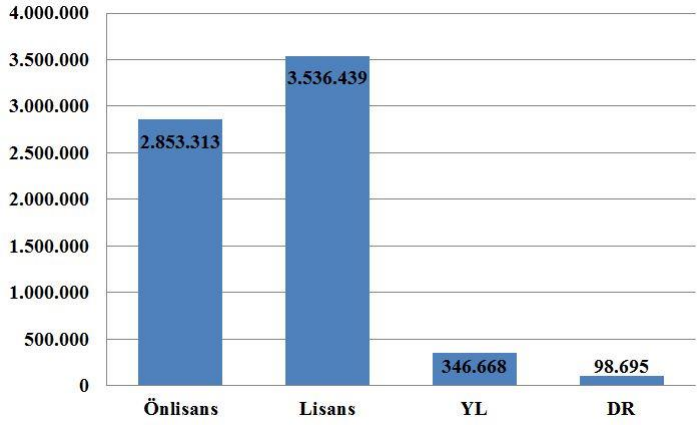
Bilindiği gibi, meslek yüksekokullarında ön lisans düzeyinde öğrenim gören öğrencilerin mesleki bilgi, beceri ve tecrübelerini geliştirmek üzere uygulanan 3+1 modeli ile, öğrencilere öğrenim hayatı sırasında 1 dönem (yarıyıl), iş başında eğitim imkanı sunulmaktadır. Bu sayede öğrenciler, mezun olduklarında staj deneyimlerinin yanı sıra, 1 dönem (yarıyıl) boyunca işletme tecrübesi kazanarak, iş yaşamına daha hazır ve deneyimli hale gelebilmektedir. Bu çalışmada, ön lisans eğitim boyunca Meslek Yüksekokullarında Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümünün altında yer alan ve "Madencilik Teknolojisi" ve Sondaj Teknolojisi" Programlarında öğrenim gören öğrencilerin, işletmede mesleki eğitim kapsamında işbaşı eğitimi yapabileceği kamu kurumlarının, coğrafik bölgelere göre dağılımı belirlenmiştir. Ülkemizde yer alan "Madencilik Teknolojisi" ve Sondaj Teknolojisi" programlarının mevcut olduğu üniversiteler, öğrenci kontenjanları, bu programdan mezun olan öğrencilerin istihdam olanakları, coğrafik bölge bazlı olacak şekilde birlikte değerlendirilmiştir. Tüm bu veriler tek bir harita üzerinde sayısal olarak gösterilmiş olup, bu alanda İşletmede Mesleki Eğitim (3+1) Kapsamında, İş Başı Eğitimi Yapmayı planlayan öğrenciler için, bir veri tabanı oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İstihdam, İşletmede Mesleki Eğitim, Meslek Yüksekokulları, Madencilik Teknolojisi, Sondaj Teknolojisi

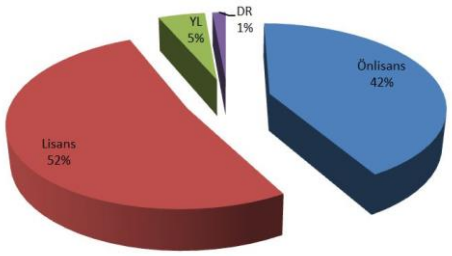
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı'nın (YÖK) verilerine göre, ülkemizde aktif 2.853.313 önlisans öğrencisi bulunmakta olup, önlisans öğrencilerinin yükseköğretim içerisindeki oranı %42'dir.



Şekil 1. *Öğrenim düzeyine göre özğrenci sayıları (2024-2025 verileri) (https://istatistik.yok.gov.tr)*



Şekil 2. *Öğrenim düzeyine göre özğrenci sayılarının oransal dağılımı (2024-2025 verileri) (https://istatistik.yok.gov.tr adresinden grafikleştirilmiştir)*

Bilindiği gibi meslek yüksekokulları gerek özel sektör gerekse kamu sektörüne ara eleman yetiştirmekte olup, mezunlarının çok geniş istihdam olanakları bulunmaktadır. Bu alanda öğrenim gören öğrencilerin, öğrenimleri sırasında kariyer olanakları hakkında bilgi sahibi olmaları ve staj yeri tercihlerini daha sağlıklı yapabilmeleri için, mesleki alanlarda bilgilendirilmeleri son derece önemlidir. Buna ilaveten, öğrenim gördükleri alana yönelik staj ve kariyer olanaklarının belirlenip geliştirilmesi son derece önemlidir

Ara eleman yetiştiren Meslek Yüksekokulu öğrencilerinin, öğrenimleri sırasında, özellikle staj olanakları ve mezuniyetleri sonrasında istihdam imkânları ile ilgili eğitim almaları son derece önemlidir. Öğrencilerimizin, meslek olanakları ile ilgili genel bilgilendirmeler gerek üniversitemiz genel duyuruları ile gerekse müfredatlarında okutulan kariyer planlama dersleri ile sağlanmaya çalışılmaktadır.

Madencilik Teknolojisi ve Sondaj Teknolojisi programlarından mezun olan öğrencilerin, ülkemizde kamu ve özel sektörde çok geniş bir çalışma alanı bulunmaktadır. Sondaj Teknolojisi Programı mezunları; petrol ve gaz şirketlerinde, sondaj hizmeti sağlayan firmalarda, enerji sektöründe veya madencilik sektöründe istihdam edilebilmektedirler. Madencilik Teknolojisi Programı mezunları ise, maden sahalarında araştırma, üretim ve yönetim alanlarında çalışma

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

imkânına sahiptirler. Ayrıca, madencilik ekipmanı ve teknolojisi üreten firmalarda, danışmanlık şirketlerinde veya kamu kurumlarında görev alabilirler.

2. MADENCİLİK VE MADEN ÇIKARMA BÖLÜMÜ ÖĞRENCİLERİE AİT KONTENJAN İSTTAİSTİKLERİ

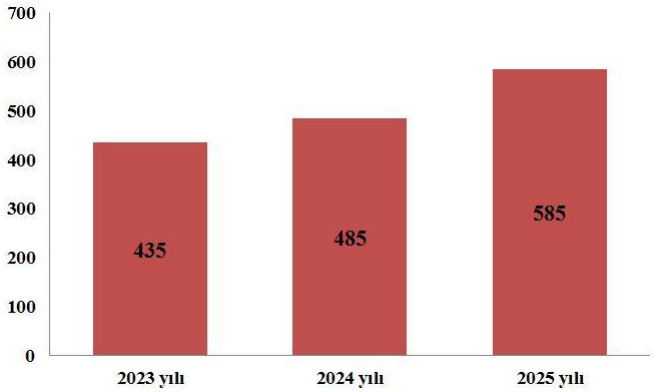
Tablo 1. *Madencilik Teknolojisi Programı öğrencilerinin 2023-2025 yılları arasındaki YKS kontenjanları (osym.gov.tr Yükseköğretim Programları ve Kontenjanları Kılavuzu)*

Madencilik Teknolojisi Programı					
No	**Üniversite**	**Meslek Yüksekokulu**	**YKS Kontenjanı**		
			2023	**2024**	**2025**
1	Balıkesir	Balıkesir	40	40	40
2	Çanakkale Onsekiz Mart	Çan	30	30	30
3	Çukurova	Aladağ	20	20	20
4	Dokuz Eylül	Torbalı	30	30	30
5	Gümüşhane	Gümüşhane	25	25	25
6	Kahramanmaraş Sütçü İmam	Afşin	35	35	35
7	Malatya Turgut Özal	Hekimhan M.E.S.	20	20	20
8	Manisa Celâl Bayar	Soma	50	50	50
9	Pamukkale	Kale	30	40	40
10	Sivas Cumhuriyet	Sivas Teknik Bilimler	-	-	20
11	Zonguldak Bülent Ecevit	Zonguldak (Kilimli)	40	40	40
	Toplam		***320***	***330***	***350***

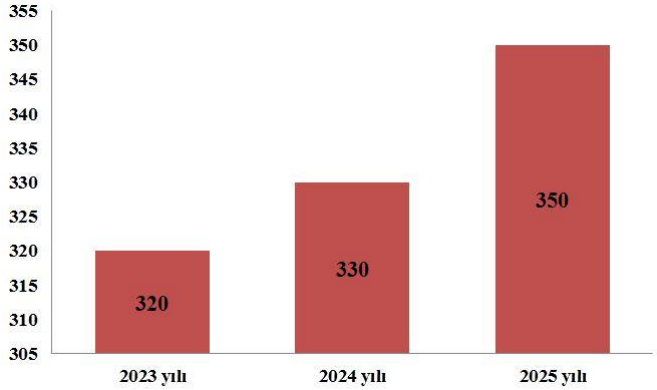
Tablo 2. *Sondaj Teknolojisi Programı öğrencilerinin 2023-2025 yılları arasındaki YKS kontenjanları (osym.gov.tr Yükseköğretim Programları ve Kontenjanları Kılavuzu)*

Sondaj Teknolojisi Programı					
No	**Üniversite**	**Meslek Yüksekokulu**	**YKS Kontenjanı**		
			2023	**2024**	**2025**
1	Adıyaman	Teknik Bilimler	25	25	25
2	Batman	Teknik Bilimler	40	40	40
3	Çanakkale Onsekiz Mart	Çan	25	30	30
4	Dokuz Eylül	Torbalı	25	30	30
5	Kırşehir Ahi Evran	Kaman	-	30	30
6	Malatya Turgut Özal	Hekimhan M.E.S.	-	-	30
7	Sivas Cumhuriyet	Sivas Teknik Bilimler	-	-	20
8	Şırnak	Şırnak	-	-	30
	Toplam		***115***	***155***	***235***

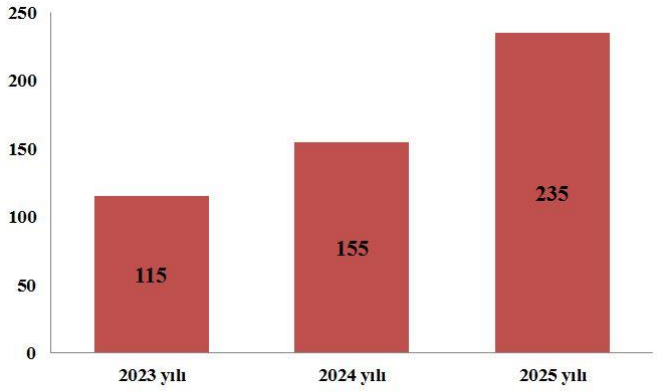
ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Şekil 3. Madencilik Teknolojisi ve Sondaj Teknolojisi Programı, YKS toplam kontenjanının yıllara göre değişimi. (osym.gov.tr adresindeki Yükseköğretim Programları ve Kontenjanları Kılavuzu verilerinden derlenmiştir)

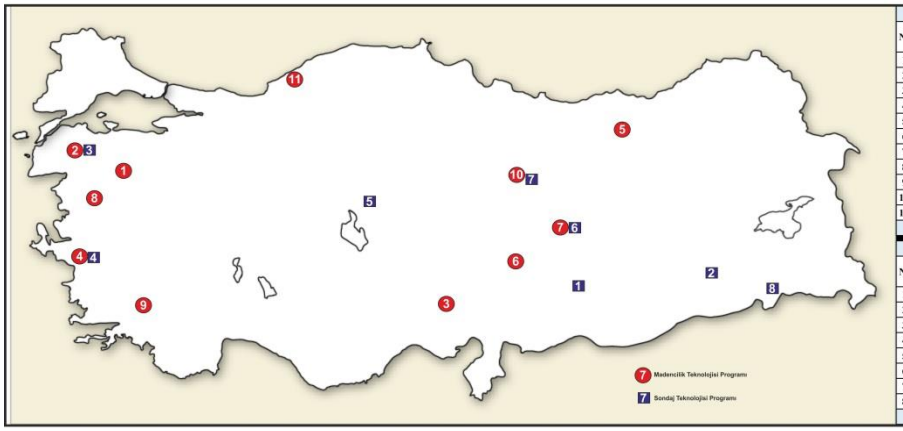


Şekil 4. Madencilik Teknolojisi Programı, YKS toplam kontenjanının yıllara göre değişimi. (osym.gov.tr adresindeki Yükseköğretim Programları ve Kontenjanları Kılavuzu verilerinden derlenmiştir)



Şekil 5. Sondaj Teknolojisi Programı, YKS toplam kontenjanının yıllara göre değişimi. (osym.gov.tr adresindeki Yükseköğretim Programları ve Kontenjanları Kılavuzu verilerinden derlenmiştir)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Madencilik Teknolojisi Programı

No	Üniversite	Meslek Yüksekokulu	YKS Kontenjanı		
			2023	2024	2025
1	Balıkesir	Balıkesir	40	40	40
2	Çanakkale Onsekiz Mart	Çan	30	30	30
3	Çukurova	Aladağ	20	20	20
4	Dokuz Eylül	Torbalı	30	30	30
5	Gümüşhane	Gümüşhane	25	25	25
6	Kahramanmaraş Sütçü İmam	Afşin	35	35	35
7	Malatya Turgut Özal	Hekimhan M.E.S.	20	20	20
8	Manisa Celâl Bayar	Soma	50	50	50
9	Pamukkale	Kale	30	40	40
10	Sivas Cumhuriyet	Sivas Teknik Bilimler	-	-	20
11	Zonguldak Bülent Ecevit	Zonguldak (Kilimli)	40	40	40
	Toplam		*320*	*330*	*350*

Sondaj Teknolojisi Programı

No	Üniversite	Meslek Yüksekokulu	YKS Kontenjanı		
			2023	2024	2025
1	Adıyaman	Teknik Bilimler	25	25	25
2	Batman	Teknik Bilimler	40	40	40
3	Çanakkale Onsekiz Mart	Çan	25	30	30
4	Dokuz Eylül	Torbalı	25	30	30
5	Karşıyaka Ahi Evran	Kaman	-	30	30
6	Malatya Turgut Özal	Hekimhan M.E.S.	-	-	30
7	Sivas Cumhuriyet	Sivas Teknik Bilimler	-	-	20
8	Şırnak	Şırnak	-	-	30
	Toplam		*115*	*155*	*235*

Şekil 6. Ülkemizde, Madencilik Teknolojisi ve Sondaj Teknolojisi Programı olan üniversiteler ve meslek yüksekokullar

3. MADENCİLİK SEKTÖRÜ İLE TÜRKİYE'DE YER ALAN KAMU KURUMLARI

Ülkemizde Madencilik sektöründe faaliyet gösteren ve Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü'nün altında yer alan Madencilik Teknolojisi ile Sondaj Teknolojisi Programlarında öğrenim gören öğrencilerin mesleki eğitim kapsamında (3+1 modeli) iş başı eğitimi yapabilecekleri 5 adet kamu kurumunun Türkiye'deki işletmeleri ve bölge müdürlükleri taranmıştır. Bu kapsamda, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Müdürlüğü'ne ait 12 bölge müdürlüğü, Türkiye Taş Kömürleri'ne (TTK) ait 5 adet işletme, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığına (TPAO) ait 4 adet işletme, Türkiye Kömür İşletmelerine (TKİ) ait 3 adet işletme ve ETİ Madene ait 6 adet işletmenin, Türkiye haritası üzerinde dağılımı gösterilmiştir.

Bu doğrultuda, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Müdürlüğü'ne ait 12 bölge müdürlükleri bulundukları illere göre sırasıyla; Sivas, Konya, Ankara, Malatya, İzmir, Balıkesir, Zonguldak, Kocaeli, Adana, Van, Trabzon ve Diyarbakır'dır. Bu bölge müdürlüklerinin ve bunlara bağlı şube müdürlüklerinin dağılımı Şekil 7 ve 8 ile Tablo 3'de sunulmuştur.

ETİ Madene ait 6 işletme ise; Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletme Müdürlüğü, Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü, Emet Bor İşletme Müdürlüğü, Kırka Bor İşletme Müdürlüğü, Beylikova Florit, Barit ve Nadir Toprak Elementleri İşletme Müdürlüğü, Polatlı Sodyum Sülfat İşletme Müdürlüğü'nden oluşmaktadır (Şekil 9).

Türkiye Taş Kömürleri'ne (TTK) ait 5 adet işletme Zonguldak / Armutçuk, Bartın / Amasra, Zonguldak / Üzülmez, Zonguldak / Karadon ve Zonguldak / Kozlu'dan oluşmaktadır (Şekil 10).

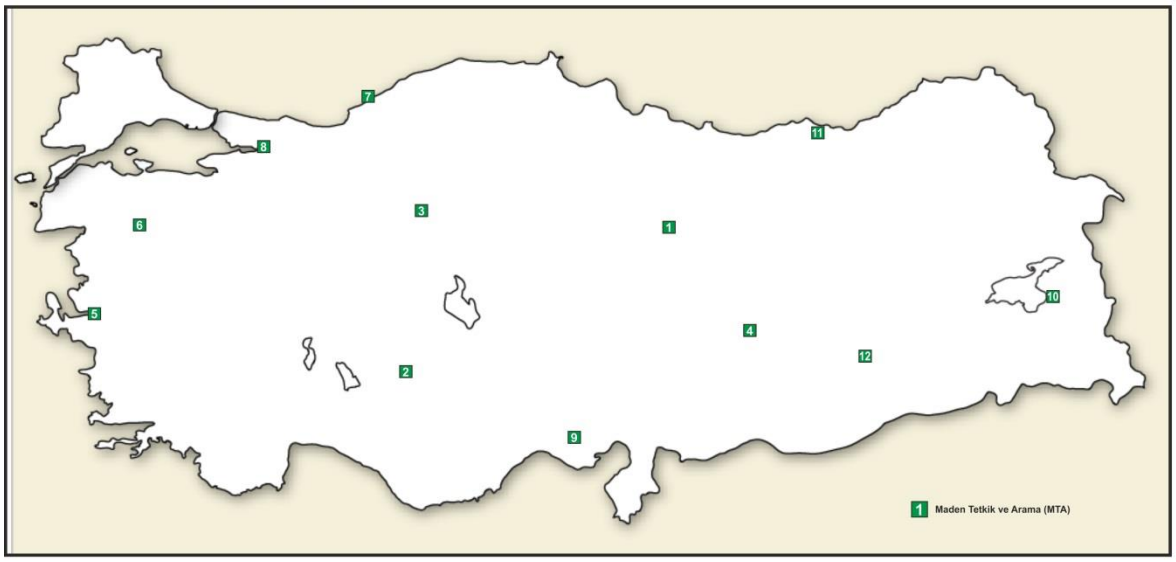
Türkiye Kömür İşletmelerine (TKİ) ait 3 adet işletme; Çanakkale / Çan, Manisa / Soma ve Kütahya / Tavşanlı'dan oluşmaktadır (Şekil 11).

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığına (TPAO) ait 4 adet merkez ise, Kırklareli, Adıyaman, ve Şırnak illerinde yer almaktadır (Şekil 12).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Tablo 3. Maden sektöründe faaliyet gösteren 5 adet kuruma ait işletme bilgileri

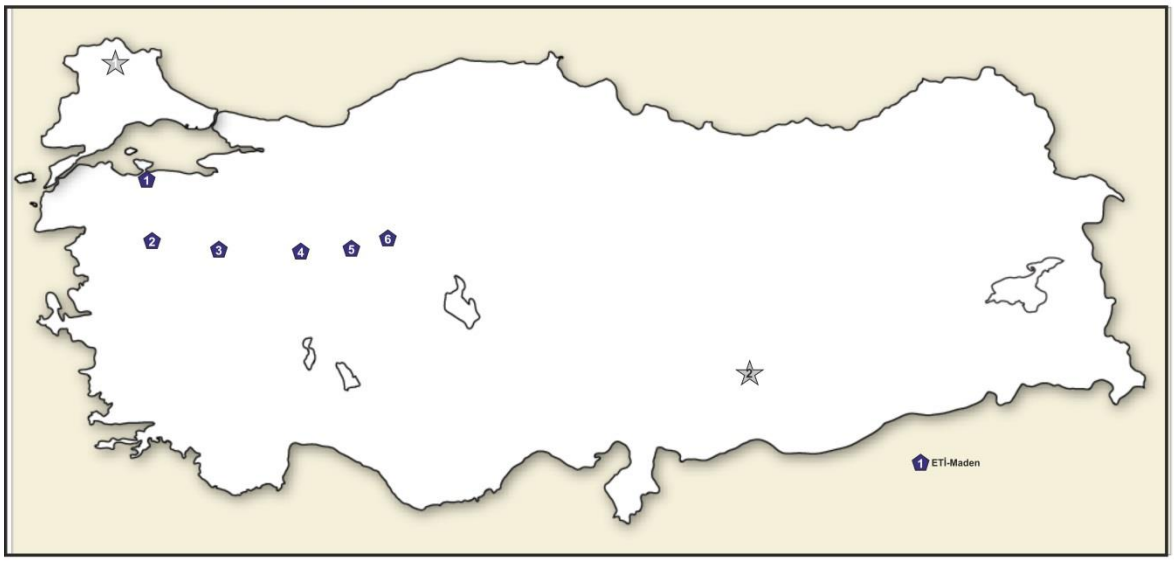
MTA		ETİ Maden		TTK		TKİ		TPAO	
1	Sivas	1	Bandırma Bor ve Asit Fab. İşl. Müd.	1	Zonguldak / Armutçuk	1	Çanakkale / Çan	1	Kırklareli
2	Konya	2	Bigadiç Bor İşl. Müd.	2	Bartın / Amasra	2	Manisa / Soma	2	Adıyaman
3	Ankara	3	Emet Bor İşl. Müd.	3	Zonguldak / Üzülmez	3	Kütahya / Tavşanlı	3	Batman
4	Malatya	4	Kırka Bor İşl. Müd.	4	Zonguldak / Karadon			4	Şırnak
5	İzmir	5	Beylikova Florit, Barit ve N.T.E. İşl. Müd.	5	Zonguldak / Kozlu				
6	Balıkesir	6	Polatlı Sodyum Sülfat İşl. Müd.						
7	Zonguldak								
8	Kocaeli								
9	Adana								
10	Van								
11	Trabzon								
12	Diyarbakır								



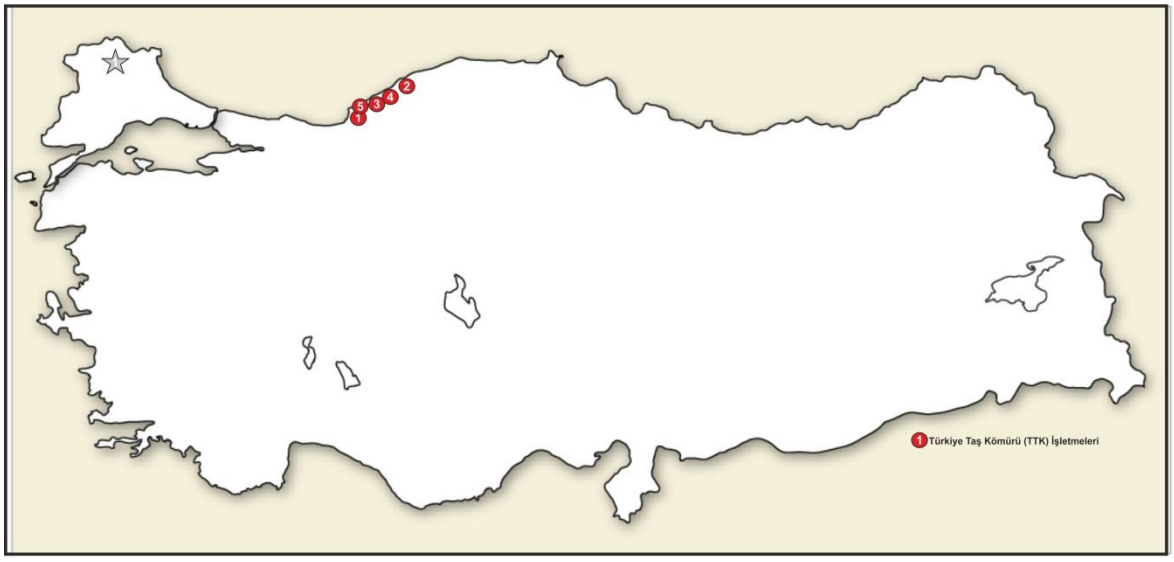
Şekil 7. Maden Tektitk ve Arama Genel Müdürlüğüine bağlı bölge müdürlükleri

Şekil 8. Maden Tektitk ve Arama Genel Müdürlüğüine bağlı bölge müdürlükleri ve bağlı şube müdürlükleri(https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bolge-mudurlukleri/images/bolge-haritasi-2015.png)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

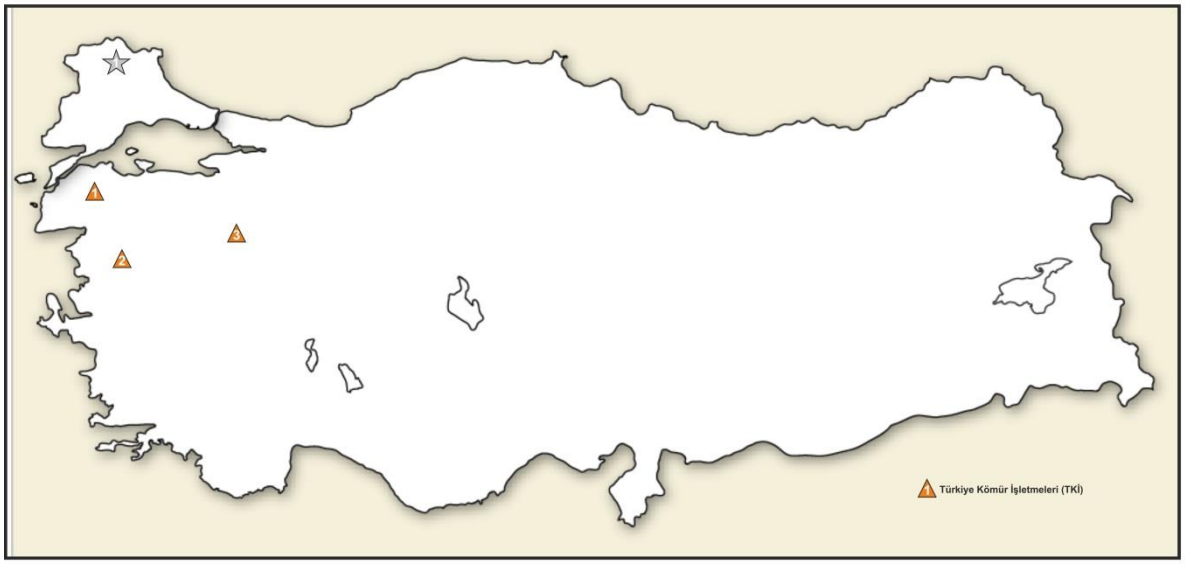


Şekil 9. Eti Maden İşletmelerine ait kurumlar

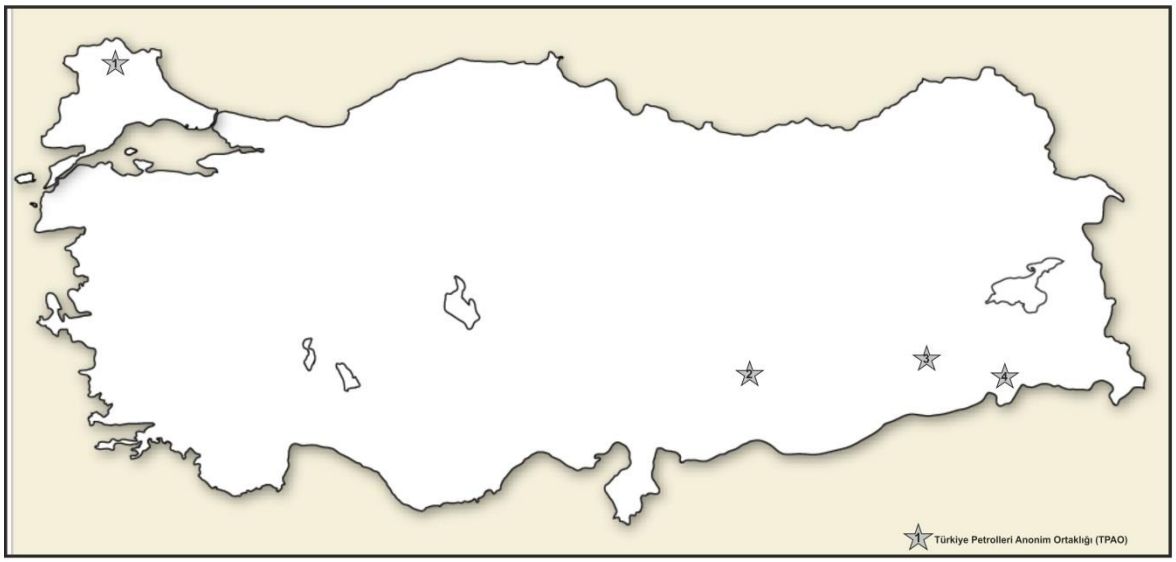


Şekil 10. Türkiye Taş Kömürü (TTK) İşletmelerine ait kurumlar

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Şekil 11. Türkiye Kömür İşletmelerine (TKİ) Ait Kurumlar



Şekil 12. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO)na ait kuruluşlar

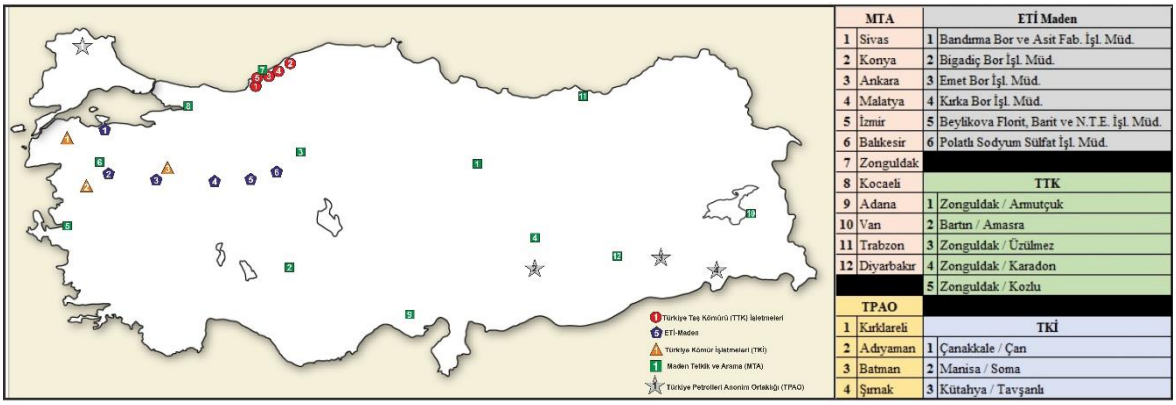
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Meslek yüksekokullarında ön lisans düzeyinde öğrenim gören öğrencilerin mesleki bilgi, beceri ve tecrübelerini geliştirmek üzere uygulanan 3+1 modeli ile, öğrencilere öğrenim hayatı sırasında 1 dönem (yarıyıl), iş başında eğitim imkanı sunulmaktadır. Bu sayede öğrenciler, mezun olduklarında staj deneyimlerinin yanı sıra, 1 dönem (yarıyıl) boyunca işletme tecrübesi kazanarak, iş yaşamına daha hazır ve deneyimli hale gelebilmektedir. Madencilik Teknolojisi ve Sondaj Teknolojisi programlarından mezun olan öğrencilerin, ülkemizde kamu ve özel sektörde çok geniş bir çalışma alanı bulunmaktadır. ÖSYM verilerine göre bu 2 programa 2025 yılında toplam 585 kontenjan ayrılmış olup, yıllar içindeki kontenjan değişimi, arz-talep dengesini koruyacak şekilde devam etmektedir.

Bu programlarda öğrenim gören öğrencilerin, 5 adet büyük kamu kurumunda işbaşı eğitim ve staj yapabilecekleri yerler listelenmiş (Şekil 12 ve Tablo 3), bağlı oldukları şubeler ve işletmeler de belirtilmiştir. Bu kapsamdaki tüm kamu kurumlarının ve hatta kuruluşların da bu kapsama dahil edilerek, sayısal bir harita yapılması, yapılan protokollerin işbaşı eğitim için

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

kurum/kuruluşların öğrencilere ayıracakları kontenjanlarının da bu harita üzerinde sayısallaştırılarak belirtilmesi, öğrencilerin planlama yapmaları açısından yararlı olabileceği, bundan sonraki çalışmalar için öneri olarak sunulabilir.



	MTA		ETİ Maden
1	Sivas	1	Bandırma Bor ve Asit Fab. İşl. Müd.
2	Konya	2	Bigadiç Bor İşl. Müd.
3	Ankara	3	Emet Bor İşl. Müd.
4	Malatya	4	Kırka Bor İşl. Müd.
5	İzmir	5	Beylikova Florit, Barit ve N.T.E. İşl. Müd.
6	Balıkesir	6	Polatlı Sodyum Sülfat İşl. Müd.
7	Zonguldak		
8	Kocaeli		TTK
9	Adana	1	Zonguldak / Armutçuk
10	Van	2	Bartın / Amasra
11	Trabzon	3	Zonguldak / Üzülmez
12	Diyarbakır	4	Zonguldak / Karadon
		5	Zonguldak / Kozlu
	TPAO		
1	Kırklareli		TKİ
2	Adıyaman	1	Çanakkale / Çan
3	Batman	2	Manisa / Soma
4	Şırnak	3	Kütahya / Tavşanlı

Şekil 13. Maden sektöründe faaliyet gösteren 5 adet kuruma ait işletme bilgileri

5. KAYNAKÇA

1. https://istatistik.yok.gov.tr (2025). 2024-2025 verileri. Son Erişim Tarihi: 29.12.2025

2. https://osym.gov.tr (2025). Yükseköğretim Programları ve Kontenjanları Kılavuz. Son Erişim Tarihi: 29.12.2025

3. https://www.mta.gov.tr Bölge Müdürlükleri. Son Erişim Tarihi: 29.12.2025
https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bolge-mudurlukleri/images/bolge-haritasi-2015.png

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

IDENTFYING THE LEGAL MULTIPLIER EFFECT IN CONSTRUCTION DISPUTES: AN ANALYTICAL FRAMEWORK SSUPPORTED BY AI-BASED TEXT ANALYSIS

HASAN EFEKAN BİLEN
Istanbul Technical University, bilen23@itu.edu.tr - https://orcid.org/0009-0006-9096-4488

Assoc.Prof. ONUR BEHZAT TOKDEMİR
Istanbul Technical University, otokdemir@itu.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-4101-8560

ABSTRACT

The construction sector also belongs to the core structure of Turkish economy in addition to ensuing an immense number of technically intricate cases. In the Turkish judicial structure, cases are mostly settled in the form of expert opinions. This creates complex legal repercussions in multiple levels, including the fields of civil, administrative, and criminal laws. It is in this context that the Legal Multiplier Effect, to be explained in this study, has been identified as the situation in litigation cases in which an immense number of legal liabilities are engendered through one technical flaw in the construction project.

The main aim of this research is to conceptualize this phenomenon and explore its structural properties in construction disputes. By leveraging legally available case files and judicial datasets, descriptions of technical failure are explored in relation to their respective legally mandated results. The results show that single technical failures, such as lack of license or non-compliance with structure, lead to a cascade effect of three to seven cumulative, uniquely specific juridical results, which span multiple areas of law.

For facilitating the analysis, Artificial Intelligence technology for text analysis, like Natural Language Processing and large language models, is used. Such analysis allows for the systematic assignment of descriptions to categories, which increases the transparency of legal spread patterns without eliminating judicial thinking. The outcomes confirm that the analysis performed with the help of Artificial Intelligence can identify hidden structural relationships among engineering failures and legal decisions.

As a structured formulation of Legal Multiplier Effect, this work makes a specific, committed, and targeted analysis for construction disputes and presents a methodological approach for interpreting cumulative legal implications from a technically driven litigation environment.

Keywords: Construction Disputes, Legal Multiplier Effect, Judicial Analysis, Artificial Intelligence, Engineering Failures

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KENTSEL DÖNÜŞÜM ÖNCESİ VE SONRASI BİNA YERLEŞİMLERİNİN KARMAŞIKLIĞININ METRİK ENTROPİ YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

FEYZA SENA GÜLMEZ
İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü-Geomatik Mühendisliği Programı
gulmezf20@itu.edu.tr - 0009-0005-3967-5894
Doç. Dr. SERDAR BİLGİ
İstanbul Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü
bilgi@itu.edu.tr - 0000-0002-8396-3202

ÖZET

Cumhuriyetin kuruluşundan itibaren ülkemizdeki kalkınma önceliği bağlamında kırsal alanlardan kentsel alanlara doğru hızlı bir nüfus artışı oluşmuştur. Söz konusu hızlı nüfus artışı sürecinde ise kentlerde yeni yaşam alanlarına olan ihtiyaç, beraberinde hızlı ve plansız yerleşimler, çarpık kentleşme gibi sorunları getirmiştir. Özellikle 1999 depremlerinden sonra ülkemizdeki deprem gerçeği ve aktif fay yapıları; projesiz, denetimsiz, yasal olmayan ve deprem güvenliği zayıf binaların gerek parsel bazlı gerekse de ada bazlı kentsel dönüşüm uygulamaları neticesinde güvenli binalara dönüşmesini zorunlu hale getirmiştir.

Kentsel dönüşüm sadece yapısal iyileştirmeleri değil, kent dokusunu ve binaların mekânsal dağılımlarını da birlikte getirdiği için, sürecin bilimsel yöntemlerle değerlendirilmesi de gereklidir. Kentsel dönüşümün gerçekleştirildiği yerleşim alanının, dönüşüm öncesi ve dönüşüm sonrası karmaşıklık yönünden değerlendirilmesi konusu, bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Çalışmada, kentsel dönüşüm uygulamaları sonrasında kent dokusunda oluşan mekânsal değişimlerin nicel olarak belirlenmesi amacı metrik entropi yöntemi kullanılmıştır. Çalışma alanı seçilmiş olan İstanbul İli Üsküdar İlçesi Kirazlıtepe Mahallesi'nde dönüşüm öncesi/dönüşüm sonrası metrik entropi hesaplamaları yapılmıştır. Çalışma alanının büyük ölçekli bir kentsel dönüşüm sürecinden geçmiş olması, riskli alan statüsüne sahip olması ve dönüşüm öncesi ve sonrası yapı verilerinin erişilebilirliği, çalışma alanı seçimini belirleyici kılmıştır. Analiz kapsamında dönüşüm öncesi 2009 yılına ve dönüşüm sonrası 2024 yılına ait bina taban alanı verileri kullanılmıştır. Her iki döneme ait bina geometrileri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında değerlendirilmiş; bina ağırlık merkezleri referans alınarak Voronoi poligonları oluşturulmuştur. Voronoi poligonlarının alanları, metrik entropi hesaplamalarında olasılık bileşeni olarak kullanılmıştır. Tüm analizler, açık kaynaklı bir CBS yazılımı olan QGIS ortamında gerçekleştirilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Elde edilen bulgular, kentsel dönüşüm öncesi dönemde metrik entropi değerinin 6.27361, kentsel dönüşüm sonrasında ise 4.91293 olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, dönüşüm sonrasında çalışma alanındaki mekânsal karmaşıklık düzeyinin azaldığını ve daha homojen bir fiziksel yapılaşmanın oluştuğunu ortaya koymaktadır. Özellikle dönüşüm sonrası dönemde Voronoi poligonlarının alan büyüklükleri arasındaki farkların azalması, binaların mekânsal dağılımında daha düzenli bir yapı oluştuğunu göstermektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, metrik entropi yönteminin kentsel dönüşüm süreçlerinin mekânsal etkilerini nicel olarak değerlendirmede etkin bir araç olduğunu ortaya koymakta; kentsel dönüşüm projelerinin mekânsal sonuçlarının değerlendirilmesinde planlama ve karar alma süreçlerine katkı sağlayabilecek bir analiz yaklaşımı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Dönüşüm, Mekânsal Karmaşıklık, Metrik Entropi Yöntemi, Voronoi Poligonları

EVALUATION OF THE COMPLEXITY OF BUILDING LOCATIONS BEFORE AND AFTER URBAN RENEWAL USING THE METRIC ENTROPY METHOD

SUMMARY

Since the establishment of the Republic, Türkiye has experienced rapid rural-to-urban population growth aligned with national development priorities. This urbanization, coupled with increased demand for residential space, has led to challenges such as unplanned settlements and irregular development. Following the 1999 earthquakes and in light of Türkiye’s seismic risk, the necessity to renovate unsupervised and vulnerable buildings became evident. Consequently, urban renewal practices were initiated at both parcel and block scales.

Urban renewal encompasses both structural modifications and transformations in the urban fabric and building distribution. Accordingly, these processes require evaluation using scientific, quantitative methods. This study seeks to assess spatial complexity in settlement areas undergoing urban renewal by comparing conditions before and after renewal.

This study employed the metric entropy method to quantitatively identify spatial changes in the urban fabric resulting from urban renewal. Metric entropy calculations were performed for both pre- and post-renewal periods in the Kirazlıtepe Neighborhood of the Üsküdar District in İstanbul, selected due to its large-scale urban renewal, designation as a risky area, and the availability of comprehensive building data. The analysis utilized building footprint data from 2009 (pre-renewal) and 2024 (post-renewal). Building geometries for both periods were analyzed in a Geographic Information Systems (GIS) environment, with Voronoi polygons generated from the centroids of building footprints. The areas of these Voronoi polygons served

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

as the probability component in the metric entropy calculations. All analyses were conducted using QGIS, an open-source GIS software.

The results show that the metric entropy value was 6.27361 in the pre-renewal period and decreased to 4.91293 in the post-renewal period. This reduction indicates a decline in spatial complexity, resulting in a more homogeneous physical structure. Specifically, the reduced variation in Voronoi polygon areas in the post-renewal period reflects a more regular, uniform spatial distribution of buildings.

In conclusion, this study demonstrates that the metric entropy method serves as an effective analytical tool for quantitatively evaluating the spatial impacts of urban renewal. The findings suggest that this method yields valuable insights into changes in spatial complexity. Furthermore, it provides a robust quantitative framework that can inform urban planning and decision-making by assessing the spatial outcomes of urban renewal projects.

Keywords: Urban renewal, spatial complexity, metric entropy, Voronoi polygons

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

GENERATING NEW CHAOTIC MAPS VIA TOPOLOGICAL CONJUGACY USING LOGISTIC AND TENT MAPS

İsmail Alper GÜVEY*
Aksaray University, ismailalper.guvey@aksaray.edu.tr - 0009-0008-6165-643X

Rüstemcan MARTİN
Aksaray University, rustemcanmartin0@gmail.com

Emre DAYANÇ
Aksaray University, emredayanc452@gmail.com

ABSTRACT

Chaotic dynamical systems, also known as chaotic maps (functions) are interesting research subjects with applications ranging from engineering to image encryption, and from fractals to cryptology. In 1989, Robert L. Devaney gave the most preferred definition of chaotic map. According to this definition, a chaotic map has dense periodic points, is topologically transitive, and is sensitive to initial conditions. He also investigated the dynamical behaviour of some special functions. For instance, $f:[0,1] \to [0,1]$, $f(x) = 4x(1-x)$ and $g:[0,1] \to [0,1]$, $g(x) = 1 - |2x - 1|$ are the most widely used chaotic functions which are called the logistic map and the tent map respectively. There are some methods for generating new chaotic maps, such as topological conjugacy, carrying functions over to product spaces, and investigating the dynamical systems in hyperspace. Topological conjugacy enables establishing topological equivalence between functions and constructing new ones. Mathematically, let X and Y be topological spaces with functions $f:X \to X$ and $g:Y \to Y$. If there exists a homeomorphism $h:X \to Y$ such that $g \circ h = h \circ f$, then f and g are called topological conjugate functions. In particular, given $f:X \to X$ and a homeomorphism $h:X \to Y$, one may define a function $g:Y \to Y$ as $g = h \circ f \circ h^{-1}$. In this work, we use logistic and tent maps combined with linear functions $(h(x) = ax + b)$, the square root function $(h(x) = \sqrt{x})$, and, parabolas $(h(x) = ax^2 + bx + c)$ using the topological conjugacy method.

Keywords : Chaotic Dynamical Systems, Logistic Map, Tent Map, Topological Conjugacy.

Acknowledgement : This work is supported by TÜBİTAK 2209-A Research Project Support Programme for Undergraduate Students (Project Number: 1919B012420313). We would like to express our gratitude to TÜBİTAK for its support.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

NUMERICAL APPROACH FOR A FRACTIONAL MATHEMATICAL MODEL OF CANCER CELL POPULATION

Asst. Prof. Dr. Suleyman CETINKAYA
Kocaeli University,
suleyman.cetinkaya@kocaeli.edu.tr - 0000-0002-8214-5099
Prof. Dr. Ali DEMIR
Kocaeli University,
ademir@kocaeli.edu.tr - 0000-0003-3425-1812

ABSTRACT

This study focuses on the solution of time fractional partial differential equations, modeling cancer cell population, including killing rates depending on time through the fractional Euler method. The proposed method provides a better tool for solving fractional differential equations. The model under consideration also plays a significant role in the modeling of various cancer types.

Keywords: Caputo fractional derivative, Fractional differential equations, Cancer cell population, Fractional Euler method

1. INTRODUCTION

In recent years, fractional differential equations have been used instead of integer order differential equations to model various systems to get better results about the behavior of the systems. In the modeling of cancer populations, fractional differential equations provide better analysis, helping in the cure of the cancer. The fundamental contribution of the fractional derivatives is that their memory effect enables us to analyze heterogeneous and intricate systems better compared to integer order derivatives. These results can be seen in the modeling of logistic and growing models, such as Gompertz and Bertalanffy, providing better foreseen in clinical studies [1]. The book written by Brauer and Castillo-Chavez focuses on the mathematical modeling methods in population biology and epidemiology, which explain population dynamics, disease spread, and epidemiological events [2]. Moreover, Diethelm wrote a comprehensive book about fractional differential equations to explain fundamental concepts and mathematical structures in fractional calculus, as well as the properties of

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

fractional derivatives and their numerical solutions [3]. Diethelm et al. investigated the current research methods and foreseen potential research methods, and related open problems in the future [4]. On the other hand, Garrappa emphasized that ignoring locality leads to big errors in the numerical results [5]. Rosu developed parallel algorithms to improve results in numerical solutions, which reduces the computational cost [6]. Enderling et al. claimed that mathematical models in radiotherapy must be personalized, which contributes to the quality of cancer treatments [7]. D'Onofrio and Gandolfi analyze the role of mathematical modeling and simulation in cancer research, which helps to understand the foundations of cancer at the biological and molecular levels [8]. Jackson et al. investigate how mathematical models in cancer research lead to new results, which enable us to understand the role of biological processes in tumor growth and its treatment [9]. Murphy et al. emphasize that the selection of mathematical models of tumor growth by ordinary differential equations plays a substantial role [10].

In this research, we consider the following time fractional partial differential equations with initial and boundary conditions used in the modeling of cancer cell populations with temporal killing rates:

$$ {}^{C}D_{t}^{\alpha}u(t) + au(t) = \frac{a}{v_{\infty}}, $$

subject to the initial condition

$$ u(0) = u_0 = \frac{1}{v_0}, $$

where $0 < \alpha \leq 1$.

The remainder of this study is structured as follows: the review of fundamental definitions in fractional calculus is provided in Section 2. The implementation of the proposed method is presented in Section 3. An example is given in Section 4 to verify the outcomes of the method under consideration. The analysis of the outcomes, such as graphs, is presented in Section 5. At the final step, a summary of the study is provided.

2. PRELIMINARY RESULTS

The review of fundamental definitions in fractional calculus is provided in this section.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Definition: The α^{th} order of the left-sided Riemann-Liouville fractional integral of a locally integrable function $f(t)$ is defined as [11]

$${}_a^{RL}I_x^{\alpha} f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_a^x (x-t)^{\alpha-1} f(t)dt, \; x > a.$$

In this formulation:

The notation ${}_a^{RL}I_x^{\alpha} f(x)$ denotes the α −degree Riemann-Liouville fractional integral operator.

$\Gamma(\alpha)$ denotes the Gamma Function is defined as

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt,$$

where $Re(\alpha) > 0$.

Definition: The left-sided Caputo fractional derivative with lower limit a of the m −times a continuously differentiable function $f(t)$ on $[a, x]$ is defined as

$${}_a^{C}D_x^{\alpha} f(x) = {}_a^{RL}I_x^{m-\alpha} \left(\frac{d^m}{dx^m} f(x) \right) = \frac{1}{\Gamma(m-\alpha)} \int_a^x (x-t)^{m-\alpha-1} f^{(m)}(t)dt, \; x > a,$$

where $m - 1 < \alpha \leq m$ [11].

Definition: The two-parameter Mittag-Leffler function $E_{\alpha,\beta}(z)$ is defined in the following power series form:

$$E_{\alpha,\beta}(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(\alpha k+\beta)},$$

where complex constants α and β satisfying $Re(\alpha) > 0$ and $Re(\beta) > 0$ [11].

3. THE ALGORITHM OF THE FRACTIONAL EULER DISCRETIZATION METHOD

Let us consider the following problem:

$${}^{C}D_t^{\alpha} u(t) + au(t) = \frac{a}{v_{\infty}},$$

$$u(0) = u_0 = \frac{1}{v_0}.$$

The equation can be rearranged as

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$${}^{C}D_t^{\alpha}u(t) = f\big(u(t)\big),$$

where $f\big(u(t)\big) = \frac{a}{v_\infty} - au(t)$.

Using the definition of the Caputo derivative

$${}^{C}D_t^{\alpha}u(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)}\int_0^t (t-\tau)^{-\alpha}\, u'(\tau)d\tau,$$

on the right-hand side yields the following

$$\frac{1}{\Gamma(1-\alpha)}\int_0^t (t-\tau)^{-\alpha}\, u'(\tau)d\tau = f\big(u(t)\big).$$

After rearrangement, we have

$$\int_0^t (t-\tau)^{-\alpha}\, u'(\tau)d\tau = \Gamma(1-\alpha) f\big(u(t)\big). \quad (1)$$

Discretization of time provides

$$t_n = n\Delta\mathrm{t},\ n = 0,1,2,\dots,N,$$

which implies

$$\Delta\mathrm{t} = \frac{T}{N}.$$

Substituting $\mathrm{t} = \mathrm{t}_{n+1}$ into the left-hand side of Equation (1) leads to the following

$$\int_0^{\mathrm{t}_{n+1}} (\mathrm{t}_{n+1}-\tau)^{-\alpha}\, u'(\tau)d\tau \approx \sum_{j=0}^{n}\int_{t_j}^{t_{j+1}} (\mathrm{t}_{n+1}-\tau)^{-\alpha}\, u'(\tau)d\tau. \quad (2)$$

It is obvious that

$$\int_{t_j}^{t_{j+1}} (\mathrm{t}_{n+1}-\tau)^{-\alpha}\, d\tau = \left[\frac{(\mathrm{t}_{n+1}-\tau)^{1-\alpha}}{1-\alpha}\right]_{\tau=t_j}^{\tau=t_{j+1}}. \quad (3)$$

Moreover, assuming that $u'(\tau)$ is constant on the interval $[t_j, t_{j+1}]$ enables us to write the following

$$u'(\tau) \approx \frac{u_{j+1}-u_j}{\Delta t},\ \tau \in [t_j, t_{j+1}]. \quad (4)$$

Using Eq. (4) in Eq. (3) yields the following

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$\int_{t_j}^{t_{j+1}} (t_{n+1} - \tau)^{-\alpha}\, d\tau = \frac{(\Delta t)^{1-\alpha}}{1-\alpha}[(n+1-j)^{1-\alpha} - (n-j)^{1-\alpha}]. \quad (5)$$

Substituting Equations (4) and (5) together with $t_k = k\Delta t$ in Eq. (2) produces the following

$$\int_0^{t_{n+1}} (t_{n+1} - \tau)^{-\alpha}\, u'(\tau) d\tau \approx \sum_{j=0}^{n} \frac{u_{j+1}-u_j}{\Delta t} \frac{(\Delta t)^{1-\alpha}}{1-\alpha}[(n+1-j)^{1-\alpha} - (n-j)^{1-\alpha}] =$$

$$\frac{(\Delta t)^{-\alpha}}{1-\alpha} \sum_{j=0}^{n} \left(u_{j+1} - u_j\right)[(n+1-j)^{1-\alpha} - (n-j)^{1-\alpha}]. \quad (6)$$

Replacing the left-hand side of Eq. (1) by Eq. (6) leads to

$$\frac{(\Delta t)^{-\alpha}}{1-\alpha} \sum_{j=0}^{n} \left(u_{j+1} - u_j\right)[(n+1-j)^{1-\alpha} - (n-j)^{1-\alpha}] = \Gamma(1-\alpha) f(u_{n+1}), \quad (7)$$

where u_{n+1} is computed by the following formula

$$u_{n+1} = u_0 + \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \sum_{j=0}^{n} b_{j,n+1} f\left(u_j\right), \quad (8)$$

where

$$b_{j,n+1} = \frac{(\Delta t)^{\alpha}}{\alpha}[(n+1-j)^{\alpha} - (n-j)^{\alpha}].$$

This method is called the fractional forward Euler method.

4. ILLUSTRATIVE EXAMPLE

This section provides an example to demonstrate the implementation of the proposed method.

Example: The following problem is considered

$${}^{C}D_t^{\alpha}\left(u(t)\right) + au(t) = \frac{a}{v_\infty},$$

$$u(0) = u_o = \frac{1}{v_0}.$$

The analytical solution of this problem is computed as

$$u(t) = \frac{1}{v_\infty} + \left(\frac{1}{v_0} - \frac{1}{v_\infty}\right) E_{\alpha,1}(-at^{\alpha}),$$

which is equal to

$$u(t) = \frac{1}{v_\infty} + \left(\frac{1}{v_0} - \frac{1}{v_\infty}\right) e^{-at},$$

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

for $a = 1$.

Taking $f\big(u(t)\big) = \frac{a}{v_\infty} - au(t)$, and using Eq. (8) gives us the following

$$u_{n+1} = u_0 + \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \sum_{j=0}^{n} \frac{(\Delta t)^\alpha}{\alpha} [(n+1-j)^\alpha - (n-j)^\alpha] \left(\frac{a}{v_\infty} - a u_j\right).$$

5. RESULTS AND DISCUSSIONS

Figure 1 implies that the fractional derivative order α plays a substantial role in the tumor growth. As α tends to 0, the growth of the tumor slows down because of the memory effect of the fractional derivative, which takes the growth in the past into account.

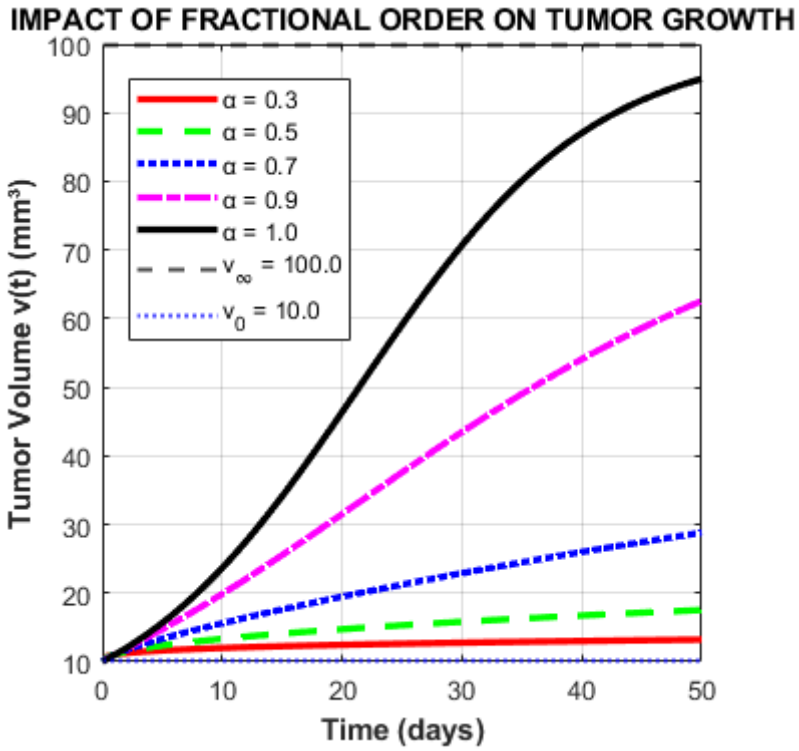


Figure 1. The growth of the tumor for various values of α, where $a = 1$

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

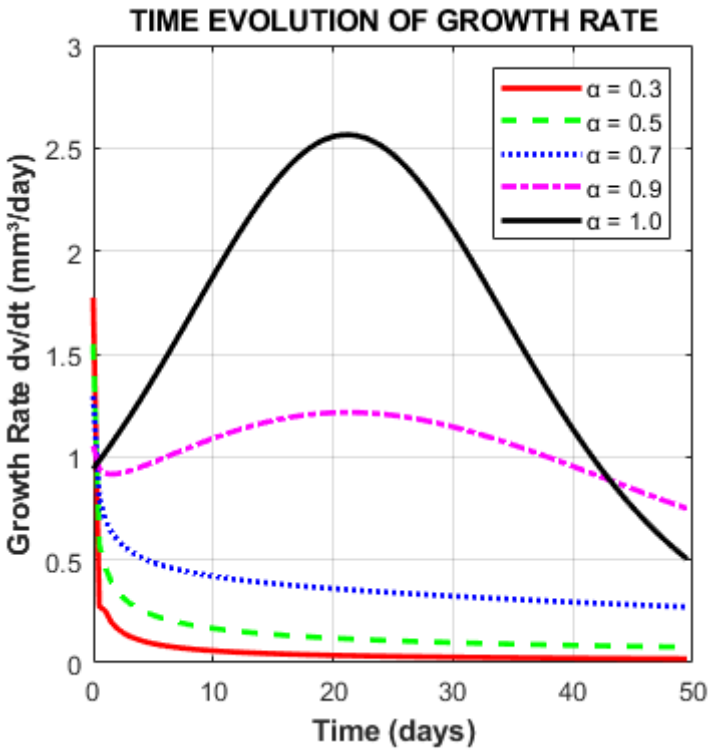


Figure 2. The growth rate of the tumor for various values of α, where $a = 1$

Figure 2 shows that the growth rate of the tumor increases first and then monotonically decreases up to some point. These increments and decrements depend on α, which implies that α also plays a significant role in the growth rate because of the memory effect.

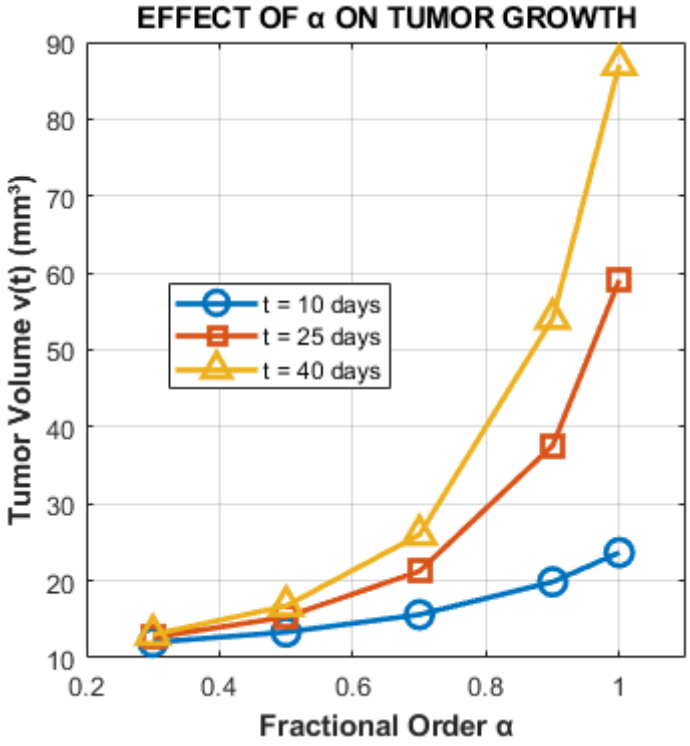


Figure 3. The graph of tumor volume related to the fractional derivative order α, where $a = 1$

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

It is obvious from Figure 3 that tumor volume increases for all values of α and the increment rate depends on α. As α decreases, the increment rate increases since the effect of memory increases as α decreases.

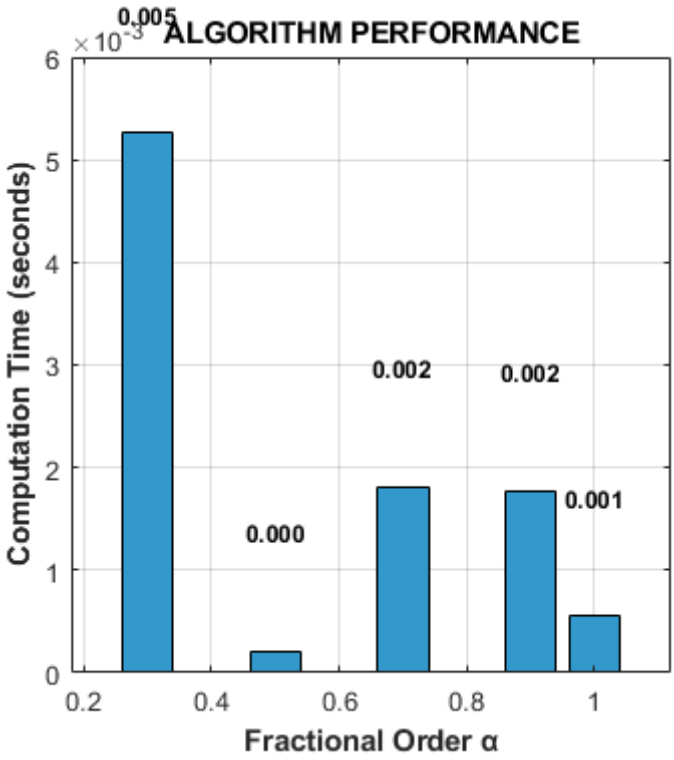


Figure 4. The bar chart of the computational cost of the method for various values of α, where $a = 1$

Figure 4 illustrates that computational cost shows non-monotonic behavior, and it takes its peak value for α between 0.2 and 0.4.

6. CONCLUSIONS

In this research, the fractional forward Euler method is utilized to solve the fractional mathematical model of cancer tumor with temporal killing rate. It is shown that the fractional order α plays a key role because it affects the memory. Numerical computational and obtained figures show that decreasing α increases the tumor progression. The proposed method clearly demonstrates the memory effect on the dynamics of the tumor growth. The presented example also confirms these results.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

REFERENCES

[1] Carlos, V., Oliveira, N. A., Rabi, J. A., David, S. A., Can fractional calculus help improve tumor growth models, Journal of Computational and Applied Mathematics, 379, 2020.

[2] Brauer, F., & Castillo-Chavez, C., *Mathematical Models in Population Biology and Epidemiology*, Springer/New York, 2012.

[3] Diethelm, K., *The analysis of fractional differential equations*, Springer/Heidelberg, 2010.

[4] Diethelm, K., Kiryakova, V., Luchko, Y., Machado, J. T., Tarasov, V. E., Trends, directions for further research, and some open problems of fractional calculus, Nonlinear Dynamics, 107, 3245-3270, 2022.

[5] Garrappa, R., Neglecting nonlocality leads to unreliable numerical methods for fractional differential equations, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 70, 302-306, 2019.

[6] Rosu, F., Parallel Algorithm for Numerical Methods Applied to Fractional-order System, Scalable Computing: Practice and Experience, 21, 4, 2020.

[7] Enderling, H., Alfonso, J. L., Moros, E., Caudell, J. J., & Harrison, L. B., Integrating Mathematical Modeling into the Roadmap for Personalized Adaptive Radiation Therapy, Trends in Cancer, 5, 8, 467-474, 2019.

[8] D'Onofrio, A., Gandolfi, A., *Mathematical Oncology 2013 (Modeling and Simulation in Science, Engineering and Technology)*, Birkhäuser/New York, 2013.

[9] Jackson, T., Komarova, N., & Swanson, K., Mathematical oncology: Using mathematics to enable cancer discoveries, Neurologic Surgery, 121, 9, 840-856, 2014.

[10] Murphy, H., Jaafari, H., & Dobrovolny, H. M., Differences in predictions of ODE models of tumor growth: a cautionary example, BMC Cancer, 16, 163, 2016.

[11] Podlubny, I., Fractional Differential Equations, Academic Press/New York, 1999.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ANALYSIS OF LINEAR SYSTEMS OF FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATIONS THROUGH A HYBRID METHOD

Asst. Prof. Dr. Suleyman CETINKAYA
Kocaeli University,
suleyman.cetinkaya@kocaeli.edu.tr - 0000-0002-8214-5099
Prof. Dr. Ali DEMIR
Kocaeli University,
ademir@kocaeli.edu.tr - 0000-0003-3425-1812

ABSTRACT

The Laplace transform and the Daftardar-Gejji iterative method are employed together to construct solutions in series form for linear systems of fractional differential equations. This hybrid method allows us to convert the system into a simpler one and obtain a recurrence relation for the solution. An example is presented to demonstrate the application and effectiveness of the method.

Keywords: Laplace transform, Daftardar-Gejji method, Linear systems, Caputo fractional derivative

1. INTRODUCTION

Fractional differential equations with various fractional derivatives play an essential role in the modeling of intricate systems, since their memory effects and non-locality properties lead to better mathematical models. Therefore, they have been employed for investigating various scientific processes such as the behavior of viscoelastic materials [1], anomalous diffusion processes [2], and biological systems [3]. As a result, the incorporation of fractional differential equations into mathematical modeling yields effective and robust models, allowing us to discover new aspects of the processes under consideration [4,5].

Various methods, such as the Laplace transform and the homotopy perturbation method, have been developed for the solutions of fractional differential equations [6,7]. Moreover, theoretical foundations of fractional differential equations have been developed [8]. In the solutions of

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

linear fractional differential equations, the Mittag-Leffler function is the fundamental one because of its properties [6].

In recent years, hybrid approaches, such as ρ−Laplace transform with the new iterative method [9], the Laplace transform with the residual power series technique [10], Shehu transform, and the homotopy perturbation method [11], have become trendy in solving fractional differential equations numerically or analytically. These kinds of methods generally reduce the problem to simpler and solvable ones by eliminating the computational cost and challenges, which provide more accurate solutions.

The remainder of this study is structured as follows: the review of fundamental definitions in fractional calculus is provided in Section 2. The implementation of the proposed method is presented in Section 3. An example is given in Section 4 to verify the outcomes of the method under consideration. The analysis of the outcomes, such as a table and graphs, is presented in Section 5. At the final step, a summary of the study is provided.

2. PRELIMINARIES

The review of fundamental definitions in fractional calculus is provided in this section.

Definition: The α^{th} order of left-sided Riemann-Liouville fractional integral of a locally integrable function $f(t)$ is defined as [1,4]

$${}_{a}^{RL}I_{x}^{\alpha}f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)}\int_{a}^{x}(x-t)^{\alpha-1}f(t)dt,\ x > a.$$

In this formulation:

The notation ${}_{a}^{RL}I_{x}^{\alpha}f(x)$ denote the $\alpha-$ degree Riemann-Liouville fractional integral operator.

$\Gamma(\alpha)$ denotes the Gamma Function is defined as

$$\Gamma(\alpha) = \int_{0}^{\infty} t^{\alpha-1}e^{-t}dt,$$

where $Re(\alpha) > 0$.

Definition: The left-sided Caputo fractional derivative with lower limit a of the $m-$ times continuously differentiable the function $f(t)$ on $[a,x]$ is defined as

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$ {}_a^C D_x^\alpha f(x) = {}_a^{RL} I_x^{m-\alpha}\left(\frac{d^m}{dx^m} f(x)\right) = \frac{1}{\Gamma(m-\alpha)}\int_a^x (x-t)^{m-\alpha-1} f^{(m)}(t)dt,\ x > a, $$

where $m-1 < \alpha \leq m$ [1].

Definition: The two-parameter Mittag-Leffler function $E_{\alpha,\beta}(z)$ is defined in the following power series form:

$$ E_{\alpha,\beta}(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(\alpha k+\beta)}, $$

where complex constants α and β satisfying $Re(\alpha) > 0$ and $Re(\beta) > 0$ [12].

Notice that [1,4]

$$ E_{2,1}(z^2) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(z^2)^k}{\Gamma(2k+1)} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^{2k}}{(2k)!} = \cosh(z), $$

$$ E_{2,2}(z^2) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(z^2)^k}{\Gamma(2k+2)} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^{2k}}{(2k+1)!} = \frac{\sinh(z)}{z}. $$

Definition: The Laplace transform of a piecewise continuous function of exponential order $f(t)$ is defined as [1, 13, 14]

$$ F(s) = \mathcal{L}[f(t)] = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t)\, dt, $$

and the inverse Laplace transform of the function $F(s)$ is described as

$$ f(t) = \mathcal{L}^{-1}[F(s)] = \frac{1}{2\pi i}\int_{c-i\infty}^{c+i\infty} e^{st} F(s) ds,\ t > 0. $$

Notice that for $\alpha > 0$, we have

$$ \mathcal{L}\left[\frac{t^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)}\right] = \frac{1}{s^\alpha}, $$

$$ \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^\alpha}\right] = \frac{t^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)}. $$

Moreover, we have

$$ \mathcal{L}[{}_0^C D_t^\alpha f(t)] = s^\alpha F(s) - \sum_{k=0}^{m-1} s^{\alpha-1-k} f^{(k)}(0^+), $$

where $0 < \alpha \leq 1$.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

3. MAIN RESULTS

This section provides the implementation of the proposed method for the system of linear fractional differential equations.

$$ {}_0^C D_t^\alpha u(x,t) - R\big(u(x,t), v(x,t)\big) = g(x,t),\ x > 0,\ 0 < t < T,\ 0 < \alpha \le 1, \tag{1} $$

$$ {}_0^C D_t^\alpha v(x,t) - R\big(u(x,t), v(x,t)\big) = h(x,t), \tag{2} $$

$$ u(x,0) = f_1(x), $$

$$ v(x,0) = f_2(x), $$

where the term R represent a linear differential operator and $g(x,t)$ and $h(x,t)$ are source functions. The functions $u(.,t)$ and $v(.,t)$ belong to the Banach space

$$ W_2^1[0,T] = \big\{u = u(.,t): u, u^{(1)} \in AC[0,t]\big\}. $$

Utilization of the Laplace transform for Equations (1) and (2) yields the following equations

$$ \mathcal{L}[{}_0^C D_t^\alpha u] - \mathcal{L}[R(u,v)] = \mathcal{L}[g(x,t)], $$

$$ \mathcal{L}[{}_0^C D_t^\alpha v] - \mathcal{L}[R(u,v)] = \mathcal{L}[h(x,t)], $$

where $u(x,t) = u$ and $v(x,t) = v$.

The Laplace transform of the Caputo fractional derivative gives rise to the following

$$ U(x,s) - \frac{1}{s}u(x,0) = \frac{1}{s^\alpha}\mathcal{L}[R(u,v)] + \frac{1}{s^\alpha}\mathcal{L}[g(x,t)], $$

$$ V(x,s) - \frac{1}{s}v(x,0) = \frac{1}{s^\alpha}\mathcal{L}[R(u,v)] + \frac{1}{s^\alpha}\mathcal{L}[h(x,t)], $$

where $\mathcal{L}[u(x,t)] = U(x,s)$ and $\mathcal{L}[v(x,t)] = V(x,s)$.

At the next step, employing the inverse Laplace transform yields the following

$$ \begin{cases} u = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s}u(x,0) + \frac{1}{s^\alpha}\mathcal{L}[g(x,t)]\right] + \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^\alpha}\mathcal{L}[R(u,v)]\right], \\ v = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s}v(x,0) + \frac{1}{s^\alpha}\mathcal{L}[h(x,t)]\right] + \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^\alpha}\mathcal{L}[R(u,v)]\right]. \end{cases} \tag{3} $$

At this stage, infinite series expansions of u and v

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$u = \sum_{i=0}^{\infty} u_i$ and $v = \sum_{i=0}^{\infty} v_i$. (4)

are taken into account, which leads to the following

$$\sum_{i=0}^{\infty} u_i = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s}u(x,0) + \frac{1}{s^{\alpha}}\mathcal{L}[g(x,t)]\right] + \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^{\alpha}}\mathcal{L}[R(u_i, v_i)]\right],$$

$$\sum_{i=0}^{\infty} v_i = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s}v(x,0) + \frac{1}{s^{\alpha}}\mathcal{L}[h(x,t)]\right] + \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^{\alpha}}\mathcal{L}[R(u_i, v_i)]\right].$$

From these equations, we obtain the following recurrence relations

$$u_0 = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s}u(x,0) + \frac{1}{s^{\alpha}}\mathcal{L}[g(x,t)]\right], \quad (5)$$

$$v_0 = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s}v(x,0) + \frac{1}{s^{\alpha}}\mathcal{L}[h(x,t)]\right], \quad (6)$$

$$u_1 = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^{\alpha}}\mathcal{L}[R(u_0, v_0)]\right],$$

$$v_1 = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^{\alpha}}\mathcal{L}[R(u_0, v_0)]\right],$$

$$u_{m+1} = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^{\alpha}}\mathcal{L}[R(u_m, v_m)]\right], m \geq 1,$$

$$v_{m+1} = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^{\alpha}}\mathcal{L}[R(u_m, v_m)]\right], m \geq 1.$$

At the final step, the truncated solutions of $m-$ terms are constructed as

$$u \cong u_0 + u_1 + u_2 + \cdots + u_m,$$

$$v \cong v_0 + v_1 + v_2 + \cdots + v_m.$$

4. DEMONSTRATIVE EXAMPLE

This section presents an example to demonstrate the implementation of the proposed method for the system of linear fractional differential equations.

Example: Consider the following linear system

$${}_0^C D_t^{\alpha} u - v_x + u + v = 0, \quad (7)$$

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$${}_0^C D_t^\alpha v - u_x + u + v = 0. \quad (8)$$

The initial conditions of the system are given as

$$u(x,0) = \sinh(x), \quad (9)$$

$$v(x,0) = \cosh(x), \quad (10)$$

where $u = u(x,t)$, $v = v(x,t)$, $x > 0$, $t > 0$, and $0 < \alpha \leq 1$.

Application of the Laplace transform to Equations (7) and (8) gives rise to

$$U(x,s) = \frac{1}{s}u(x,0) + \frac{1}{s^\alpha}\mathcal{L}[v_x - u - v], \quad (11)$$

$$V(x,s) = \frac{1}{s}v(x,0) + \frac{1}{s^\alpha}\mathcal{L}[u_x - u - v]. \quad (12)$$

Utilization of the inverse Laplace transform for Equations (11) and (12) yields the following system

$$u = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s}u(x,0)\right] + \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^\alpha}\mathcal{L}[v_x - u - v]\right],$$

$$v = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s}v(x,0)\right] + \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^\alpha}\mathcal{L}[u_x - u - v]\right].$$

The recurrence relation is obtained as

$$u_0(x,t) = \sinh(x),$$

$$v_0(x,t) = \cosh(x),$$

$$u_1(x,t) = -\cosh(x)\frac{t^\alpha}{\Gamma(\alpha+1)},$$

$$v_1(x,t) = -\sinh(x)\frac{t^\alpha}{\Gamma(\alpha+1)}.$$

$$u_2(x,t) = \sinh(x)\frac{t^{2\alpha}}{\Gamma(2\alpha+1)},$$

$$v_2(x,t) = \cosh(x)\frac{t^{2\alpha}}{\Gamma(2\alpha+1)},$$

$$u_3(x,t) = -\cosh(x)\frac{t^{3\alpha}}{\Gamma(3\alpha+1)},$$

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$v_3(x,t) = -\sinh(x)\frac{t^{3\alpha}}{\Gamma(3\alpha+1)}$,

$\vdots$

$u_n = \frac{t^{n\alpha}}{\Gamma(n\alpha+1)}(-1)^n \begin{cases}\sinh(x), n\ even\\ \cosh(x), n\ odd\end{cases}$,

$v_n = \frac{t^{n\alpha}}{\Gamma(n\alpha+1)}(-1)^n \begin{cases}\cosh(x), n\ even\\ \sinh(x), n\ odd\end{cases}$.

As a result, the solution of the linear system is acquired as

$$u \cong \sinh(x)\left(1+\frac{t^{2\alpha}}{\Gamma(2\alpha+1)}+\cdots+\frac{t^{2n\alpha}}{\Gamma(2n\alpha+1)}\right)-\cosh(x)\left(\frac{t^{\alpha}}{\Gamma(\alpha+1)}+\frac{t^{3\alpha}}{\Gamma(3\alpha+1)}+\cdots+\frac{t^{(2k+1)\alpha}}{\Gamma((2k+1)\alpha+1)}\right),$$

$$v \cong \cosh(x)\left(1+\frac{t^{2\alpha}}{\Gamma(2\alpha+1)}+\cdots+\frac{t^{2n\alpha}}{\Gamma(2n\alpha+1)}\right)-\sinh(x)\left(\frac{t^{\alpha}}{\Gamma(\alpha+1)}+\frac{t^{3\alpha}}{\Gamma(3\alpha+1)}+\cdots+\frac{t^{(2k+1)\alpha}}{\Gamma((2k+1)\alpha+1)}\right),$$

which can be rearranged as

$$u(x,t) = \sinh(x)\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^{2k}t^{2k\alpha}}{\Gamma(2k\alpha+1)}+\cosh(x)\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^{2k+1}t^{(2k+1)\alpha}}{\Gamma((2k+1)\alpha+1)} = \sinh(x)\,E_{2\alpha,1}(t^{2\alpha}) - \cosh(x)\,E_{2\alpha,\alpha+1}(t^{2\alpha}),$$

$$v(x,t) = \cosh(x)\sum_{k=0}^{\infty}\frac{t^{2k\alpha}}{\Gamma(2k\alpha+1)}-\sinh(x)\sum_{k=0}^{\infty}\frac{t^{(2k+1)\alpha}}{\Gamma((2k+1)\alpha+1)} = \cosh(x)\,E_{2\alpha,1}(t^{2\alpha}) - \sinh(x)\,E_{2\alpha,\alpha+1}(t^{2\alpha}).$$

Note that for $\alpha = 1$, we have [16]

$u(x,t) = \sinh(x-t)$,

$v(x,t) = \cosh(x-t)$.

5. RESULT AND DISCUSSION

The graphs of the analytical solutions $u(x,t;\alpha)$ and $v(x,t;\alpha)$ in Figures 1 and 2 show the dynamic sensitivity to changes in the fractional order α. A monotonic decrease in $u(x,t;\alpha)$, the time-dependent decay rate is observed as α increases from 0.5 to 0.95. At $\alpha = 0.5$, memory effects in $u(x,t;\alpha)$ become more dominant, and rapid energy dispersion is observed. At $\alpha =$

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

0.75 and $\alpha = 0.95$, the damping behavior in $v(x,t;\alpha)$ becomes more regular and stable, which implies the control of the α.

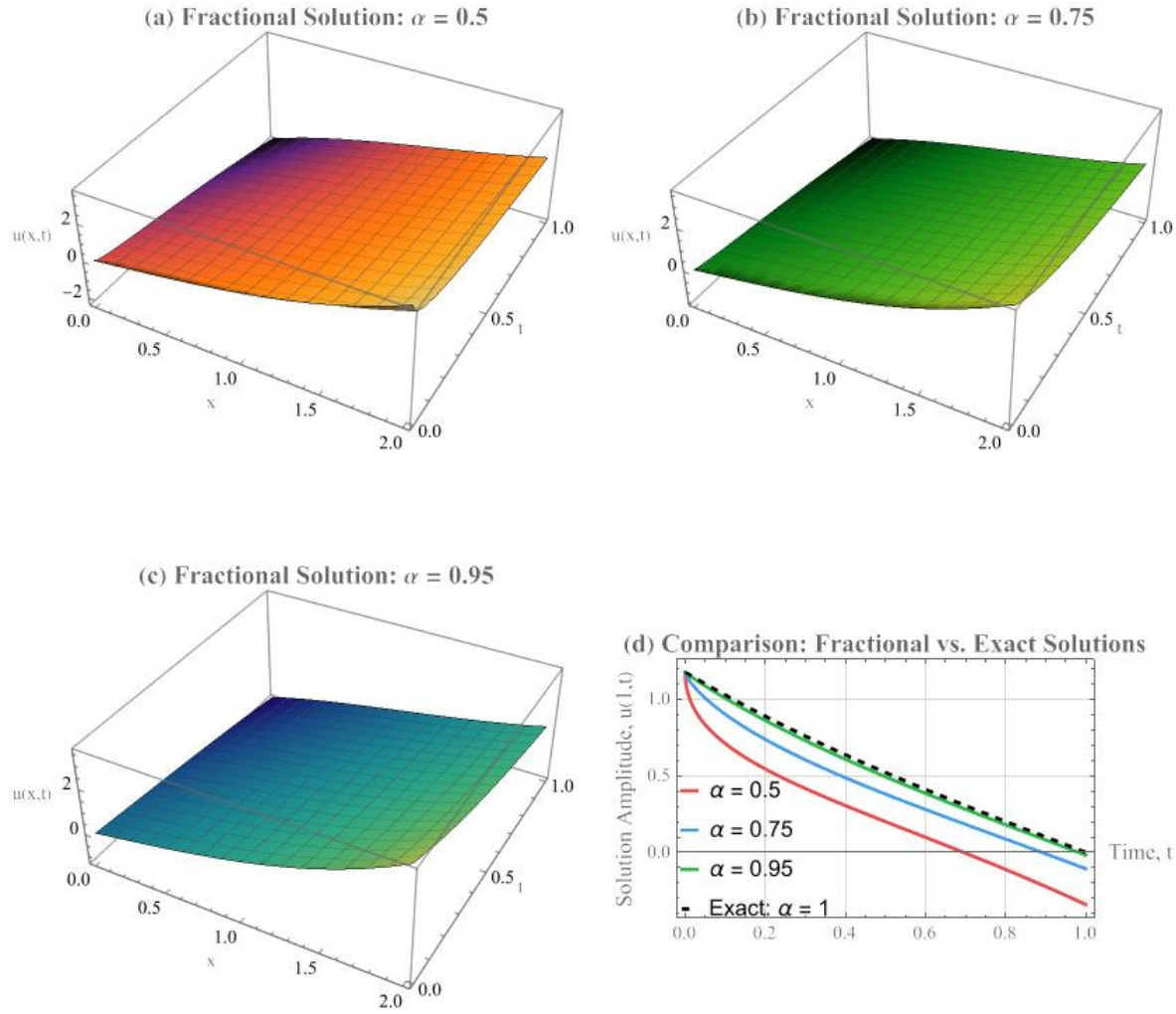


Figure 1. Analytical solutions $u(x,t;\alpha)$ for the system of linear time-fractional differential equations.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

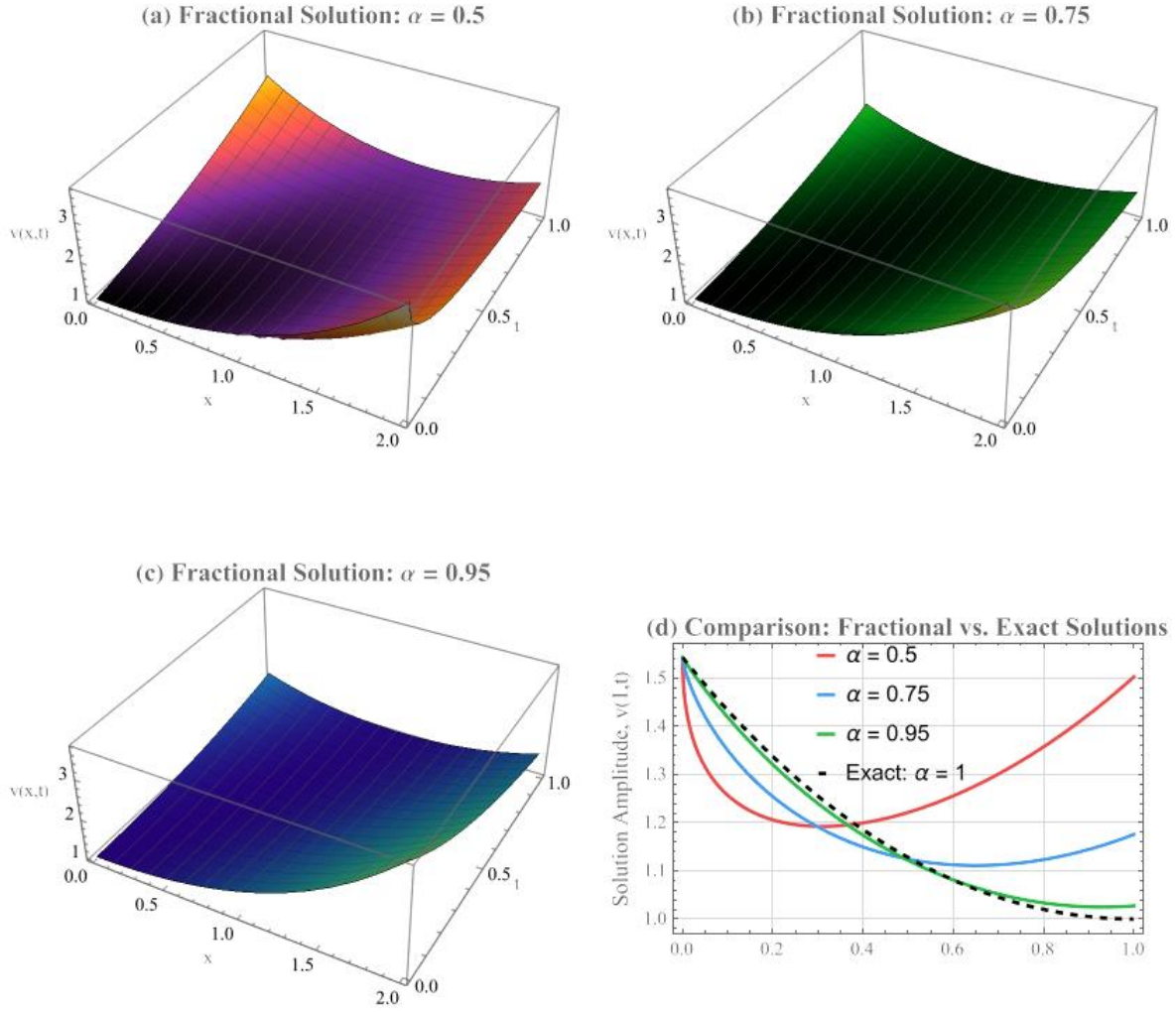


Figure 2. Analytical solutions $v(x,t;\alpha)$ for the system of linear time-fractional differential equations.

The validation of the proposed method can be noticed from Table 1, including the evaluation of the absolute error. The error decreases asymptotically as α tends to 1. Memory effects and computational complexity are observable as α decreases.

Table 1. Absolute Error Analysis of the Proposed Fractional Order Solution Method for the System Examined in Example.

	$u(x,t;\alpha)$				$v(x,t;\alpha)$			
t	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.75$	$\alpha = 0.95$	$\alpha = 1$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.75$	$\alpha = 0.95$	$\alpha = 1$
0.1	0.316547	0.125152	0.0203377	0	0.176166	0.0830332	0.0142616	0
0.2	0.344018	0.150796	0.0270492	0	0.131525	0.0833733	0.0168618	0

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

0.3	0.341637	0.154669	0.0292318	0	0.062843	0.0641004	0.0152672	0
0.4	0.331206	0.149461	0.0290543	0	0.0139451	0.0359225	0.0113539	0
0.5	0.320353	0.140546	0.0275998	0	0.0937189	0.00332747	0.00606614	0
0.6	0.31258	0.130725	0.0255114	0	0.174527	0.0314351	0.0000417971	0
0.7	0.309748	0.121616	0.0232039	0	0.255701	0.0671682	0.00662412	0
0.8	0.312956	0.114217	0.0209569	0	0.337195	0.103245	0.0134612	0
0.9	0.322929	0.109168	0.0189644	0	0.419297	0.139375	0.0204155	0
1	0.340204	0.1069	0.0173644	0	0.502497	0.175479	0.0274062	0

6. CONCLUSION

In this study, a hybrid method is proposed to solve the system of linear partial differential equations. The Laplace transform enables us to reduce the problem to a simpler one. The Daftardar-Gejji's iterative approach lets us construct the solution in a series form, which converges to the analytical solution. The presented example demonstrates that α plays a significant role in the dynamics of the solution. The accuracy of the proposed method can also be confirmed by the observation that the obtained solution converges to the classical solution as α tends to 1.

REFERENCES

[1] Podlubny, I., *Fractional Differential Equations: An Introduction to Fractional Derivatives, Fractional Differential Equations, to Methods of their Solution and Some of their Applications*, Academic Press/San Diego, CA, 1999.

[2] Mainardi, F., *Fractional Calculus and Waves in Linear Viscoelasticity: An Introduction to Mathematical Models*, Imperial College Press/ London, U.K., 2010.

[3] Sabatier, J., Agrawal, O. P., Machado, J. A. T., *Advances in Fractional Calculus: Theoretical Developments and Applications in Physics and Engineering*, Springer /Dordrecht, 2007.

[4] Kilbas, A. A., Srivastava, H. M., Trujillo, J. J., *Theory and Applications of Fractional Differential Equations*, Elsevier/ Amsterdam, 2006.

[5] Diethelm, K.: *The Analysis of Fractional Differential Equations: An Application-Oriented Exposition Using Differential Operators of Caputo Type*, Springer/ Berlin, 2010.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

[6] Liu, L., Dong, Q., Li, G., Exact solutions of fractional oscillation systems with pure, Fractional Calculus and Applied Analysis, 25, 1688–1712, 2022.

[7] Qayyum, M., Ahmad, E., Riaz, M. B., Awrejcewicz, J., Saeed, S. T., New soliton solutions of time-fractional Korteweg-de Vries systems, Universe, 8, 9, 2022.

[8] Cernea, A., Existence of solutions for some coupled systems of fractional differential inclusions, Mathematics, 8, 5, 2020.

[9] Shah, N. A., Dassios, I., El-Zahar, E. R., Chung, J. D., An efficient technique of fractional-order physical models involving ρ-Laplace transform, Mathematics, 10, 5, 2022.

[10] Alderremy, A. A., Shah, R., Iqbal, N., Aly, S., Nonlaopon, K.: Fractional series solution construction for nonlinear fractional reaction-diffusion Brusselator model utilizing Laplace residual power series, Symmetry, 14, 9, 2022.

[11] Qin, Y., Khan, A., Ali, I., Qurashi, M. A., Khan, H., Shah, R., Baleanu, D., An efficient analytical approach for the solution of certain fractional-order dynamical systems, Energies, 13, 11, 2020.

[12] Kodal Sevindir, H., Cetinkaya, S., Demir, A., On effects of a new method for fractional initial value problems, Advances in Mathematical Physics, 2021, 2021.

[13] Cetinkaya, S., On a fractional inverse source problem with mixed boundary conditions through a novel method, Electronic Research Archive, 33, 9, 5719–5747, 2025.

[14] Caputo, M., Linear models of dissipation whose Q is almost frequency independent—II, Geophysical Journal International, 13, 5, 529–539, 1967.

[15] Wiman, A., Uber de fundamental Satz in der theorie der funktionen, Acta Mathematica, 29, 1, 191–201, 1905.

[16] Gorenflo, R., Kilbas, A. A., Mainardi, F., Rogosin, S. V., *Mittag-Leffler Functions, Related Topics and Applications*, Springer/Berlin, Heidelberg, 2014.

BURSA 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND MATHEMATICS
December 30,
2025 - BURSA
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Fluctuating Nakagami-m ve α-Fluctuating Nakagami-m Kanal Modellerinde Çapraz İlinti Fonksiyonlarının Analizi

Öğr. Gör. Meryem TAŞER

Kastamonu Üniversitesi, mtaser@kastamonu.edu.tr - 0000–0003–3577–3495

ÖZET

Bu çalışmada, 6G ve ötesi nesil kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılan Fluctuating Nakagami-m ve α-Fluctuating Nakagami-m sönümlemeli kanal modelleri ele alınmıştır. Çalışmanın temel amacı, bu kanal modellerinde yer alan ve kanal davranışını doğrudan etkileyen çapraz ilinti fonksiyonunun, farklı parametre koşulları altında nasıl değiştiğini incelemektir. Analizler, uzay–frekans çeşitliliğinin bulunduğu ve çok yönlü antenlerin kullanıldığı bir kablosuz ortam varsayımı altında gerçekleştirilmiştir.

Söz konusu kanal modelleri, literatürde çoğunlukla kesinti olasılığı, ortalama bit hata oranı ve kanal kapasitesi gibi performans ölçütleri açısından değerlendirilmiştir. Buna karşın, sönümleme süreçleri arasındaki çapraz ilinti fonksiyonlarının analitik olarak ele alındığı çalışmalar bulunmamaktadır. Bu çalışma, söz konusu eksikliğe odaklanarak literatürdeki boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. İncelenen modeller, çok yollu yayılım etkilerinin yanı sıra büyük ölçekli sönümleme bileşeni olarak ifade edilen gölgeleme etkilerini de dikkate alarak, gerçek kablosuz yayılım ortamlarını daha doğru biçimde temsil etmektedir.

Önerilen yaklaşımda; sönümleme şiddeti, güç dengesizliği, antenler arası mesafe, varış açısı dağılımları ve frekans ayrımı gibi kanal davranışını etkileyen temel parametreler birlikte değerlendirilmiştir. Elde edilen çapraz ilinti fonksiyonları kullanılarak, kanalın zaman ve frekans alanındaki değişim hızını tanımlayan uyumluluk süresi, uyumluluk mesafesi ve uyumluluk bant genişliği gibi ölçütler analitik olarak hesaplanmıştır.

Teorik sonuçlar, MATLAB ortamında gerçekleştirilen sayısal benzetimler ile desteklenmiş ve grafikler üzerinden yorumlanmıştır. Elde edilen bulgular, α parametresinin kanal korelasyon yapısı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle bazı parametre aralıklarında, α-Fluctuating Nakagami-m modelinin daha düşük korelasyon seviyeleri sunduğu ve bu durumun çeşitlilik kazancı açısından avantaj sağladığı gözlemlenmiştir. Bu yönüyle çalışma, 6G ve ötesi kablosuz haberleşme sistemlerinde sönümlemeli kanal modelleme ve korelasyon analizi açısından anlamlı bir katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fluctuating Nakagami-m, α-Fluctuating Nakagami-m, Çapraz İlinti Fonksiyonu

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Analysis of General-Order Cross-Correlation Functions in Fluctuating Nakagami-m and α-Fluctuating Nakagami-m Fading Channels

Öğr. Gör. Meryem TAŞER

Kastamonu Üniversitesi, mtaser@kastamonu.edu.tr - 0000–0003–3577–3495

ABSTRACT

This study investigates the Fluctuating Nakagami-m and α-Fluctuating Nakagami-m fading channel models in the context of 6G and beyond wireless communication systems. The primary objective is to examine how the general-order cross-correlation function, which directly governs channel behavior, varies under different parameter conditions. All analyses are carried out assuming a wireless environment with spatial–frequency diversity and the use of multidirectional antennas.

Although these channel models have been extensively studied in terms of performance metrics such as outage probability, average bit error rate, and channel capacity, analytical investigations of the cross-correlation functions between fading processes are still absent in the literature. This study aims to fill this gap. By incorporating both multipath propagation effects and large-scale shadowing components, the considered models provide a more realistic representation of practical wireless propagation environments than conventional fading models.

Within the proposed framework, key parameters influencing channel behavior including fading severity, power imbalance, antenna spacing, angle-of-arrival distributions, and frequency separation are jointly examined. Based on the derived general-order cross-correlation functions, essential channel characteristics such as coherence time, coherence distance, and coherence bandwidth are analytically obtained.

Theoretical results are validated through numerical simulations conducted in MATLAB. The findings demonstrate that the α parameter has a significant impact on the channel correlation structure. In particular, for certain parameter ranges, the α-Fluctuating Nakagami-m model exhibits lower correlation levels, leading to improved diversity gains. Therefore, this study provides a meaningful contribution to fading channel modeling and correlation analysis for 6G and beyond wireless communication systems.

Anahtar Kelimeler: Fluctuating Nakagami-m, α-Fluctuating Nakagami-m, **General-Order Cross-Correlation Function**

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Kablosuz haberleşme sistemlerinde elektromanyetik dalgalar iletilirken hem küçük ölçekli hem de büyük ölçekli zayıflamalara maruz kalmaktadır. Bu zayıflamalar, kanal modelleri yardımıyla ifade edilmektedir. Antenlere ulaşan sinyaller de benzer şekilde büyük ölçekli zayıflama, küçük ölçekli zayıflama ve gürültü etkilerini birlikte taşımaktadır. Korelasyon kavramı ise işaretlerin birbirine ne kadar benzediğini ifade etmektedir. Korelasyon oranının yüksek olması, antenlere gelen işaretlerin çevresel koşullardan büyük ölçüde benzer şekilde etkilendiğini göstermektedir. **Bu benzerliğin zaman, frekans ve uzay alanlarında nasıl değiştiğinin ortaya konulabilmesi için kanalın çapraz ilinti fonksiyonunun incelenmesi gerekmektedir.**

Literatürde [7] numaralı çalışmada sunulan Nakagami-m kanal modeli temel alınarak, gölgeleme ve kanal değişim etkileri de eklenmiş ve bu doğrultuda Fluctuating Nakagami-m [1] ve α-Fluctuating Nakagami-m [2] isimli çalışmalar geliştirilmiştir. Ancak [7] numaralı çalışmada çapraz ilinti fonksiyonu ele alınmış olmasına rağmen, Fluctuating Nakagami-m ve α-Fluctuating Nakagami-m kanal modelleri için bu konuya yönelik ayrıntılı bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Bu çalışmada, söz konusu boşluğu doldurmak amacıyla çapraz ilinti fonksiyonu elde edilerek; ortamın doğrusal olmamasını temsil eden α, çok yollu kümelerin sayısını veren m, gölgeleme şiddetini belirleyen m_s, antenler arası mesafe, uyumluluk bant genişliği, uyumluluk parametresi ve uyumluluk zamanı gibi parametreler açısından kanal davranışı incelenmiştir.

.

2. KANAL MODELİ VE ZARF ÇAPRAZ İLİNTİ FONKSİYONU

2.1. Fluctuating Nakagami-m Kanal Modeli ve Zarf Çapraz İlinti Foksiyonu

[1] numaralı çalışmada yer verilen Fluctuating Nakagami-m modeline göre Denklem (1)'de sunulan sinyal zarfı, iki bağımsız rastgele değişkenin oranı olarak ifade edilmektedir. Bu yapıda pay kısmı, sıfır ortalamalı ve σ^2 varyanslı karşılıklı bağımsız Gaussian süreçleri temsil eden X_i ve Y_i bileşenlerinden oluşan Nakagami-m dağılımlı bir süreci; payda kısmı ise uniform (tekdüze) dağılımın bir kuvvetini içermektedir. Söz konusu modelde m parametresi çok yollu küme sayısını belirtirken, gölgeleme etkisi $U \sim U(0,1)$ dağılımına sahip bir değişken üzerinden sisteme dahil edilmektedir. m_s parametresi ise gölgeleme şiddetini temsil etmektedir.

$$R(t) = \sqrt{U^{-1/m_s} \sum_{i=1}^{m} (X_i^2 + Y_i^2)} \qquad \text{Denklem (1)}$$

$$R_{XY(\tau)} = E[X(t_1)Y(t_2)] \qquad \text{Denklem(2)}$$

[2] numaralı çalışmada verilen ve çapraz ilinti fonksiyonunun genel tanımını içeren Denklem (2)'de farklı sinyallerin yerine, bu çalışmada birinci antende gözlemlenen sinyal $R_1=R(t)$ ve ikinci antende gözlemlenen sinyal $R_2=R(t+\tau)$ kullanılmıştır. Bu tanımlamalar doğrultusunda, kanalın iki farklı örneği arasındaki istatistiksel bağımlılığı ifade eden zarf çapraz ilinti fonksiyonu;

$$R_{R(t)}=E[R_1R_2] \qquad \text{Denklem (3)}$$

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

şeklinde Denklem (3)'de elde edilmiştir. Denklem (1) ile tanımlanan sinyal zarfı ifadesi, çapraz ilinti fonksiyonunu olan Denklem (3)'de yerine konulmuş ve yapılan düzenlemeler sonucunda Denklem (4) elde edilmiştir.

$$R_1R_2 = \sqrt{U_1^{-1/m_s}\sum_i (X_{i,1}^2 + Y_{i,1}^2).U_2^{-1/m_s}\sum_j (X_{j,1}^2 + Y_{j,1}^2)} \qquad \text{Denklem (4)}$$

Gölgelemenin zaman açısından yavaş değişmesi nedeniyle, iki farklı örnek için gölgeleme rastgele değişkenlerinin aynı olduğu kabul edilmiş ve $U_1=U_2=U$ varsayımı yapılmıştır. Bu varsayım sonucunda Denklem (5) elde edilmiştir.

$$E[R_1R_2] = E[U^{-1/m_s}].E\left[\sqrt{\sum_i (X_{i,1}^2 + Y_{i,1}^2)\sum_j (X_{j,2}^2 + Y_{j,2}^2)}\right] \qquad \text{Denklem (5)}$$

[1] numaralı çalışmada, gölgeleme rastgele değişkenine ait $E[U^{-1/m_s}]$ beklenen değeri Denklem (6)'da verildiği şekilde ifade edilmiştir.

$$E[U^{-1/m_s}] = \frac{m_s}{m_s - 1}, m_s > 1 \qquad \text{Denklem (6)}$$

Nakagami-m kanalı için zarf çapraz korelasyonu, m adet bağımsız yolun toplam gücü üzerinden üretilmiştir. İki zaman anındaki güç bileşenleri çarpıldığında ortaya çıkan m^2 adet çarpımdan yalnızca aynı yola ait olan m adet terim $\sigma^4(1+2\rho^2(\tau))$ şeklinde bağıntı sergilemektedir. Bu bağıntılı terimlerin toplam terime oranı m/m^2 olup korelasyonunun sistem üzerindeki etkisini $1/m$ oranında ölçeklendirmektedir. Burada σ^2 parametresi Gaussian bileşenlerin varyansını, $\rho(\tau)$ ise iki zaman anı arasındaki korelasyon katsayısını temsil etmektedir. Bu adımlar sonucunda Denklem (7) elde edilmiştir.

$$E[\sum_i (X_{i,1}^2 + Y_{i,1}^2)\sum_j (X_{j,2}^2 + Y_{j,2}^2] = m^2\sigma^4(1+\frac{1}{m}\rho^2(\tau)) \qquad \text{Denklem (7)}$$

[3] numaralı çalışmada önerilen varsayım, bu çalışmada Denklem (8) ile tanımlanmış ve söz konusu varsayım kullanılarak Fluctuating Nakagami-m kanalının zarf çapraz ilinti fonksiyonu türetilmiştir.

$$E[R_1R_2] \approx \sqrt{E[R_1^2R_2^2]} \qquad \text{Denklem (8)}$$

$$R_{R(\tau)} = \frac{m_s}{m_s - 1}.m\sigma^2\sqrt{1+\frac{1}{m}\rho^2(\tau)} \qquad \text{Denklem (9)}$$

2.2. α- Fluctuating Nakagami-m Kanal Modeli ve Zarf Çapraz İlinti Fonksiyonu

[1] numaralı çalışmada yer verilen α-Fluctuating Nakagami-m modeline göre Denklem (10)'da sunulan sinyal zarfı, iki bağımsız rastgele değişkenin oranı olarak ifade edilmektedir. Bu yapıda pay kısmı, sıfır ortalamalı ve $2\sigma^2$ varyanslı karşılıklı bağımsız Gaussian süreçleri temsil eden X_i ve Y_i bileşenlerinden oluşan Nakagami-m dağılımlı bir süreci; payda kısmı ise uniform (tekdüze) dağılımın bir kuvvetini içermektedir. Söz konusu modelde m parametresi toplam küme sayısını belirtirken, gölgeleme etkisi $U\sim U(0,1)$ dağılımına sahip bir değişken üzerinden sisteme dahil edilmektedir. α parametresi doğrusal olmayan zarf bozulma katsayısını, m_s parametresi ise gölgeleme şiddetini temsil etmektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$R(t) = (U^{-1/m_s} \sum_{i=1}^{m} (X_i^2 + Y_i^2))^{1/\alpha} \quad \text{Denklem (10)}$$

Denklem (11), (12) ve (13)'te, önceki modelde izlenen matematiksel adımlar izlenerek aynı işlemler uygulanmıştır.

$$R_{R(\tau)} = E[R(t)R(t+\tau)] \quad \text{Denklem (11)}$$

$$R_1 R_2 = \left(U_1^{-1/m_s} \sum_i (X_{i,1}^2 + Y_{i,1}^2) \right)^{1/\alpha} \left(U_2^{-1/m_s} \sum_j (X_{j,1}^2 + Y_{j,1}^2) \right)^{1/\alpha} \quad \text{Denklem (12)}$$

$$E[R_1 R_2] = E[U^{-2/m_s\alpha}].E\left[\left(\sum_i (X_{i,1}^2 + Y_{i,1}^2) \right)^{1/\alpha} \left(\sum_j (X_{j,2}^2 + Y_{j,2}^2) \right)^{1/\alpha} \right] \quad \text{Denklem(13)}$$

Fluctuating Nakagami-m modeli için gölgeleme rastgele değişkenine ait beklenen değer $E[U^{-1/m_s}] = \frac{m_s}{m_s - 1}, m_s > 1$ şeklinde elde edilmektedir. α-Fluctuating Nakagami-m modelinde ise zarf tanımında yer alan üstel terimin 1/α olması nedeniyle, gölgeleme katkısı $E[U^{-2/m_s\alpha}] = \frac{m_s}{m_s - 2/\alpha}, m_s > 2/\alpha$ ifadesinin ortaya çıkmasına yol açmaktadır.

$$E[U^{-2/m_s\alpha}] = \frac{m_s}{m_s - 2/\alpha}, m_s > 2/\alpha \quad \text{Denklem (14)}$$

[5] numaralı çalışmada kullanılan Jensen eşitsizliği Denklem (15)'te kullanılmış, söz konusu denklem önceki modelde uygulanan adımlar izlenerek elde edilmiştir.

$$E\left[(\sum_i (X_{i,1}^2 + Y_{i,1}^2))^{1/\alpha} (\sum_j (X_{j,2}^2 + Y_{j,2}^2))^{1/\alpha} \right] \approx E\left[\sum_i (X_{i,1}^2 + Y_{i,1}^2) \sum_j (X_{j,2}^2 + Y_{j,2}^2) \right]^{1/\alpha}$$

$$E\left[\sum_i (X_{i,1}^2 + Y_{i,1}^2) \sum_j (X_{j,2}^2 + Y_{j,2}^2) \right] = m^2\sigma^4 \left(1 + \frac{1}{m}\rho^2(\tau) \right) \quad \text{Denklem (15)}$$

$$E\left[\sum_i (X_{i,1}^2 + Y_{i,1}^2) \sum_j (X_{j,2}^2 + Y_{j,2}^2) \right]^{1/\alpha} \approx \left(m^2\sigma^4 \left(1 + \frac{1}{m}\rho^2(\tau) \right) \right)^{1/\alpha}$$

Denklem(16)'da α-Fluctuating Nakagami-m kanalının zarf çapraz ilinti fonksiyonu türetilmiştir.

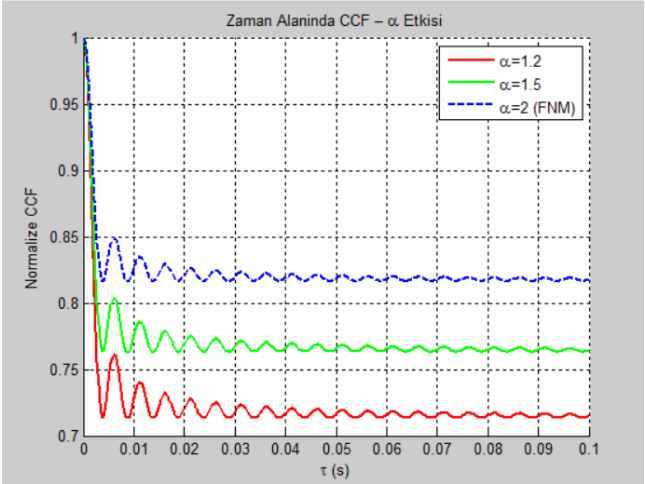
$$R_{R(\tau)} = \frac{m_s}{m_s - 2/\alpha} . \left[m^2\sigma^4 \left(1 + \frac{1}{m}\rho^2(\tau) \right) \right]^{1/\alpha} \quad \text{Denklem (16)}$$

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Uyumluluk bant genişliği, uyumluluk zamanı ve uyumluluk mesafesi; kanalın sırasıyla frekans, zaman ve uzay alanlarında ne kadar benzer davrandığını tanımlayan temel ölçütlerdir. Uyumluluk bant genişliği, uyumluluk zamanı ve uyumluluk mesafesi hesaplamaları, [6]

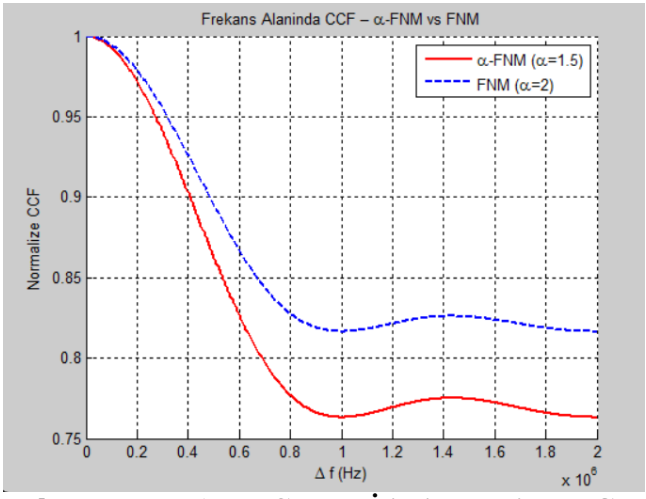
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

numaralı çalışmada verilen tanımlar esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Grafikler MATLAB ortamında elde edilmiştir.



Görsel 1. Zaman Alanı Çapraz İlinti Fonksiyonu Grafiği

Zaman alanında elde edilen zarf çapraz ilinti grafiği, kanalın zamana göre değişim hızını göstermektedir. $\tau = 0$ noktasında korelasyonun maksimum olduğu, zaman gecikmesi arttıkça ise korelasyonun azaldığı gözlemlenmektedir. α parametresinin küçülmesiyle birlikte korelasyonun daha hızlı düştüğü görülmektedir. Bu durum, α-Fluctuating Nakagami-m kanalının klasik Fluctuating Nakagami-m modeline ($\alpha = 2$) göre daha hızlı değiştiğini göstermektedir. Korelasyon seviyesini ölçeklendiren *m* parametresi, arttıkça kanal daha kararlı bir yapı sergilemektedir. Gölgeleme şiddeti parametresi m_s, korelasyonun genel seviyesini belirleyen bir ölçek katsayısı olarak etki etmektedir. α-Fluctuating Nakagami-m modelinde korelasyonun daha hızlı azalması, bu modelde uyumluluk zamanının klasik Fluctuating Nakagami-m modeline kıyasla daha kısa olduğunu göstermektedir. Bu durum, kanalın zamansal olarak daha hızlı değiştiğini ve zaman çeşitliliğinden daha etkin şekilde yararlanılabileceğini ortaya koymaktadır.

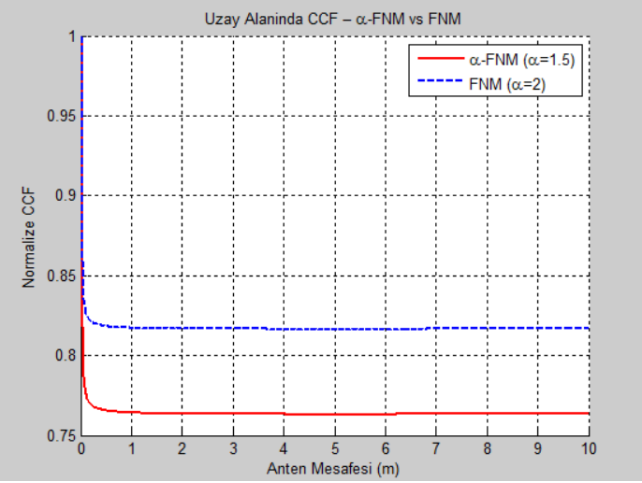


Görsel 2. Frekans Alanı Çapraz İlinti Fonksiyonu Grafiği

Frekans ayrımı arttıkça α-Fluctuating Nakagami-m modelinin korelasyonun diğer modele göre daha hızlı düşmektedir. Bu durum, α parametresinin frekans alanındaki kanal bağımlılığını azalttığını ve kanalın daha frekans seçici bir yapı sergilediğini göstermektedir. Klasik

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Fluctuating Nakagami-m modelinde daha geniş bir uyumluluk bant genişliği elde edilirken, α-Fluctuating Nakagami-m modelinde uyumluluk bant genişliği daha dardır. Bu sonuçlar, frekans alanındaki değişim hızının esas olarak α parametresi tarafından belirlendiğini göstermektedir.



Görsel 3. Uzay Alanı Çapraz İlinti Fonksiyonu Grafiği

Antenler arası mesafe arttıkça α-Fluctuating Nakagami-m modeli için korelasyon diğer kanal modeline göre daha hızlı düşmektedir. Bu durum, α parametresinin uzaysal korelasyonu zayıflattığını ve antenler arasında daha bağımsız kanal örnekleri oluştuğunu göstermektedir. Klasik Fluctuating Nakagami-m modelinde daha uzun bir uyumluluk mesafesi elde edilirken, α-Fluctuating Nakagami-m modelinde uyumluluk mesafesi daha kısadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Fluctuating Nakagami-m ve α-Fluctuating Nakagami-m kanal modelleri için zarf çapraz ilinti fonksiyonu analitik olarak elde edilmiş ve kanalın zaman, frekans ve uzay alanlarındaki korelasyon davranışı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Küçük ölçekli sönümleme, büyük ölçekli gölgeleme ve kanal değişim etkileri birlikte ele alınmıştır. Bu alıcı antenlere ulaşan işaretlerin farklı örnekleri arasındaki benzerlik, çapraz ilinti fonksiyonu üzerinden değerlendirilmiştir. Elde edilen grafik sonuçları, korelasyonun kanalın zamansal değişim hızını, frekans alanındaki seçiciliğini ve uzay alanında antenler arasındaki bağımlılık düzeyini doğrudan yansıttığını göstermektedir.

Sonuçlar, α parametresinin kanal korelasyonu üzerinde belirleyici bir role sahip olduğunu ortaya koymaktadır. α değerinin azalmasıyla birlikte, zaman alanında korelasyonun daha hızlı düştüğü ve buna bağlı olarak uyumluluk zamanının kısaldığı; frekans alanında ise uyumluluk bant genişliğinin daraldığı gözlemlenmiştir. Uzay alanı analizleri, antenler arası mesafe arttıkça korelasyonun azaldığını ve α-Fluctuating Nakagami-m modelinin klasik Fluctuating Nakagami-m modeline kıyasla daha hızlı uzaysal korelasyon kaybı sunduğunu göstermektedir. Bu yönüyle α-Fluctuating Nakagami-m modeli, hızlı değişen ve yüksek çeşitlilik gerektiren modern kablosuz haberleşme sistemleri için daha esnek ve gerçekçi bir kanal modeli sunmaktadır.

KAYNAKÇA

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[1] Badarneh, O. S. ve da Costa, D. B., Fluctuating Nakagami-m Fading Distribution, IEEE Wireless Communications Letters, 13,4, April, 2024.

[2] Veerarajan, T., Probability, Statistics and Random Processes, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2008.

[3] Wallace, J., Özçelik, H., Herdin, M., Bonek, E. ve Jensen, M., Power and Complex Envelope Correlation for Modeling Measured Indoor MIMO Channels: A Beamforming Evaluation, IEEE Transactions on Wireless Communications, 3,6, 2004.

[4] Gvozdarev, A. S., α-Fluctuating Nakagami-m Fading Model for Wireless Communications, Sensors, 25,11, 2025.

[5] Wang, M., Duan, W., Zhang, G., Wen, M., Choi, J. ve Ho, P.-H., On the Achievable Capacity of Cooperative NOMA Networks: RIS or Relay?, IEEE Wireless Communications Letters, 11,8, August, 2022.

[6] Ardıç, M. S., Bilişsel Radyo Ağlardaki Spektrum Paylaşım Modelinin Sönümlemeli Kanallardaki Başarım Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kütahya, 2022.

[7] Santos Filho, J. C. S., Fraidenraich, G., Dias, U. S. ve Yacoub, M. D., On the Nakagami-m Crosscorrelation Function, Proc. SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference, 2005.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

STURM-LİOUVİLLE TİPİ SINIR DEĞER ARAYÜZ PROBLEMİ İÇİN RAYLEİGH ORANI

Doç. Dr. HAYATİ OLĞAR
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, hayatiolgar@gmail.com - 0000-0003-4732-1605
Prof. Dr. KADRİYE AYDEMİR
Amasya Üniversitesi, kadriyeaydemr@gmail.com - 0000-0002-8378-3949
Prof. Dr. OKTAY MUHTAROĞLU
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, omukhtarov@yahoo.com - 0000-0001-7480-6857

ÖZET

Self-adjoint sınır değer problemleri (SASDP'leri), küresel ve silindirik geometrilerde, mühendislik, uygulamalı matematik ve kuantum mekaniği gibi uygulamalı bilimlerin farklı alanlarında ortaya çıkan bazı problemlerin matematiksel modellemesinde büyük bir önem taşımaktadır. Bu SDP'ler arasında bilinen en tipik örneklerden birisi Sturm-Liouville problemleridir (SLP'lerdir). Değişkenlere ayırma yöntemini kullanmak suretiyle tellerin titreşimi, atomik parçacıkların etkileşimi, karmaşık ortamların elektrodinamiği, aerodinamik, polimer reolojisi veya Dünya'nın serbest salınımları gibi birçok fiziksel sürecin matematiksel modellemesi SLP'lere yol açtığı gibi, iç tekil noktalarda arayüz koşullarını içeren SL tipi tekil SDP'lere de yol açmaktadır. İşte bu nedenle SL Teorisi, 1850'lerden günümüze kadar kullanışlılığını korumaya devam etmektedir.. Bilindiği üzere, ikinci dereceden adi doğrusal diferansiyel denklemlerden ve self-adjoint sınır koşullarından oluşan SASDP'leri genellikle SLP'ler olarak bilinir. Klasik SLP'lerde, sınır koşulları spektral parametreye bağlı değildir. Denklemde ve sınır koşullarında spektral parametre içeren klasik SLP'lerin özdeğerlerin reelliği, asimptotiği, alttan sınırlılığı ve özfonksiyonların ortogonalliği, baz özellikleri ve özfonksiyon açılımları gibi bazı spektral özellikleri birçok bilim insanı tarafından incelenmiştir. İç tekil noktalarda arayüz koşullarını içeren SL tipi tekil SDP'ler, Sturm-Liouville tipi sınır değer arayüz problemleri olarak adlandırılmaktadır. Klasik SLP'lere arayüz koşulları eklemek bazı zorlukları beraberinde getirir. Bu zorluklardan ilki, klasik yöntemlerin ek arayüz koşulları içeren bir probleme nasıl genişletileceğinin açık olmamasıdır. Bir diğer önemli zorluk ise özfonksiyonların tamlığıdır, çünkü arayüz koşullarına sahip SLP'lerin sonsuz sayıda özdeğeri olmayabilir. Bütün bu zorluklara rağmen bu çalışmada Sturm-Liouville tipi bir sınır değer arayüz problemi ele alınmıştır. Daha açık bir şekilde ifade edilecek olunursa, ortak sınır noktasına sahip ayrık iki aralıkta tanımlı olan S-L denkleminden, spektral parametre içeren sınır şartlarından ve ortak olan sınır noktasında tanımlı arayüz şartlarından oluşan S-L tipi sınır değer arayüz probleminin Rayleigh oranı ve özdeğerlerinin bazı özellikleri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Sınır değer problemi, sınır ve arayüz koşulları, Rayleigh oranı

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Self-adjoint sınır değer problemleri (SASDP'leri), küresel ve silindirik geometrilerde, mühendislik, uygulamalı matematik ve kuantum mekaniği gibi uygulamalı bilimlerin farklı alanlarında ortaya çıkan bazı problemlerin matematiksel modellemesinde büyük bir önem taşımaktadır. Bu SDP'ler arasında bilinen en tipik örneklerden birisi Sturm-Liouville problemleridir (SLP'lerdir). Değişkenlere ayırma yöntemini kullanmak suretiyle tellerin titreşimi, atomik parçacıkların etkileşimi, karmaşık ortamların elektrodinamiği, aerodinamik, polimer reolojisi veya Dünya'nın serbest salınımları gibi birçok fiziksel sürecin matematiksel modellemesi SLP'lere yol açtığı gibi, iç tekil noktalarda arayüz koşullarını içeren SL tipi tekil SDP'lere de yol açmaktadır [2,7,8,13,16-19]. Bilindiği üzere, ikinci dereceden adi doğrusal diferansiyel denklemlerden ve self-adjoint sınır koşullarından oluşan SASDP'leri genellikle SLP'ler olarak bilinir. Klasik SLP'lerde, sınır koşulları spektral parametreye bağlı değildir. Denklemde ve sınır koşullarında spektral parametre içeren klasik SLP'lerin özdeğerlerin reelliği, asimptotiği, alttan sınırlılığı ve özfonksiyonların ortogonalliği, baz özellikleri ve özfonksiyon açılımları gibi bazı spektral özellikleri birçok bilim insanı tarafından incelenmiştir [3,4,5,20,21]. İç tekil noktalarda arayüz koşullarını içeren SL tipi tekil SDP'ler, Sturm-Liouville tipi sınır değer arayüz problemleri olarak adlandırılmaktadır [1,10-12]. Spektral parametreye bağlı sınır koşullarına sahip Sturm-Liouville problemlerinin, operatör polinomları için spektral problemler olarak yorumlanabileceği iyi bilinmektedir ve bunlarla ilgili literatürde dikkate değer çalışmalar mevcuttur [3,6,9,14,15]. Bu çalışmada,

$$-\left(pz'\right)'(s)+q(s)z(s)=\lambda r(s)z(s)\ ,\ s\in[x_1,x_2)\cup(x_2,x_3] \tag{1}$$

diferansiyel-operatör denkleminden, $s=x_1$ ve $s=x_3$ noktalarındaki

$$\left(\frac{pz'}{z}\right)(x_1)=\frac{\kappa_1+\mu\kappa_2}{\kappa_3+\mu\kappa_4}\ ,\qquad \left(\frac{pz'}{z}\right)(x_3)=\frac{\ell_1+\mu\ell_2}{\ell_3+\mu\ell_4} \tag{2}$$

sınır şartlarından ve $s=x_2$ noktasında ki

$$z(x_2+0)-z(x_2-0)=0\ ,\ \ (pz')(x_2+0)-(pz')(x_2-0)-\partial z(x_2-0)=0 \tag{3}$$

arayüz şartlarından oluşan Sturm-Liouville tipi sınır değer arayüz probleminin Rayleigh oranı ve özdeğerlerinin bazı özellikleri araştırılmıştır. Burada μ kompleks spektral parametre, $p(s),q(s),r(s)$ fonksiyonları $\square_1:=[x_1,x_2)$, $\square_2:=(x_2,x_3]$ aralıklarında pozitif tanımlı, sınırlı ve Lebesgue anlamında integrallenebilir fonksiyonlar, ayrıca $0<\partial\in\square$, $\kappa_i,\ell_i\in\square$ $(i=\overline{1,4})$, $\kappa=\kappa_4\kappa_1-\kappa_2\kappa_3>0$ ve $\ell=\ell_2\ell_3-\ell_1\ell_4>0$ dır.

$(1)-(3)$ Sturm-Liouville tipi sınır değer arayüz problemine uygun özel iç çarpımlar ve bu iç çarpımlar yardımıyla özel Hilbert uzayları kurulacak ve bu uzaylar ile iç çarpımlar aracılığıyla araştırılan problem ile aynı özdeğerlere sahip olan bir polinomal operatör inşa edilecektir. Genelde literatürden iyi bilinen, $\square\subset\square^n$ olmak üzere; $\square$ bölgesinde karesi Lebesgue anlamında inregrallanebilir olan kompleks değerli fonksiyonların oluşturduğu lineer uzay $L_2(\square)$ ve $\square$ bölgesinde Lebesgue anlamında ölçülebilir olan ve $z'(s)$ genelleştirilmiş türevi bulunan ve $z,z'\in L_2(\square)$ olan fonksiyonlarından oluşan Sobolev uzayı $W_2^1(\square)$ ile temsil edilen uzaylardan yararlanarak $(1)-(3)$ Sturm-Liouville tipi sınır değer arayüz problemine uygun Hilbert uzayları için $L_2(\square_1)\oplus L_2(\square_2)$, $W_2^1(\square_1)\oplus W_2^1(\square_2)$ standart notasyonları kullanıldı. Bu uzaylardaki iç çarpımları sırasıyla

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$\langle z,w\rangle_0=\langle z_1,w_1\rangle_{L_2(\square_1)}+\langle z_2,w_2\rangle_{L_2(\square_2)} \text{ ve } \langle z,w\rangle_1=\langle z,w\rangle_0+\langle z',w'\rangle_0 \quad (4)$$

ile tanımlayalım bu iç çarpımlara karşılık gelen normları ise sırasıyla $\|z\|_0=\sqrt{\langle z,z\rangle_0}$ ve $\|z\|_1=\sqrt{\langle z,z\rangle_1}$ şeklinde gösterelim. $L_2(\square_1)\oplus L_2(\square_2)$ ve $W_2^1(\square_1)\oplus W_2^1(\square_2)$ iç çarpım uzaylarının birer Hilbert uzayı oldukları aşikardır. Şimdi $W_2^1(\square_1)\oplus W_2^1(\square_2)$ uzayında yeni bir iç çarpım ve bu iç çarpıma karşılık gelen normu

$$\langle z,w\rangle_2=\langle z,qw\rangle_0+\langle pz',w'\rangle_0 \quad , \quad \|z\|_2=\sqrt{\langle z,z\rangle_2} \quad (5)$$

eşitlikleri ile tanımlayalım.

NOT : $W_2^1(\square_1)\oplus W_2^1(\square_2)$ Hilbert uzayındaki fonksiyonların $\square$ üzerinde sürekli oldukları aşikardır fakat, bu fonksiyonların genelleşmiş türevlerinin sadece $L_2(\square_1)\oplus L_2(\square_2)$, uzayının elemanları olduğu kabul edilir.

(1)−(3) Sturm-Liouville tipi sınır değer arayüz problemini polinomal operatör denkleme indirgeyebilmek için Sobolev uzayları için iyi bilinen gömülme teoremlerinden türetilmiş olan takip eden eşitsizliklerden yararlanılacaktır.

$d_i(i=\overline{1-3})$ yeterince küçük pozitif reel sayılar ve $s=x_1$, $s=x_2\mp 0, s=x_3$ olmak üzere

$$\forall z\in W_2^1(\square_1)\oplus W_2^1(\square_2) \text{ için } |z(s_i)|^2\le d_i\|z'\|_0^2+\frac{2}{d_i}\|z\|_0^2 \quad (6)$$

ve $C(\varsigma)$ sabiti sadece ς sabitine bağımlı olmak üzere

$$\forall\varsigma\in\Omega \text{ için } |z(\varsigma)|\le C(\varsigma)\|z\|_1 \quad (7)$$

eşitsizlikleri sağlanır.

2. (1)−(3) PROBLEMİNE UYGUN İNTEGRAL DENKLEMİ VE GENENLLEŞTİRİLMİŞ ÖZFONKSİYON KAVRAMI

(1)−(3) Sturm-Liouville tipi sınır değer arayüz problemini operator-teorik yöntem kullanmak suretiyle polinomal operatör denklemine indirgeyebilmek için yeni bir Hilbert uzayı tanımlanacaktır.

Tanım 1. İki bileşenli ve $\Xi=\{Z=(z(s),Z_1,Z_2): z(s)\in W_2^1(\square_1)\oplus W_2^1(\square_2), Z_1,Z_2\in\square\}$ biçiminde olan elemanların lineer uzayında, yani $W_2^1(\square_1)\oplus W_2^1(\square_2)\oplus\square\oplus\square$ direkt toplamında $Z=(z(s),Z_1,Z_2)$ ve $W=(w(s),W_1,W_2)$ elemanlarının iç çarpımı

$$\langle Z,W\rangle_\Xi=\langle z(s),w(s)\rangle_2+Z_1\overline{W_1}+Z_2\overline{W_2} \quad (8)$$

eşitliği ile tanımlansın. $W_2^1(\square_1)\oplus W_2^1(\square_2)\oplus\square\oplus\square:=\Xi$ iç çarpım uzayının bir Hilbert uzayı olduğu kolayca gösterilebilir. Ξ uzayındaki iç çarpımın ürettiği norm ile $W_2^1(\square_1)\oplus W_2^1(\square_2)$ uzayındaki iç çarpımın ürettiği norm birbirine denktir. Bundan sonra çalışmamız boyunca Ξ ve $W_2^1(\square_1)\oplus W_2^1(\square_2)$ Sobolev uzaylarından yararlanılacaktır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

(3) nolu arayüz şartlarını sağlayan $W_2^1(\square_1)\oplus W_2^1(\square_2)$ uzayının elemanı olan keyfi $w(s)$ fonksiyonunun eşleneği ile (1) diferensiyel denklemini çarpmak ve $\square_1 := [x_1, x_2)$, $\square_2 := (x_2, x_3]$ aralıkları üzerinde integralini almak suretiyle

$$\sum_{i=1}^{2}\int_{\square_i}\left\{-\left(pz'\right)'(s)+q(s)z(s)-\mu r(s)z(s)\right\}\overline{w}(s)ds=0 \tag{9}$$

integral denklemi elde edilir. Bu integral denklemine sınır ve arayüz şartlarının uygulanması ve düzenlenmesi durumunda

$$\langle z,w\rangle_2-\frac{\ell_2}{\ell_4}z(x_3)\overline{w}(x_3)+\frac{\kappa_2}{\kappa_4}z(x_1)\overline{w}(x_1)+\delta z(x_2-0)\overline{w}(x_2-0)$$
$$+\frac{\eta_2}{\ell_4}\overline{w}(x_3)-\frac{\eta_1}{\kappa_4}\overline{w}(x_1)=\mu\langle rz,w\rangle_0 \tag{10}$$

elde edilir. Burada $\eta_1=\kappa_2 z(x_1)-\kappa_4(pz')(x_1)$, $\eta_2=\ell_2 z(x_3)-\ell_4(pz')(x_3)$ gösterimlerinden yararlanmak üzere

$$-\frac{z(x_1)}{\kappa_4}-\frac{\kappa_3}{\kappa_4}\frac{\eta_1}{\kappa}=\mu\frac{\eta_1}{\kappa}\quad,\qquad\frac{z(x_3)}{\ell_4}-\frac{\ell_3}{\ell_4}\frac{\eta_2}{\ell}=\mu\frac{\eta_2}{\ell} \tag{11}$$

eşitlikleri elde edilir. Böylce (9) integral denklemi bütün terimleri Ξ Sobolev uzayında tanımlı olan (10)–(11) denklem sistemine dönüşmüş olur.

Şimdi, (1)–(3) Sturm-Liouville tipi sınır değer arayüz problemine özgü yeni bir kavram olan ve zayıf çözüm olarak adlandırılan kavramı tanımlayabiliriz.

Tanım 2. $Z=(z(s),\eta_1,\eta_2)\in\Xi$ elemanı verilsin. Eğer (10)–(11) denklem sistemi $\forall w(s)\in W_2^1(\square_1)\oplus W_2^1(\square_2)$ için sağlanıyorsa $Z=(z(s),\eta_1,\eta_2)\in\Xi$ fonksiyonu (1)–(3) Sturm-Liouville tipi sınır değer arayüz probleminin genelleştirilmiş çözümü olarak adlandırılır.

3. (1)–(3) PROBLEMİNİN POLİNOMAL OPERATÖRÜ

Daha ayrıntılı inceleme için çalışmamızın bundan sonraki kısmında aşağıdaki fonksiyonellerden yararlanılacaktır. $z(s)\in W_2^1(\square_1)\oplus W_2^1(\square_2), \eta_1,\eta_2\in\square$ olmak üzere

$$\tau_1(z,w)=-\frac{\ell_2}{\ell_4}z(x_3)\overline{w}(x_3)+\frac{\kappa_2}{\kappa_4}z(x_1)\overline{w}(x_1)+\delta z(x_2-0)\overline{w}(x_2-0), \tag{12}$$

$$\tau_2(z,w)=\mu\langle rz,w\rangle_0, \tag{13}$$

$$\tau_3(\eta_1,w)=-\frac{\eta_1}{\kappa_4}\overline{w}(x_1), \tag{14}$$

$$\tau_4(\eta_2,w)=\frac{\eta_2}{\ell_4}\overline{w}(x_3). \tag{15}$$

Teorem 3. (12)–(15) eşitlikleri ile temsil edilen $\tau_j(z,w)\,(j=\overline{1-4})$ fonksiyonelleri takip eden özellikleri sağlar.

i. Verilen her bir $z(s)\in W_2^1(\square_1)\oplus W_2^1(\square_2)$ için $\tau_1(z,w)$ ve $\tau_2(z,w)$ fonksiyonelleri $w(s)\in W_2^1(\square_1)\oplus W_2^1(\square_2)$ değişkenine göre lineerdir

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ii. Verilen her bir $\eta_1, \eta_2 \in \square$ için $\tau_3(\eta_1, w)$ ve $\tau_4(\eta_2, w)$ fonksiyonelleri sırasıyla $w(s) \in W_2^1(\square_1) \oplus W_2^1(\square_2)$ değişkenine göre lineerdir.

$(12)-(15)$ lineer fonksiyonellerini, Riesz temsil teoreminden yararlanmak suretiyle

$$\tau_j(z,w) := \left\langle T_j z, w \right\rangle_2 \ (j=1,2)\ ,\ \tau_j(\eta_{j-2}, w) := \left\langle T_j z, w \right\rangle_2 \ (j=3,4) \tag{16}$$

eşitliklerini sağlayacak şekilde $T_j : W_2^1(\square_1) \oplus W_2^1(\square_2) \to W_2^1(\square_1) \oplus W_2^1(\square_2)$ $(j=1,2)$, $T_j : \square \to W_2^1(\square_1) \oplus W_2^1(\square_2)$ $(j=3,4)$ operatörleri biçiminde tanımlayabiliriz. (16) eşitliği ile tanımlanan T_j operatörleri aşağıdaki özellikleri sağlar.

Teorem 4.

i. $T_1 : W_2^1(\square_1) \oplus W_2^1(\square_2) \to W_2^1(\square_1) \oplus W_2^1(\square_2)$ operatörü self-adjoint ve kompakt operatördür.

ii. $T_2 : W_2^1(\square_1) \oplus W_2^1(\square_2) \to W_2^1(\square_1) \oplus W_2^1(\square_2)$ operatörü self-adjoint, kompakt ve pozitif operatördür.

iii. $T_j : \square \to W_2^1(\square_1) \oplus W_2^1(\square_2)$, $T_j^* : W_2^1(\square_1) \oplus W_2^1(\square_2) \to \square$ $(j=3,4)$ operatörleri kompakt operatörlerdir. Burada $T_3^*(z) := \dfrac{-1}{\kappa_4} z(x_1)$, $T_4^*(z) := \dfrac{-1}{\ell_4} z(x_3)$ şeklinde tanımlı T_3^* ve T_4^* operatörleri sırasıyla T_3 ve T_4 operatörlerinin eşlenik operatörleridir.

$(10)-(11)$ integral özdeşliklerinden aşağıdaki eşitliklerin sağlandığı anlaşılmaktadır:

$$\left\langle z + T_1 z + T_3\eta_1 + T_4\eta_2, w \right\rangle_2 = \mu \left\langle T_2 z, w \right\rangle_2, \tag{17}$$

$$T_3^* z - \frac{\kappa_3}{\kappa_4}\frac{\eta_1}{\kappa} = \mu\frac{\eta_1}{\kappa} \quad , \quad T_4^* u - \frac{\ell_3}{\ell_4}\frac{\eta_2}{\ell} = \mu\frac{\eta_2}{\ell}. \tag{18}$$

$W_2^1(\square_1) \oplus W_2^1(\square_2)$ Sobolev uzayından alınan keyfi $w(s)$ fonksiyonu için (17) eşitliğinin $z + T_1 z + T_3\eta_1 + T_4\eta_2 = \mu T_2 z$ lineer denklemi şeklinde yazılabileceği ifade edilmektedir.

$W_2^1(\square_1) \oplus W_2^1(\square_2) \oplus \square \oplus \square := \Xi$ Hilbert uzayında

$$\Psi(z,\eta_1,\eta_2) := \left(z + T_1 z + T_3\eta_1 + T_4\eta_2 , T_3^* z - \frac{\kappa_3}{\kappa_4}\frac{\eta_1}{\kappa}, T_4^* u - \frac{\ell_3}{\ell_4}\frac{\eta_2}{\ell} \right), \tag{19}$$

$$\Upsilon(z,\eta_1,\eta_2) := \left(T_2 z, \frac{\eta_1}{\kappa}, \frac{\eta_2}{\ell} \right). \tag{20}$$

eşitlikleriyle Ψ ve Υ operatörlerini tanımlayalım.Bu operatörleri dikkate almak suretiyle $(1)-(3)$ Sturm-Liouville tipi sınır değer arayüz problemine karşılık

$$A(\mu) = \Psi - \mu\Upsilon \text{ olmak üzere } A(\mu)Z = 0 \tag{21}$$

polinomal operatör denklemi dikkate alınacaktır.

Teorem 5. μ_0'ın yeterince büyük pozitif değerleri için $A(-\mu_0)$ polinomal operatörü pozitif tanımlıdır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

4. RAYLEIGH ORANI

Bu kısımda (1) – (3) Sturm-Liouville tipi sınır değer arayüz probleminin özdeğerleri için Rayleigh oranı ve alt sınır araşırılacaktır. μ_0 reel sayısı yeterince büyük pozitif değerli bir sayı ve $\lambda=\mu+\mu_0$ eşitliğini sağlayacak şekilde tanımlı yeni bir λ spektral parametresi (21) nolu denklemde değerlendirilirse

$$\left(\mathrm{A}(-\mu_0)-\lambda\Upsilon\right)Z=0 \tag{22}$$

elde edilir. $0\neq Z\in\Xi$ olmak üzere, (22) denkleminin Ξ Sobolev uzayının elemanı olan Z fonksiyonu ile iç çarpımı alınması durumunda

$$\lambda=\frac{\left\langle \mathrm{A}\left(-\mu_0\right)Z,Z\right\rangle_{\Xi}}{\left\langle \Upsilon Z,Z\right\rangle_{\Xi}} \tag{23}$$

oranı elde edilir. İşte bu orana Rayleigh oranı denir ve bu oran (1) – (3) Sturm-Liouville tipi sınır değer arayüz probleminin özdeğerleri için bir alt sınır tahmini bulunmasına imkan vermektedir. Şimdi öyle bir $0\neq Z_0\in\Xi$ bulunmalı öyle ki $Z=Z_0$ için (23) ifadesinin sağ tarafında bulunan ifade minimum değer alsın.

$$\lambda=\frac{\left\langle \mathrm{A}\left(-\mu_0\right)Z,Z\right\rangle_{\Xi}}{\left\langle \Upsilon Z,Z\right\rangle_{\Xi}}\geq\frac{\Gamma_1P(s)+\Gamma_2\left(\mu_0\right)Q(s)+\mu_0\left\langle rz,w\right\rangle_0+\Gamma_3\left(\mu_0\right)\left|\eta_1\right|^2+\Gamma_4\left(\mu_0\right)\left|\eta_2\right|^2}{\mu_0\left(\left\langle rz,w\right\rangle_0+\dfrac{\left|\eta_1\right|^2}{\kappa}+\dfrac{\left|\eta_2\right|^2}{\ell}\right)} \tag{24}$$

eşitsizliği elde edilir. Burada $\Gamma_1,\Gamma_2\left(\mu_0\right),\Gamma_3\left(\mu_0\right)$ ve $\Gamma_4\left(\mu_0\right)$

$$\Gamma_1:=1-\left(\left|\frac{\kappa_2}{\kappa_4}\right|+\frac{1}{\left|\kappa_4\right|\gamma_1}\right)c_{11}\varepsilon_1-\left|\delta\right|c_{21}\varepsilon_2-\left(\left|\frac{\ell_2}{\ell_4}\right|+\frac{1}{\left|\ell_4\right|\gamma_2}\right)c_{31}\varepsilon_3,$$

$$\Gamma_2\left(\mu_0\right):=1-\left(\left|\frac{\kappa_2}{\kappa_4}\right|+\frac{1}{\left|\kappa_4\right|\gamma_1}\right)\frac{c_{12}}{\varepsilon_1}-\left|\delta\right|\frac{c_{22}}{\varepsilon_2}-\left(\left|\frac{\ell_2}{\ell_4}\right|+\frac{1}{\left|\ell_4\right|\gamma_2}\right)\frac{c_{32}}{\varepsilon_3}+\mu_0M,$$

$$\Gamma_3\left(\mu_0\right):=-\frac{\kappa_3}{\kappa\kappa_4}-\frac{\gamma_1}{\left|\kappa_4\right|}+\frac{\mu_0}{\kappa},$$

$$\Gamma_4\left(\mu_0\right):=-\frac{\ell_3}{\ell\ell_4}-\frac{\gamma_2}{\left|\ell_4\right|}+\frac{\mu_0}{\ell}$$

biçiminde tanımlıdır. $\eta_1>0,\eta_2>0$ olduğundan dolayı; keyfi pozitif $\gamma_1,\gamma_2,\varepsilon_1,\varepsilon_2,\varepsilon_3$ parametreleri çok küçük ve pozitif μ_0 spektral parametresi yeterince büyük seçilebilir ki $\Gamma_1>0,\Gamma_2\left(\mu_0\right)>0,\Gamma_3\left(\mu_0\right)>0$ ve $\Gamma_4\left(\mu_0\right)>0$ eşitsizlikleri sağlanır.

$\Gamma_5=\min\limits_{s\in\square}\dfrac{q(s)}{r(s)}>0$ olmak üzere $Q(s)=\sum\limits_{i=1}^{2}\int\limits_{\square_i}q(s)\left|z\left(s\right)\right|^2ds\geq\Gamma_5\sum\limits_{i=1}^{2}\int\limits_{\square_i}r(s)\left|z\left(s\right)\right|^2ds$ eşitsizliği (24) eşitsizliğinde değerlendirilirse

$$\lambda\geq\min\left(\Gamma_2\left(\mu_0\right)\Gamma_5+\mu_0,\kappa\Gamma_3\left(\mu_0\right),\ell\Gamma_4\left(\mu_0\right)\right)\Rightarrow\mu_k\geq-\mu_0+\min\left(\Gamma_2\left(\mu_0\right)\Gamma_5+\mu_0,\kappa\Gamma_3\left(\mu_0\right),\ell\Gamma_4\left(\mu_0\right)\right)$$

$$\Rightarrow\qquad\mu_k\geq\min\left(\Gamma_2\left(\mu_0\right)\Gamma_5,-\frac{\kappa_3}{\kappa_4}-\frac{\kappa\gamma_1}{\left|\kappa_4\right|},-\frac{\ell_3}{\ell_4}-\frac{\ell\gamma_2}{\left|\ell_4\right|}\right) \tag{25}$$

elde edilir. Bu eşitsizlik bize oran (1) – (3) Sturm-Liouville tipi sınır değer arayüz probleminin özdeğerlerinin alttan sınırlı olduğunu söylemektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada $[x_1, x_2) \cup (x_2, x_3]$ biçiminde ayrık iki aralıkta tanımlı olan, spektral özdeğer parametresini doğrusal olarak hem denkleminde hem de sınır şartlarının ikisinde bulunduran ve ayrıca ortak olan sınır noktasında tanımlı arayüz şartlarından Sturm-Liouville tipi sınır değer arayüz probleminin Rayleigh oranı ve özdeğerlerinin alttan sınırlılığı incelenmiştir. Klasik Sturm-Liouville teorisi bu tipten çok-aralıklı sınır-değer-geçiş problemlerini kapsamamaktadır. Klasik SLP'lere arayüz koşulları eklemek bazı zorlukları beraberinde getirir. Bu zorluklardan ilki, klasik yöntemlerin ek arayüz koşulları içeren bir probleme nasıl genişletileceğinin açık olmamasıdır. Bir diğer önemli zorluk ise özfonksiyonların tamlığıdır, çünkü arayüz koşullarına sahip SLP'lerin sonsuz sayıda özdeğeri olmayabilir. Genellikle sınır-değer-geçiş problemleri kendine-eşlenik değildir ve özfonksiyonlar sistemi klasik $L_2[x_1, x_3]$ Hilbert uzayında baz oluşturmuyor. Bunu dikkate alarak, bu tipten geçiş problemlerinin kendine-eşlenik biçimde sonuçlanabilmesi için yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

KAYNAKÇA

[1] Allahverdiev, B. P., Tuna, H., Conformable fractional Sturm–Liouville problems on time scales. Math Meth Appl Sci. 2021;1–16, 2021. DOI: 10.1002/mma.7925.

[2] Belinskiy, B.P., Hiestand, J.W. ve Matthews, J.V., Piecewise Uniform Optimal Design Of A Bar With An Attached Mass, Electronic Journal of Differential Equations, Vol. 2015, No. 206, pp. 1–17,2015.

[3] Belinskiy, B.P., Dauer, J.P., Eigenoscillations of mechanical systems with boundary conditions containing the frequency, Quarterly of Applied Mathematics 56, 521–541, 1998.

[4] Binding, P.A, Browne, P.J. ve Seddighi, K. 1993. Sturm-Liouville problems with eigenparameter dependent boundary conditions, Proc. Edinburgh Math. Soc., 37(2), 57-72.

[5] Fulton, C.T. 1977. Two-point boundary value problems with eigenvalue parameter contained in the boundary conditions, Proc. R. Soc. Edinburgh, A77, 293-308.

[6] Gohberg, I. C., Krein, M. G., *Introduction to The Theory of Linear Non-Selfadjoint Operators*, Translation of Mathematical Monographs, vol. 18, Amer. Math. Soc., Providence, Rhode Island, 1969.

[7] Gwak, S., Kim, J., Rey, S.J. 2016. Massless and massive higher spins from anti-de Sitter space waveguide, Journal of High Energy Physics, volume 2016, Article number: 24.

[8] Kaoullas, G. ve Georgiou, G.C. 2015. Start-up and cessation Newtonian Poiseuille and Couette flows with dynamic wall slip, Meccanica, 50:1747–1760. Ladyzhenskaia, O. A., *The Boundary Value Problems Of Mathematical Physics*, Springer-Verlag, New York, 1985.

[9] Markus, A.S., *Introduction to the Spectral Theory of Polynomial Operator Pencils*, Shtiintsa, Kishinev, 1986; English Transl. in: Am. Math. Soc., Providence, RI, 1988, Transl. Math. Monogr.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

[10] Mukhtarov, O. Sh. ve Aydemir, K., Discontinuous Sturm-Liouville Problems Involving An Abstract Linear Operator. Journal of Applied Analysis & Computation, 10(4), 1545-1560, 2020.

[11] Mukhtarov, O. Sh, Olğar, H. ve Aydemir, K., Resolvent Operator and Spectrum of New Type Boundary Value Problems. Filomat 29, 1671–1680, 2015.

[12] Mukhtarov, O. Sh., Yakubov, S., Problems for differential equations with transmission conditions, Applicable Anal. 81, 1033–1064, 2002.

[13] Nie, Y. ve Linetsky, V. 2019. Sticky reflecting Ornstein-Uhlenbeck diffusions and the Vasicek interest rate model with the sticky zero lower bound. Stochastic Models, pages 1–19.

[14] Olğar,H., Mukhtarov, O.Sh., Weak eigenfunctions of two-interval Sturm-Liouville problems together with interaction conditions, Journal of Mathematical Physics **58**, 042201 (2017); doi: 10.1063/1.4979615.

[15] Olğar, H., Mukhtarov, O.Sh. ve Aydemir, K., Some properties of eigenvalues and generalized eigenvectors of one boundary value problem, Filomat, 32:3, 911-920, 2018.

[16] Pryce, J.D., *Numerical Solution of Sturm-Liouville Problems* Oxford University Press, 1993.

[17] Rotenberg, M., *Theory and application of Sturmian functions*, Adv. Atomic. and Mol. Phys. 6, 1970.

[18] Sherstyuk, A.I., *Problems of Theoretical Physics* (Leningrad., Gos. Univ., Leningrad, 1988), Vol. 3.

[19] Tikhonov, A.N., Samarskii,A.A., *Equations of Mathematical Physics*, Oxford and New York, Pergamon, 1963.

[20] Titchmars, E. C., 1962. Eigenfunctions Expansion Associated with Second Order Differential Equations I, second edn. Oxford Univ. press, London, 1962.

[21] Walter, J., Regular eigenvalue problems with eigenvalue parameter in the boundary conditions. Math. Z. 133**,** 301-312, 1973.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ORMAN TOPRAKLARINDA TOPRAK ORGANİK KARBONUNUN BELİRLEYİCİLERİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ YAKLAŞIMLARI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Prof.Dr. Arzu Altın Yavuz
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, aaltin@ogu.edu.tr - 0000-0002-3277-740X

Doç.Dr. H. Serhan Yavuz
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, hsyavuz@ogu.edu.tr - 0000-0002-4944-1013

ÖZET

Toprak, yalnızca bitkilerin tutunduğu bir ortam değil; atmosfer ile biyosfer arasındaki karbon alışverişini belirleyen büyük bir depo ve aynı zamanda aktif bir reaksiyon alanıdır. İklim krizinin etkilerinin arttığı günümüzde, karada tutulan karbonun önemli bir bölümü toprağın içinde uzun süreli olarak birikebilmektedir. Bununla birlikte toprak sistemi tek yönlü çalışmaz. Ayrışma, mikrobiyal solunum, nem ve sıcaklık rejimleri gibi süreçler karbonun bir kısmını tekrar atmosfere taşıyabilir. Bu çift yönlü dinamik, toprak yönetiminin ve ekosistem koşullarının sera etkili gaz dengesi üzerinde belirleyici olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla toprağın karbon biriktirme kapasitesinin korunması ve güçlendirilmesi, hem ekosistemlerin sürekliliği hem de iklim politikalarının izlenebilir hedeflere dönüşmesi açısından temel bir başlıktır. Bu çerçevede topraktaki organik karbon miktarı (TOK), toprak sağlığını ve ekosistemin işleyişini birlikte yansıtan kritik bir göstergedir. TOK düzeyi yükseldikçe toprak yapısının iyileşmesi, suyun tutulup bitkiye daha dengeli sunulması, besin elementlerinin döngüsünün daha etkin işlemesi ve mikrobiyal yaşamın desteklenmesi gibi pek çok süreç olumlu yönde etkilenebilir. Özellikle orman ekosistemlerinde yaprak-çöp girdileri, kök üretimi ve humus oluşumu TOK'un mekânsal dağılımını şekillendirirken pH, nem, kil oranı ve benzeri fizikokimyasal değişkenler de organik karbonun stabilizasyonunda önemli rol oynar. Bu nedenle TOK ile toprak özellikleri arasındaki ilişkiler çoğu zaman basit doğrusal kalıplarla açıklanamayacak kadar karmaşık bir yapı sergiler.

Bu çalışmada, arazi ölçümlerine dayanarak orman alanlarında TOK değişkenliğini en güçlü biçimde açıklayan toprak özelliklerinin ortaya konulması hedeflenmektedir. Ayrıca, ilgili değişkenler arasındaki doğrusal olmayan örüntüleri yakalayabilmek için makine öğrenmesi yaklaşımları kullanılarak TOK'un tahminine yönelik modeller geliştirilecek ve hangi toprak parametrelerinin öngörü gücüne en fazla katkı sunduğu değerlendirilecektir. Bu amaçla karar ormanı, destek vektör regresyonu ve Gradient Boosting regresyonu kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Toprak Organik Karbonu, Makine Öğrenme, Regresyon

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

EVALUATION OF THE DETERMINANTS OF SOIL ORGANIC CARBON IN FOREST SOILS USING MACHINE LEARNING APPROACHES

ABSTRACT

Soil is not merely a medium that supports plant growth; it is a major reservoir that regulates carbon exchange between the atmosphere and the biosphere, as well as an active zone of biogeochemical reactions. In the context of the intensifying climate crisis, a substantial proportion of terrestrial carbon can be stored in soils over long time scales. However, the soil system does not operate unidirectionally. Processes such as decomposition, microbial respiration, and variations in moisture and temperature regimes can return part of this carbon to the atmosphere. This bidirectional dynamic indicates that soil management practices and ecosystem conditions play a decisive role in the balance of greenhouse gases. Therefore, preserving and enhancing the soil's carbon sequestration capacity constitutes a key issue for both ecosystem sustainability and the translation of climate policies into measurable targets. Within this framework, soil organic carbon (SOC) is a critical indicator that simultaneously reflects soil health and ecosystem functioning. Increasing SOC levels can lead to improvements in soil structure, more balanced water retention and availability to plants, more efficient nutrient cycling, and the support of microbial activity. Particularly in forest ecosystems, litter inputs, root production, and humus formation shape the spatial distribution of SOC, while physicochemical variables such as pH, moisture, and clay content play important roles in the stabilization of organic carbon. Consequently, the relationships between SOC and soil properties often exhibit a level of complexity that cannot be adequately explained by simple linear patterns.

In this study, it is aimed to identify the soil properties that most strongly explain the variability of SOC in forest areas based on field measurements. In addition, machine learning approaches are employed to capture nonlinear patterns among the relevant variables and to develop predictive models for SOC, with an evaluation of which soil parameters contribute most to predictive performance. For this purpose, Random Forest, Support Vector Regression, and Gradient Boosting Regression models are applied.

Keywords: Soil Organic Carbon, Machine Learning, Regression

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Toprak, yalnızca bitkilerin kök saldığı bir büyüme ortamı değil; atmosfer ile biyosfer arasındaki karbon alışverişini düzenleyen büyük bir depo ve aynı zamanda biyokimyasal reaksiyonların gerçekleştiği aktif bir ara yüzdür. Karasal ekosistemlerde karbonun önemli bir bölümü uzun süreli olarak toprağın içinde depolanabilir; bu nedenle toprak karbonundaki görece küçük değişimler bile atmosferik CO_2 dengesini ve iklim sistemini etkileyebilecek büyüklüktedir (Lal, 2004a; IPCC, 2006). Bununla birlikte toprak sistemi tek yönlü çalışmaz: organik maddenin ayrışması, mikrobiyal solunum ve iklimsel koşullar (özellikle sıcaklık–nem rejimi) toprakta tutulan karbonun bir kısmını yeniden atmosfere taşıyabilir. Bu çift yönlü dinamik, toprak yönetimi ile ekosistem koşullarının sera gazı dengesi üzerinde belirleyici olabileceğini göstermektedir (Jungkunst vd., 2022). Dolayısıyla toprağın karbon biriktirme kapasitesinin korunması ve güçlendirilmesi, hem ekosistemlerin sürekliliği hem de iklim politikalarının izlenebilir hedeflere dönüştürülmesi açısından temel bir başlıktır (Topçu vd., 2022).

Bu çerçevede toprak organik karbonu (TOK), toprakta bitki ve hayvan kalıntılarının ayrışmasıyla oluşan organik bileşikler içinde depolanan karbonu ifade eder (Lal, 2004a; IPCC, 2006). TOK düzeyi, "toprak sağlığı"nı iklim boyutuyla birlikte yansıtan kritik bir göstergedir. TOK arttıkça toprak agregat stabilitesinin güçlenmesi, suyun tutulup bitkiye daha dengeli sunulması, besin elementlerinin döngüsünün daha etkin işlemesi ve mikrobiyal yaşamın desteklenmesi gibi süreçlerin olumlu yönde etkilenmesi beklenir (Six vd., 2002; Lehmann ve Kleber, 2015). Bu nedenle TOK; üretkenlik, erozyon direnci ve kuraklık stresine dayanıklılık gibi ekosistem hizmetleriyle yakından ilişkilidir ve sürdürülebilir toprak yönetiminde izlenmesi gereken başlıca göstergeler arasında yer alır (Topçu vd., 2022).

TOK'un miktarı ve mekânsal dağılımı; iklim, bitki örtüsü, topoğrafya ve yönetim etkilerinin yanı sıra toprak özelliklerine (tekstür/kil oranı, pH, horizon gelişimi, derinlik vb.) bağlı olarak önemli ölçüde değişir (Jobbágy ve Jackson, 2000; Batjes, 2011). Özellikle orman ekosistemlerinde yaprak–çöp girdileri, kök üretimi ve humus oluşumu TOK'un birikimini ve dikey dağılımını şekillendirirken; toprak pH'ı, nem koşulları ve kil içeriği gibi fizikokimyasal özellikler organik karbonun stabilizasyonunda belirleyici rol oynar (Jobbágy ve Jackson, 2000; Lehmann ve Kleber, 2015). Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişimleri de TOK stoklarını güçlü biçimde etkileyebilmektedir. Vezirköprü (Samsun) örneğinde arazi kullanım/arazi örtüsü sınıfları arasında TOK stoklarının anlamlı biçimde farklılaştığı; tarımsal alanlarda azalma eğiliminin belirginleşebildiği rapor edilmiştir (Yılmaz ve Dengiz, 2021). Benzer şekilde Sarıkum Milli Parkı (Sinop) gibi korunan alanlarda dahi farklı arazi kullanım tiplerinin TOK ve azot stoklarını ayırdığı; sulak alan–sazlık gibi organik girdi birikiminin yüksek olabildiği birimlerde stokların yükseldiği, kumul/yerleşim gibi birimlerde ise düşebildiği gösterilmiştir (Akgöz vd., 2025). Bu bulgular, TOK ile çevresel–pedolojik değişkenler arasındaki ilişkinin çoğu zaman basit doğrusal kalıplarla açıklanamayacak kadar karmaşık bir yapı sergilediğine işaret etmektedir (Lehmann ve Kleber, 2015).

TOK'un güvenilir biçimde tespiti ve haritalanması; karbon yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi, arazi tahribatı/bozulmasının izlenmesi ve iklim hedeflerinin raporlanabilir göstergelere dönüştürülmesi açısından kritik öneme sahiptir (IPCC, 2006; Topçu vd., 2022). Ancak geniş alanlarda yoğun örnekleme ve laboratuvar analizi, maliyet ve zaman açısından

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

sınırlayıcıdır; az örnekle yapılan klasik interpolasyon yaklaşımları da özellikle heterojen alanlarda belirsizliği artırabilir (Aşkın vd., 2014). Bu nedenle son yıllarda sayısal toprak haritalama yaklaşımları ve makine öğrenmesi yöntemleri, TOK'un mekânsal tahmini ve farklı çözünürlüklere "ölçek küçültme" (downscaling) işlemleri için giderek daha fazla kullanılmaktadır (McBratney vd., 2003; Kılıç vd., 2022; Karamanlı, 2025). Nitekim Kahramanmaraş/Ekinözü örneklem alanında yapılan bir çalışmada, farklı makine öğrenmesi algoritmaları karşılaştırılmış; doğrusal olmayan modellerin özellikle TOK haritalama amaçlı performans avantajı sunabildiği ve rastgele orman yaklaşımının öne çıktığı bildirilmiştir (Karamanlı, 2025).

Bu çalışmada, orman alanlarında TOK değişkenliğini en güçlü biçimde açıklayan toprak özelliklerinin ortaya konulması ve doğrusal olmayan örüntüleri yakalayabilmek amacıyla makine öğrenmesi tabanlı TOK tahmin modellerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda karar ormanı (Random Forest), destek vektör regresyonu (SVR) ve Gradient Boosting regresyonu kullanılarak TOK tahmin performansları karşılaştırılmış; ayrıca değişken önemlilikleri incelenerek TOK'un mekânsal farklılaşmasını belirleyen temel toprak parametrelerinin hangileri olduğu belirlenmiştir. Böylece hem TOK'un daha doğru tahmini amaçlanmakta, hem de sürdürülebilir arazi yönetimi ve iklim odaklı uygulamalar için karar destek niteliğinde bir bilimsel altyapı sunulması amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada TOK ile ilişkili olabileceği bilinen fizikokimyasal, biyokimyasal ve gaz değişim göstergelerinden oluşan bir veri seti derlenmiştir. Bu değişkenler; TC (Toplam Karbon), CN (C/N oranı) ve SIC (Toprak İnorganik Karbonu) gibi genel karbon–azot göstergelerinin yanında, organik karbonun havuzlarını temsil eden fraksiyonlar olan POC (Partikül Organik Karbon), ROC (Dirençli/Rekalsitrant Organik Karbon) ve MOC (Mineral-ilişkili Organik Karbon) değerlerini içermektedir. Ayrıca karbonun topraktaki stabilizasyon ve dolaşım dinamiklerini daha iyi yakalayabilmek amacıyla fraksiyonlar arası oranlar (MOC/POC, POC/SOC, DOC/SOC) da modele dahil edilmiştir. Toprak mikrobiyal aktivitesini ve ayrışma potansiyelini yansıtan MBC (Mikrobiyal Biyokütle Karbonu) ile çözünmüş organik madde havuzunu temsil eden DOC (Çözünmüş Organik Karbon) değişkenleri; karbonun kısa vadeli dönüşüm süreçleri açısından kritik değişkenlerdir. Buna ek olarak, organik maddenin enzimatik parçalanma kapasitesini temsil eden BG (β-glukozidaz), BX (β-ksilosidaz) ve CBH (selobiyohidrolaz) enzim aktiviteleri ile karbon mineralizasyonunun ve sera gazı bileşenlerinin göstergeleri olan CO_2 ve CH_4 ölçümleri de bağımsız değişken setine eklenmiştir. Bu şekilde oluşturulan veri matrisi, TOK'un mekânsal/örnekler arası değişkenliğini açıklamak ve doğrusal olmayan ilişkileri yakalayarak tahmin performansını artırmak amacıyla karar ormanı, destek vektör regresyonu ve Gradient Boosting regresyonu gibi makine öğrenmesi modellerinde girdi olarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada amaç, orman alanlarından elde edilen toprak örneklerinde toprak organik karbonu (TOK/SOC) düzeyindeki değişkenliği açıklayan başlıca toprak özelliklerini belirlemek ve doğrusal olmayan ilişkileri de yakalayabilen makine öğrenmesi modelleri ile TOK'u tahmin

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

edebilmektir. Bu kapsamda çalışma akışı; (i) veri setinin oluşturulması ve ön işleme, (ii) model geliştirme ve doğrulama, (iii) model performansının karşılaştırılması ve (iv) değişken önemliliklerinin değerlendirilmesi adımlarından oluşmaktadır.

Modelleme öncesinde veri seti kalite kontrolünden geçirilmiştir. Sürekli değişkenlerin ölçek farklılıklarının model davranışını etkilemesini önlemek amacıyla, özellikle mesafe-temelli/çekirdek-temelli öğrenen modeller için (SVR) öznitelikler standartlaştırılmıştır (ortalama=0, standart sapma=1). Değişkenler arasında yüksek doğrusal ilişki bulunması durumunda (örn. TC–POC–MOC gibi karbon fraksiyonları veya oran değişkenleri) çoklu doğrusal bağlantının etkisini izlemek üzere korelasyon analizi yapılmış; ancak ağaç tabanlı yöntemlerin bu duruma görece dayanıklı olması nedeniyle, değişken seti "bilgi kaybına yol açmamak" amacıyla mümkün olduğunca korunmuştur.

Karar Ormanı, birden çok karar ağacının bootstrap örnekler üzerinde eğitildiği ve sonuçların ortalanarak tahmin üretildiği bu yöntem, değişkenler arası doğrusal olmayan ilişkileri ve etkileşimleri güçlü biçimde yakalayabilmektedir. Ayrıca değişken önemlilikleri üzerinden yorumlanabilirlik sunmaktadır (Chen et al., 2019).

Destek Vektör Regresyonu (SVR), özellikle sınırlı örneklem büyüklüklerinde iyi genelleme sağlayabilen SVR, çekirdek fonksiyonları aracılığıyla doğrusal olmayan fonksiyonları öğrenebilir. Bu modelde ölçekleme kritik olduğundan standartlaştırma zorunlu adım olarak uygulanmıştır (Cortes & Vapnik, 1995)..

Gradient Boosting Regresyonu (GBR), zayıf öğrenicilerin (çoğunlukla sığ karar ağaçlarının) ardışık şekilde eğitildiği ve hatayı kademeli biçimde azaltan boosting yaklaşımıdır. Karmaşık örüntüleri yakalama ve yüksek tahmin doğruluğu açısından güçlü bir referans yöntem olarak kullanılmıştır (Chen & Guestrin, 2016).

Modellerin genelleme başarısını değerlendirmek için veri seti eğitim–test ayrımı ile birlikte k-katlı çapraz doğrulama kullanılarak doğrulanmıştır. Böylece tek bir bölmenin rastlantısal etkisi azaltılmış, her örneğin hem eğitim hem de doğrulama aşamalarında yer alması sağlanmıştır. Performans değerlendirmesi, sürekli değişken tahmini için yaygın metrikler üzerinden yapılmıştır.

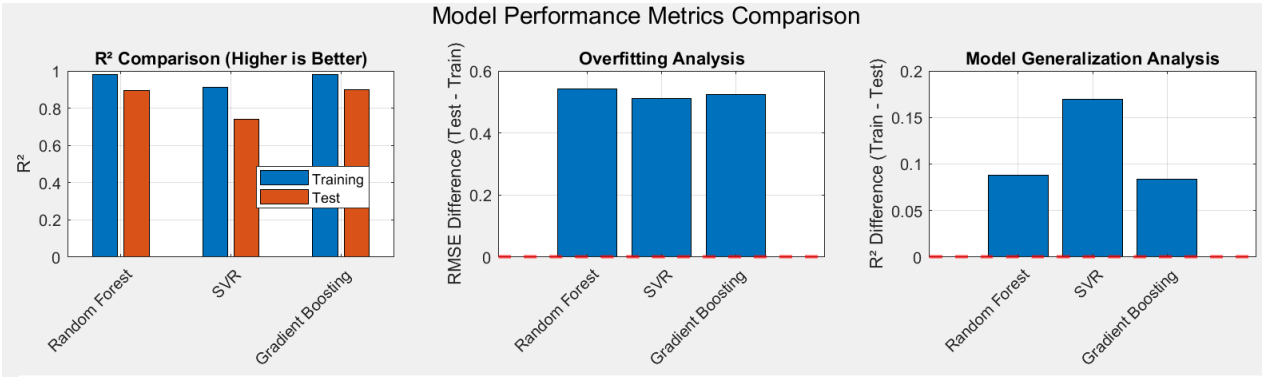
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yukarıda açıklanan TOK veri seti için gerekli tüm istatistiksel analizler, R ve Python programları kullanılarak yapılmıştır. Veri ön işleme işlemleri yapıldıktan sonra, veri seti %70 eğitim, %30 test olarak ayrılmıştır. İlk aşamada Random Forest algoritması uygulandıktan sonra sırasıyla, SVM, GBR uygulanarak analizlere devam edilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Görsel 1. Eğitim ve Test verisine ilişkin RMSE Değerleri

Görsel 1 de Random Forest (RF), SVR ve Gradient Boosting (GB) modellerinin eğitim ve test performanslarını bir arada değerlendirerek hem hata düzeyini hem de genelleme davranışı özetlenmektedir. RMSE karşılaştırmasına göre test hatası en düşük olan model Random Forest olup Gradient Boosting ona yakın bir performans sergilerken, SVR en yüksek test RMSE değerine sahiptir; bu durum SVR'nin TOK tahmininde daha büyük sapmalar ürettiğini göstermektedir.

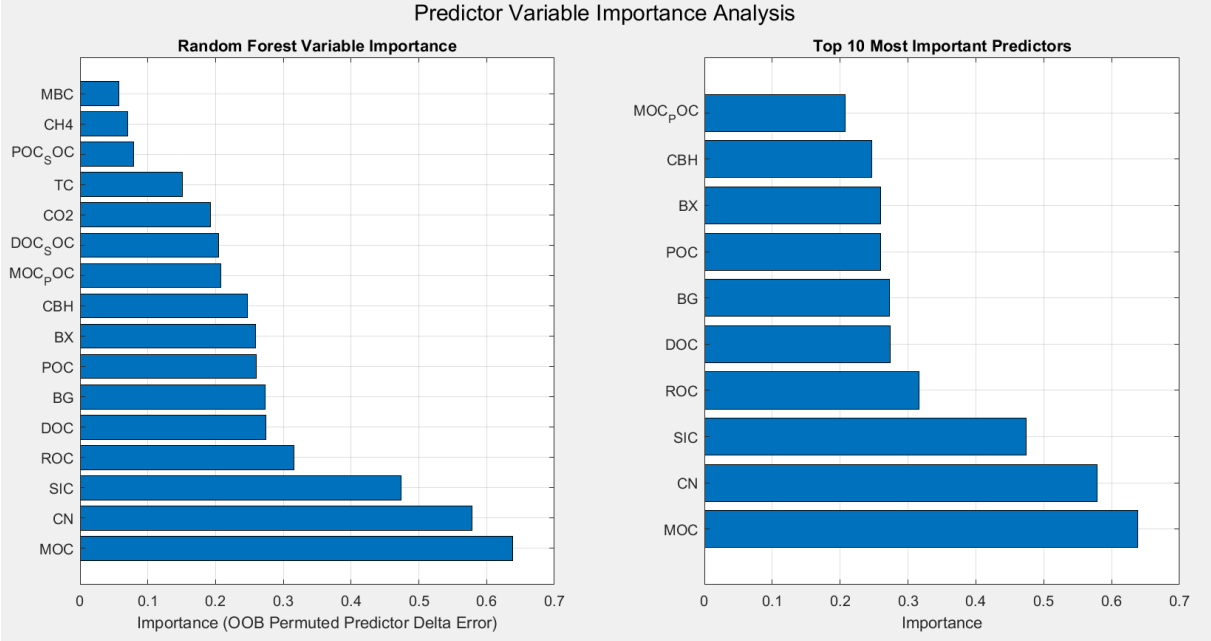


Görsel 2. Model Performansları

R^2 metrikleri de aynı eğilimi desteklemekte; tüm modeller eğitimde yüksek açıklama gücüne ulaşsa da testte en belirgin düşüş SVR'de görülmekte, RF ve GB ise testte daha yüksek R^2 değerlerini koruyarak daha kararlı bir genelleme sunmaktadır. Aşırı öğrenme (overfitting) analizi için verilen RMSE(Test–Train) farkı, üç modelde de eğitim–test hatası arasında artış olduğunu ancak bu artışın SVR'de daha problemli bir genelleme zayıflığına eşlik ettiğini düşündürmektedir. Çünkü R^2(Train–Test) farkının en büyük olduğu model SVR olup, modelin eğitim verisine görece iyi uyum sağlamasına rağmen testte performans kaybı yaşadığını göstermektedir. Buna karşılık RF ve GB'de R^2 farklarının daha düşük kalması, bu yöntemlerin veri setindeki doğrusal olmayan örüntüleri daha iyi yakalarken genelleme yeteneğini de daha iyi koruduğunu işaret etmektedir. Genel olarak TOK tahmininde Random Forest'ın en dengeli ve en yüksek genelleme performansına sahip model olduğunu; Gradient Boosting'in yakın bir

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

alternatif sunduğunu, SVR'nin ise bu veri yapısında daha zayıf genelleme sergilediğini ortaya koymaktadır.



Görsel 3. TOK Üzerindeki En Önemli Değişkenler

Görsel 3 te, Random Forest modelinde permütasyon temelli değişken önemi (OOB permuted predictor delta error) sunularak TOK tahmininde hangi değişkenlerin belirleyici olduğunu ortaya konulmuştur. Sonuçlar, en yüksek önem skorlarının MOC (mineralle ilişkili organik karbon), CN (C/N oranı) ve SIC (toprak inorganik karbonu) değişkenlerinde toplandığını göstermektedir. Bu üçlüyü ROC (dirençli organik karbon) izlemekte, daha sonra DOC (çözünmüş organik karbon) ve organik maddenin parçalanma kapasitesini temsil eden enzim aktiviteleri (BG, BX, CBH) orta düzey önem değerleriyle gelmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada orman topraklarında toprak organik karbonu (TOK) değişkenliğini açıklamak ve TOK'u ölçülmesi görece zor alanlarda güvenilir biçimde tahmin edebilmek amacıyla makine öğrenmesi tabanlı modeller geliştirilmiştir. Modellerin gözlenen–tahmin edilen TOK karşılaştırmaları ve performans metrikleri birlikte değerlendirildiğinde, en başarılı yöntem Random Forest (Karar Ormanı) olmuştur. Random Forest, test verisinde yüksek uyum (yaklaşık $R^2 \approx 0.89$) ve görece düşük hata düzeyi ile hem doğruluk hem de genelleme açısından en dengeli sonuçları üretmiştir. Gradient Boosting yaklaşımı eğitimde çok yüksek başarı göstermesine rağmen testte Random Forest'ın bir miktar gerisinde kalmış; SVR ise özellikle test aşamasında daha belirgin performans düşüşü sergileyerek TOK değerlerini "ortalama etrafında sıkıştırma" eğilimiyle uç değerleri yeterince temsil edememiştir. Bu bulgular, TOK gibi doğrusal olmayan süreçlerle şekillenen bir değişkenin tahmininde, ağaç tabanlı topluluk yöntemlerinin (özellikle Random Forest) daha güçlü ve kararlı genelleme sunabildiğini göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Değişken önem analizi, Random Forest modelinin TOK tahmininde en yüksek katkıyı MOC (mineralle ilişkili organik karbon), CN (C/N oranı) ve SIC (toprak inorganik karbonu) gibi değişkenlerden aldığını; ROC ve DOC ile BG–BX–CBH enzim aktivitelerinin ise tamamlayıcı açıklayıcı rol üstlendiğini ortaya koymuştur.

Gelecek çalışmalar açısından bu bulgular, makine öğrenmesinin TOK izleme ve haritalama uygulamalarında yüksek doğruluklu bir karar-destek aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Özellikle Random Forest ve benzeri topluluk yöntemleri; arazi yönetimi, karbon stoklarının izlenmesi ve restorasyon önceliklerinin belirlenmesi gibi uygulamalarda, daha düşük maliyetli ve hızlı TOK tahminleri sağlayarak saha örnekleme yükünü azaltma potansiyeli taşımaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KAYNAKÇA

[1] Akgöz, R., Doğan, M., Tınaz, A.C., Dengiz, O. ve Erpul, G., Korunan Alanlarda Karbon Yutak Potansiyelinin Değerlendirilmesi: Sarıkum Milli Parkı'nda (Sinop) Arazi Kullanımının Toprak Organik Karbon ve Azot Stokları Üzerindeki Etkisi, Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 12(3), 275-286, 2025. DOI: 10.19159/tutad.1739425.

[2] Aşkın, T., Kızılkaya, R., Olekhov, V., Mudrykh, N., Samafalova, I. ve Türkmen, F., Toprak Organik Karbonu: Jeoistatistiksel Bir Yaklaşım, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi, 2(1), 13-18, 2014.

[3] Batjes, N.H., Soil Organic Carbon Stocks Under Native Vegetation—Revised Estimates for Use with the Simple Assessment Option of the Carbon Benefits Project System, Agriculture, Ecosystems & Environment, 142(3-4), 365-373, 2011.

[4] Chen, T. ve Guestrin, C., XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 785-794, 2016.

[5] Chen, X., Zhang, S. ve Ding, Y., Random Forest for Clinical Classification, Artificial Intelligence in Medicine, 95, 8-19, 2019.

[6] Cortes, C. ve Vapnik, V., Support-Vector Networks, Machine Learning, 20, 273-297, 1995.

[7] IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU), Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.

[8] Jenny, H., Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology, McGraw-Hill, New York, 1941.

[9] Jobbágy, E.G. ve Jackson, R.B., The Vertical Distribution of Soil Organic Carbon and Its Relation to Climate and Vegetation, Ecological Applications, 10(2), 423-436, 2000.

[10] Jungkunst, H.F., Göpel, J., Horvath, T., Ott, S. ve Brunn, M., Global Soil Organic Carbon–Climate Interactions: Why Scales Matter, WIREs Climate Change, 13(4), e780, 2022.

[11] Karamanlı, E., Toprak Organik Karbonu Ölçek Küçültme İşlemi İçin Farklı Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Karşılaştırılması: Kahramanmaraş/Ekinözü İlçesi Örneklem Alanı, Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 26(2), 378-388, 2025. DOI: 10.17474/artvinofd.1638494.

[12] Kılıç, M., Günal, H. ve Budak, M., Toprak Organik Karbon İçeriğinin Tahminin ve Haritalamasında Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Kullanımı, 1st International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences (ICENSOS), Konya, Türkiye, 20-23 Aralık, 2022.

[13] Lal, R., Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security, Science, 304(5677), 1623-1627, 2004.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[14] Lal, R., Soil Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change, Geoderma, 123(1-2), 1-22, 2004.

[15] Lehmann, J. ve Kleber, M., The Contentious Nature of Soil Organic Matter, Nature, 528(7580), 60-68, 2015.

[16] McBratney, A.B., Mendonça Santos, M.L. ve Minasny, B., On Digital Soil Mapping, Geoderma, 117, 3-52, 2003.

[17] Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A. ve Paustian, K., Stabilization Mechanisms of Soil Organic Matter: Implications for C-Saturation of Soils, Plant and Soil, 241(2), 155-176, 2002.

[18] Topçu, P., Yavuz, Ö. ve Tolunay, A., Sürdürülebilir Toprak Yönetiminde Toprak Organik Karbonunun Önemi, Turkish Journal of Forest Science, 6(2), 604-614, 2022.

[19] Yılmaz, M. ve Dengiz, O., Bazı Toprak Özellikleri İle İlişkili Olarak Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsünün Toprak Organik Karbon Stokuna Etkisi, Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 8(2), 154-167, 2021. DOI: 10.19159/tutad.865188.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

TOPRAK TİPİ SINIFLANDIRMASINDA MAKİNE ÖĞRENME YÖNTEMLERİ

Prof.Dr. Arzu Altın Yavuz
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, aaltin@ogu.edu.tr - 0000-0002-3277-740X

Doç.Dr. H. Serhan Yavuz
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, hsyavuz@ogu.edu.tr - 0000-0002-4944-1013

ÖZET

Toprak tipi (ör. tınlı ve kumlu) yalnızca tane boyu dağılımıyla değil, aynı zamanda karbon havuzlarının yapısı, mikrobiyal aktivite ve sera gazı dinamikleriyle de ayırt edilebilen çok boyutlu bir sistemdir. Toprakların karbon depolama kapasitesi ve biyolojik işleyişi, farklı toprak tiplerini ayırt etmede güçlü göstergeler sunar. Bu çalışmada fiziksel ve kimsayal özellikler kullanılarak tınlı ve kumlu toprakların makine öğrenmesi yöntemleriyle sınıflandırılması amaçlanmaktadır. Çalışmada açıklayacı değişkenler olarak karbon stokunu özetleyen toplam karbon, toprağın verimlilik ve stabilite bileşenlerini temsil eden toprak organik karbonu ve toprak inorganik karbonu gibi temel göstergelerin yanında, organik karbonun davranışını daha ayrıntılı yakalayan göstergeleride içermektedir. Bu kapsamda partikül organik karbon (toprağın daha hızlı dönüşebilen kısmı), mineral bağlı organik karbon (minerallere bağlanarak daha uzun süre kalabilen kısım) ve kalıcı/dirençli organik karbon (ayrışmaya daha dayanıklı fraksiyon) ölçümleri kullanılacaktır. Ayrıca toprağın beslenme dengesini yansıtan karbon/azot oranı ile fraksiyonlar arası ilişkileri özetleyen mineral bağlı organik karbonun partikül organik karbona oranı, partikül organik karbonun organik karbon içindeki payı ve çözünmüş organik karbonun organik karbon içindeki oranı gibi türetilmiş göstergeler modele dâhil edilecektir.

Biyolojik aktiviteyi temsil etmek üzere mikrobiyal biyokütle karbonu, çözünmüş organik karbon ve karbon döngüsüyle ilişkili enzim aktiviteleri olan β-glukozidaz, β-ksilosidaz ve selobiyohidrolaz ölçümleri kullanılacaktır. Ek olarak, ekosistemin gaz değişimini yansıtan metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2) akıları da değerlendirmeye alınacaktır. Ön işlem aşamasında aykırı değer incelemesi, ölçekleme, değişkenler arası çoklu bağlantı kontrolü ve özellik seçimi uygulanacaktır. Sınıflandırmada lojistik regresyon, destek vektör makineleri ve ağaç tabanlı modeller eğitilecek; performans çapraz doğrulama ile doğruluk, F1 ve ROC-AUC ölçütleri üzerinden karşılaştırılacaktır. Son olarak, değişken önem sıralaması ve SHAP tabanlı yorumlanabilirlik analizleriyle sınıfları ayırmada en belirleyici toprak göstergeleri ortaya konacaktır.

Anahtar Kelimeler : Toprak sınıflandırması, toprak organik karbonu, makine öğrenmesi

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ABSTRACT

Soil type (e.g., loamy and sandy) is a multidimensional system that can be distinguished not only by particle-size distribution but also by the structure of carbon pools, microbial activity, and greenhouse-gas dynamics. The carbon storage capacity and biological functioning of soils provide strong indicators for discriminating among different soil types. This study aims to classify loamy and sandy soils using machine learning methods based on physical and chemical properties. The explanatory variables include key indicators summarizing carbon stocks—such as total carbon, soil organic carbon, and soil inorganic carbon, which represent soil fertility and stability components—together with additional descriptors that capture the behavior of organic carbon in greater detail. In this context, measurements of particulate organic carbon (the more rapidly cycling fraction), mineral-associated organic carbon (the fraction that can persist longer through mineral binding), and resistant/recalcitrant organic carbon (the fraction more resistant to decomposition) will be used. In addition, the carbon-to-nitrogen ratio, reflecting nutrient balance, and derived indices summarizing relationships among fractions—such as the ratio of mineral-associated to particulate organic carbon, the share of particulate organic carbon within soil organic carbon, and the proportion of dissolved organic carbon within soil organic carbon—will be incorporated into the model.

To represent biological activity, microbial biomass carbon, dissolved organic carbon, and the enzyme activities related to carbon cycling—β-glucosidase, β-xylosidase, and cellobiohydrolase—will be included. Moreover, methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2) fluxes, reflecting ecosystem gas exchange, will also be evaluated. In the preprocessing stage, outlier analysis, scaling, multicollinearity assessment, and feature selection will be applied. For classification, logistic regression, support vector machines, and tree-based models will be trained, and their performance will be compared using cross-validation with accuracy, F1-score, and ROC-AUC metrics. Finally, variable-importance ranking and SHAP-based interpretability analyses will be used to identify the most decisive soil indicators for separating the classes.

Keywords: Soil classification, soil organic carbon, machine learning

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Tarım sektörü, küresel sera gazı (GHG) emisyonlarının önemli kaynaklarından biri olup, gıda ve beslenme güvenliğini tehlikeye atmadan bu emisyonların azaltılması günümüzde temel bir gereklilik hâline gelmiştir. Karbon tutumu ve toprak organik karbonunun (TOK) artırılması, iklim değişikliğiyle mücadelede etkili stratejiler arasında yer almaktadır (Li et al., 2021). Küresel ölçekte TOK'un karbon depolama kapasitesi, atmosferde ve yer üstü biyokütlede depolanan karbon miktarının birkaç katına ulaşmaktadır. Bu nedenle TOK da meydana gelen küçük değişimler dahi karbon emisyonları ve iklim geri besleme mekanizmaları üzerinde önemli etkiler yaratabilmektedir (Stockmann et al., 2013; Kan et al., 2022).

Toprak organik karbonu (TOK), tek bir "homojen" yapı değildir; farklı hızlarda parçalanan ve farklı sürelerle toprakta kalabilen birkaç karbon havuzunun toplamından oluşur. Bu havuzların bir kısmı miktar olarak küçük olsa da toprakta olup biten biyolojik süreçleri güçlü biçimde yönlendirir. Örneğin kolay oksitlenebilir organik karbon (ROC), çözünmüş organik karbon (DOC) ve mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC) toplam TOK içinde görece düşük paya sahip olmasına rağmen, mikroorganizmaların hızlı erişebildiği bir karbon kaynağı sunduğu için mikrobiyal faaliyet ve ayrışma dinamikleri üzerinde belirleyici rol oynar (Li vd., 2021). Buna karşılık mineralle ilişkili organik karbon (MOC), mineral yüzeylerine bağlanmış veya mikrobiyal dönüşümlerle daha dayanıklı hale gelmiş karbonu temsil eder; bu nedenle daha uzun süre toprakta kalabilen "kararlı" bir fraksiyon olarak değerlendirilir ve toplam TOK'un yaklaşık %20–30'unu oluşturabildiği bildirilmektedir (Kopittke vd., 2020; Wang vd., 2021). Partikül organik karbon (POC) ise kısmen ayrışmış bitki ve organik artıklarından meydana gelir; daha hareketli ve kısa–orta vadede değişebilen bir havuzu temsil ederek topraktaki yönetim değişikliklerine (ör. organik girdi artışı, işleme, bitki örtüsü) daha hızlı tepki verebilir (Cotrufo vd., 2022).

TOK birikimini artırmaya yönelik uygulamalardan biri de biyokömür (biochar) kullanımudur. Biyokömür, yüksek karbon içeriği ve kimyasal olarak daha dayanıklı yapısı sayesinde toprağa eklendiğinde karbonun daha uzun süre toprakta tutulmasına katkı sağlayabilen bir materyal olarak öne çıkmaktadır (Lu vd., 2021; Zhang vd., 2023). Literatürde biyokömürün toprak yapısını ve bazı fizikokimyasal özellikleri iyileştirebildiği; buna bağlı olarak sera gazı emisyonlarını azaltabildiği ve TOK fraksiyonlarının topraktaki dağılımını değiştirebildiği rapor edilmiştir (Shen vd., 2024; Jiang vd., 2022). Ancak bu etkinin her koşulda aynı olmadığı; biyokömürün TOK üzerindeki etkisinin uygulama dozu, ham madde kaynağı, C:N oranı ve toprak tipi gibi faktörlere bağlı olarak değiştiği gösterilmiştir (Majumder vd., 2019). Bu nedenle biyokömür uygulamalarının değerlendirilmesinde yalnızca toplam TOK artışı değil, TOK'un hangi fraksiyonlarda (MOC, POC, ROC/DOC/MBC) değiştiği de birlikte ele alınmalıdır.

Toprak tipi, özellikle kumlu ve tınlı topraklar arasında, karbon ve azot döngüsünün nasıl işleyeceğini belirleyen temel etkenlerden biridir. Kumlu topraklarda kil oranı ve organik madde genellikle daha düşük olduğu için, toprak organik karbonunun (TOK) mineral yüzeylerine bağlanarak uzun süre toprakta kalması daha sınırlı olabilir. Buna karşılık tınlı topraklar, daha uygun doku ve mineral yüzey alanı sayesinde karbonu tutma açısından çoğu zaman daha avantajlıdır (Gupta vd., 2024). Bu nedenle biyokömür uygulamalarında da tek bir "genel

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

etki"den söz etmek kolay değildir. Jaffar ve arkadaşları (2025), biyokömürün C:N oranı ile toprak dokusu arasındaki etkileşimin TOK birikimi ve sera gazı davranışında belirleyici olduğunu vurgulamıştır. Yüksek C:N oranlı biyokömürlerin mikroorganizmaların azotu kendi bünyelerine bağlamasına (immobilizasyon) yol açarak karbonun daha yavaş salınmasına katkı sağlayabildiği, ancak bu etkinin kumlu ve tınlı topraklarda aynı düzeyde görülmeyebildiği bildirilmektedir (Kirkby vd., 2014; Xu vd., 2021).

Doğru toprak sınıflandırması tarımsal planlama, arazi yönetimi ve sürdürülebilir üretim açısından kritik bir adımdır. Tınlı ve kumlu gibi farklı toprak tiplerinin doğru belirlenmesi, suyun toprakta tutulması, bitki gelişimi ve gübreleme stratejileri üzerinde doğrudan etkili olabilir. Geleneksel sınıflandırma yaklaşımları çoğunlukla laboratuvar analizleri ve uzman değerlendirmelerine dayandığı için zaman alıcı ve maliyetli olabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda, çok sayıda toprak özelliğini aynı anda değerlendirebilen ve aralarındaki karmaşık ilişkileri modelleyebilen makine öğrenmesi yöntemlerine ilgi artmıştır. Literatürde lojistik regresyon, destek vektör makineleri (SVM) ve Random Forest gibi yöntemlerin toprak dokusu sınıflandırmasında başarılı sonuçlar üretebildiği sunulmuştur (Jaffer vd., 2021).

Destek vektör makineleri, yüksek boyutlu veri setlerinde sınıflar arasındaki ayrımı maksimize eden yapısı sayesinde toprak verilerinde etkili sonuçlar sunabilmektedir. Ancak SVM modellerinin performansı, kullanılan çekirdek fonksiyonuna ve parametre ayarlarına oldukça duyarlıdır. Bu durum, küçük örneklem büyüklüklerinde genelleme performansının düşmesine yol açabilmektedir. Buna karşın rastgele orman algoritmaları, çoklu karar ağaçlarının bir araya getirilmesiyle oluşturulan yapısı sayesinde aşırı öğrenme problemini azaltmakta ve değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri başarıyla yakalayabilmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, modellerin yalnızca doğruluk oranlarına göre değil, aynı zamanda F1-skoru ve ROC-AUC gibi ölçütler kullanılarak değerlendirilmesinin daha dengeli bir karşılaştırma sağladığı vurgulanmaktadır. ROC-AUC değeri, özellikle sınıflar arasındaki ayırt edicilik gücünü ortaya koyması açısından model seçiminde önemli bir kriter olarak öne çıkmaktadır (Jaffer et al., 2021). Bu bağlamda, farklı makine öğrenmesi algoritmalarının birlikte değerlendirilmesi, en uygun sınıflandırma modelinin belirlenmesine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada da literatürde önerilen yaklaşımlar doğrultusunda, tınlı ve kumlu toprakların sınıflandırılması amacıyla lojistik regresyon, SVM ve rastgele orman modelleri kullanılmış ve modeller çoklu performans ölçütleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, özellikle lojistik regresyon modelinin hem doğruluk hem de ROC-AUC açısından dengeli ve güvenilir sonuçlar sunduğunu göstermektedir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Tınlı toprak, kum, silt ve kil fraksiyonlarının dengeli bir bileşimine sahip olan, tarımsal üretim açısından en verimli toprak türlerinden biridir. Su tutma kapasitesi ile drenaj özelliği arasında iyi bir denge sağlar ve bitki kök gelişimi için elverişli bir yapı sunar. Besin maddelerini tutma yeteneği yüksek olup, hem fiziksel hem de kimyasal açıdan stabil bir toprak yapısına sahiptir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Kumlu toprak, yüksek oranda kum içeren ve iri taneli bir yapıya sahip toprak türüdür. Su geçirgenliği yüksek, su tutma kapasitesi ise düşüktür. Besin maddelerini tutma yeteneği sınırlı olduğundan, tarımsal verimliliği tınlı topraklara kıyasla daha düşüktür. Hızlı drenaj özelliği nedeniyle kuraklığa daha yatkın bir toprak yapısı sergiler.

Bu çalışmada kullanılan veri setinde yer alan bağımsız değişkenler, toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini yansıtan ölçümlerden oluşmaktadır. Bu değişkenler, toprak dokusunun ve yapısının belirlenmesinde etkili olan temel göstergeleri temsil etmektedir. Fiziksel özelliklere ilişkin değişkenler, toprağın tane yapısı, su tutma kapasitesi ve geçirgenliği gibi özellikleri açıklarken; kimyasal özelliklere ait değişkenler ise toprakta bulunan besin elementleri, pH dengesi ve organik madde içeriği gibi faktörleri yansıtmaktadır. Her bir değişken, tınlı ve kumlu toprak sınıfları arasındaki farklılıkların ortaya konulmasına katkı sağlayan ayırt edici bir bilgi sunmaktadır. Bu değişkenler birlikte değerlendirildiğinde, toprak sınıflarının karakteristik özelliklerini temsil eden çok boyutlu bir veri yapısı elde edilmekte ve sınıflandırma modellerinin ayırt etme gücü artırılmaktadır.

Bu çalışmada, iki farklı toprak sınıfının (tınlı ve kumlu) sınıflandırılması amacıyla lojistik regresyon, destek vektör makineleri (SVM) ve rastgele orman algoritmaları kullanılmıştır. Bu yöntemler, hem doğrusal hem de doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilme kapasiteleri ve literatürde yaygın olarak kullanılmaları nedeniyle tercih edilmiştir.

Lojistik regresyon, ikili sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişkiyi, olasılık temelli bir yaklaşımla modellemektedir. Bu yöntemde, gözlemlerin belirli bir sınıfa ait olma olasılığı lojistik (sigmoid) fonksiyon aracılığıyla tahmin edilir. Lojistik regresyon, model parametrelerinin yorumlanabilir olması ve aşırı öğrenmeye karşı nispeten dayanıklı bir yapıya sahip olması nedeniyle özellikle küçük ve orta ölçekli veri setlerinde etkili sonuçlar sunmaktadır. Bu çalışmada lojistik regresyon modeli, tınlı ve kumlu toprakların ayırt edilmesinde temel bir referans model olarak kullanılmıştır (Hosmer, et.al., 2013).

Destek vektör makineleri, sınıflar arasındaki ayrımı maksimize eden en uygun karar sınırını (hiperdüzlem) belirlemeye dayalı bir sınıflandırma yöntemidir. SVM, özellikle yüksek boyutlu veri setlerinde ve sınıflar arasındaki ayrımın doğrusal olmadığı durumlarda etkili performans göstermektedir. Çekirdek (kernel) fonksiyonları sayesinde veriler, daha yüksek boyutlu bir uzaya taşınarak doğrusal olarak ayrılabilir hâle getirilmektedir. Ancak SVM modellerinin başarısı, çekirdek türü ve düzenleme (regularization) parametrelerinin doğru seçimine oldukça duyarlıdır. Bu çalışmada SVM yöntemi, toprak özellikleri arasındaki karmaşık ilişkilerin sınıflandırma performansına katkısını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır (Khyatki et al., 2010).

Rastgele orman algoritması, çok sayıda karar ağacının bir araya getirilmesiyle oluşturulan topluluk (ensemble) tabanlı bir öğrenme yöntemidir. Her bir karar ağacı, veri setinin rastgele seçilmiş bir alt kümesi ve değişkenlerin rastgele bir alt grubu kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu yaklaşım, tek bir karar ağacında görülebilen aşırı öğrenme problemini azaltmakta ve modelin genelleme yeteneğini artırmaktadır. Rastgele orman, doğrusal olmayan ilişkileri

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

yakalayabilme ve değişkenler arası etkileşimleri modelleyebilme avantajına sahiptir. Ayrıca değişken önem düzeylerinin belirlenmesine olanak tanıması, modelin yorumlanabilirliğini artırmaktadır. Bu çalışmada rastgele orman modeli, toprak sınıflarının ayrımında güçlü bir alternatif yöntem olarak değerlendirilmiştir (Chen et al., 2019).

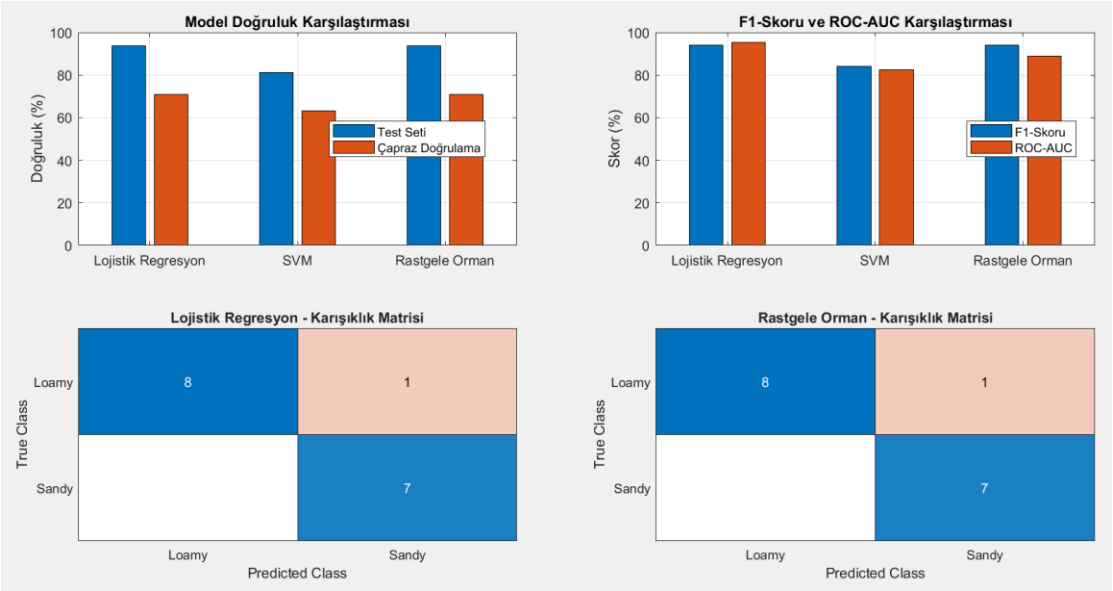
3. BULGULAR

İstatistiksel analizler ve makine öğrenmesi uygulamaları Python ve Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir. Veri seti modele alınmadan önce ön işleme adımları uygulanmış; bu kapsamda aykırı değer kontrolü, eksik değerlerin giderilmesi ve özellikle mesafe/çekirdek temelli yöntemlerde performansı etkileyebileceği için değişkenlerin ölçeklenmesi yapılmıştır. Ön işlemler tamamlandıktan sonra veri seti rastgele biçimde %70 eğitim ve %30 test alt kümelerine ayrılmıştır. Bulunan sonuçlar Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Modellerin Genel Performans Özeti

Model	Test Doğruluğu (%)	CV Doğruluğu (%)	F1-Skoru (%)	ROC-AUC
Lojistik Regresyon	93.75	71.05	94.12	0.952
SVM	81.25	63.16	84.21	0.825
Rastgele Orman	93.75	71.05	94.12	0.889

Sınıflandırma modellerinin performansları karşılaştırıldığında, lojistik regresyon modeli test doğruluğu, F1-skoru ve ROC-AUC değerleri açısından en yüksek performansı göstermiştir. Rastgele orman modeli benzer doğruluk ve F1-skoruna sahip olsa da ROC-AUC değerinin daha düşük olması nedeniyle ikinci sırada yer almıştır. SVM modeli ise diğer modellere kıyasla daha düşük doğruluk ve genelleme başarısı sergilemiştir.



ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Görsel 1. Model Performansları

Şekil, tınlı ve kumlu toprakların sınıflandırılmasında kullanılan üç farklı modelin (Lojistik Regresyon, SVM ve Rastgele Orman) performansını hem genel başarı ölçütleriyle hem de sınıf bazlı hataları gösteren karışıklık matrisleriyle birlikte özetlemektedir. Üst soldaki grafikte test seti doğruluklarına bakıldığında, Lojistik Regresyon ve Rastgele Orman modellerinin yaklaşık %94 düzeyinde benzer ve yüksek doğruluk verdiği, SVM'nin ise daha düşük bir doğrulukla (yaklaşık %81) geride kaldığı görülmektedir. Aynı grafikte çapraz doğrulama sonuçlarının test setine göre daha düşük olması (yaklaşık %63–71 bandı), veri setinin görece küçük/heterojen olabileceğini ve performansın veri bölünmesine duyarlılaştığını düşündürmektedir; bu nedenle model kıyaslamasında yalnızca tek bir test bölmesi değil, çapraz doğrulama gibi daha kararlı değerlendirmelerin dikkate alınması önemlidir.

Üst sağdaki grafikte F1-skoru ve ROC-AUC değerleri karşılaştırıldığında, Lojistik Regresyonun hem F1 hem de ROC-AUC açısından en yüksek değerlere ulaştığı, Rastgele Ormanın özellikle F1'de benzer şekilde yüksek bir seviyede olduğu ancak ROC-AUC'da lojistik regresyona göre daha düşük kaldığı görülmektedir. SVM ise her iki ölçütte de daha düşük değerler üretmiştir. Bu tablo, lojistik regresyonun iki sınıfı ayıran sınırı daha istikrarlı biçimde yakaladığını; rastgele ormanın ise doğru sınıflama üretmekte güçlü olsa da olasılık/sıralama kalitesinde (ROC-AUC) lojistik regresyon kadar iyi olmayabileceğini işaret eder.

Alt kısımdaki karışıklık matrisleri, hatanın hangi sınıfta oluştuğunu açık biçimde gösterir. Hem Lojistik Regresyon hem de Rastgele Orman test setinde 9 tınlı örneğin 8'ini doğru, 7 kumlu örneğin ise tamamını doğru sınıflandırmıştır; yani toplamda 16 örnekten 15'i doğru tahmin edilmiştir (≈%93.75 doğruluk). Dikkat çekici nokta, modellerin hatayı yalnızca tınlı → kumlu yönünde bir örnekte yapması ve kumlu sınıfını hiç kaçırmamasıdır. Bu durum, mevcut veri setinde kumlu toprağa ait örneklerin model açısından daha "ayırt edilebilir" bir örüntüye sahip olabileceğini; tınlı sınıfın ise sınır bölgelerinde kumluya daha fazla benzeyen örnekler içerebileceğini düşündürmektedir.

Genel olarak bu sonuçlar, bu veri koşullarında en güçlü ve dengeli performansın Lojistik Regresyon ile Rastgele Orman tarafından sağlandığını, SVM'nin ise daha zayıf genelleme ürettiğini göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada tınlı ve kumlu toprakların makine öğrenmesi ile sınıflandırılabilirliği incelenmiştir. Amaç, laboratuvar temelli değerlendirmelerin zaman ve maliyet yükünü azaltabilecek, veri temelli bir sınıflandırma yaklaşımının pratikte ne kadar işe yarayabileceğini göstermektir.

Elde edilen sonuçlar, kullanılan değişken setinin iki toprak tipini ayırt etmede güçlü bir bilgi taşıdığını açıkça göstermiştir. Test seti performanslarına göre Lojistik Regresyon ve Rastgele Orman modelleri en başarılı yöntemler olarak öne çıkmış; her iki model de test örneklerinin büyük çoğunluğunu doğru sınıflandırarak yaklaşık %94 doğruluk düzeyine ulaşmıştır. SVM

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

modeli ise daha düşük doğruluk ve daha zayıf F1/ROC-AUC değerleri ile diğer iki yaklaşımın gerisinde kalmıştır. Karışıklık matrisleri incelendiğinde, hataların esas olarak tınlı sınıfında yoğunlaştığı; kumlu toprağın ise neredeyse tamamen doğru ayrıldığı görülmüştür.

Çapraz doğrulama sonuçlarının test sonuçlarına göre daha düşük seyretmesi, veri setinin görece sınırlı olması ve örnek dağılımına duyarlılığın bulunmasıyla uyumludur. Bu nedenle model seçimi yapılırken tek bir bölmeye dayalı test sonucu kadar, çapraz doğrulama gibi daha kararlı değerlendirmelerin de birlikte dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Buna rağmen, özellikle lojistik regresyonun yüksek ROC-AUC değeriyle sınıfları ayırma başarısını istikrarlı biçimde ortaya koyması ve rastgele ormanın yüksek doğrulukla güçlü bir alternatif sunması oldukça dikkat çekicidir.

Genel olarak, bu çalışma TOK ve ilişkili biyokimyasal göstergelerin toprak tipini ayırt etmede kullanılabileceğini ve makine öğrenmesi yöntemlerinin tınlı–kumlu ayrımını otomatikleştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Gelecekte örnek sayısının artırılması, farklı bölge/toprak koşullarının eklenmesi ve SHAP gibi açıklanabilirlik analizleriyle hangi göstergelerin sınıflandırmada en belirleyici olduğunun daha net ortaya konması, hem modelin güvenilirliğini artıracak hem de sonuçların toprak bilimi açısından daha güçlü yorumlanmasına katkı sağlayacaktır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KAYNAKÇA

[1] Benavente, I., vd., Effects of Biochar on Soil Enzyme Activities, Soil Biology & Biochemistry, 121, 10-18, 2018.

[2] Cortes, C. ve Vapnik, V., Support-Vector Networks, Machine Learning, 20, 273-297, 1995.

[3] Cotrufo, M.F., vd., Formation and Persistence of Soil Organic Matter, Nature Reviews Earth & Environment, 3, 423-436, 2022.

[4] Egyir, I.S., vd., Nitrogen-Enriched Biochar Reduces Greenhouse Gas Emissions, Journal of Environental Management, 305, 114356, 2022.

[5] Elzobair, K.A., vd., Biochar Effects on Soil Enzyme Activities, Soil Science Society of America Journal, 80, 1157-1167, 2016.

[6] Gupta, V., vd., Soil Texture Controls Carbon and Nitrogen Cycling, Geoderma, 433, 116454, 2024.

[7] Hematimatin, A., vd., Biochar Properties and Soil Interactions, Soil Use and Management, 40, 321-334, 2024.

[8] Hosmer, D.W., Lemeshow, S. ve Sturdivant, R.X., Applied Logistic Regression, Wiley, 2013.

[9] Huang, M., vd., Soil Enzymes as Indicators of Soil Quality, Applied Soil Ecology, 134, 1-8, 2019.

[10] Jaffar, M., Chang, X., vd., Biochar Impacts on Soil Enzymes and Carbon Cycling, Science of the Total Environment, 912, 169256, 2024.

[11] Jaffar, M., Zhen, Z., vd., Soil Texture-Dependent Responses to Biochar, Geoderma, 436, 116567, 2024.

[12] Jaffar, M., vd., Role of Soil Texture and Biochar C:N Ratio on Carbon Cycling, Journal of Cleaner Production, 412, 137845, 2025.

[13] Jiang, X., vd., Biochar Effects on SOC Fractions, Soil & Tillage Research, 215, 105215, 2022.

[14] Kan, Z., vd., Soil Carbon Feedbacks to Climate Change, Global Change Biology, 28, 4321-4335, 2022.

[15] Khyathi, G., Indumathi, K.P., Hasin, A.J., Flavin, J.M., Siluvai, S. ve Krishnaprakash, G., Support Vector Machines: A Literature Review on Their Application in Analyzing Mass Data for Public Health, Cureus, 17(1), e77169, 2025.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[16] Kirkby, C.A., vd., Carbon–Nitrogen Interactions in Soil, Soil Biology & Biochemistry, 68, 32-40, 2014.

[17] Kopittke, P.M., vd., Mineral-Associated Organic Carbon, Nature Communications, 11, 1-9, 2020.

[18] Li, X.-F., vd., SOC Fractions and Microbial Activity, Agriculture, Ecosystems & Environment, 315, 107438, 2021.

[19] Lu, Y., vd., Biochar Stability and Carbon Sequestration, Journal of Soils and Sediments, 21, 1656-1668, 2021.

[20] Majumder, S., vd., Biochar and SOC Stabilization, Soil Biology & Biochemistry, 134, 107-115, 2019.

[21] Shen, Y., vd., Biochar and Greenhouse Gas Mitigation, Environmental Pollution, 337, 122584, 2024.

[22] Song, Y., vd., Carbon Cycling Enzymes in Soils, Soil Biology & Biochemistry, 148, 107877, 2020.

[23] Stockmann, U., vd., The Knowns, Known Unknowns and Unknowns of SOC, Agriculture, Ecosystems & Environment, 164, 80-99, 2013.

[24] Xu, H., vd., Biochar C:N Ratio Effects on SOC, Catena, 200, 105180, 2021.

[25] Yin, H., Peñuelas, J., vd., Nitrogen-Enriched Biochar and SOC, Environmental Science & Technology, 55, 12090-12099, 2021.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

DİSTRİBUTİON OF SALEP ORCHİDS (*ORCHİDACEAE*) İN THE SAMSUN–BAFRA REGİON AND THE ECOLOGİCAL, ECONOMİC, AND CHEMİCAL CONSEQUENCES OF WİLD HARVESTİNG

Assoc. Prof. Dr. Emine YURTERİ[1]

Recep Tayyip Erdoğan University Faculty of Agriculture,

emine.yurteri@erdogan.edu.tr – ORCID ID 0000-0002-3770-2714

Havva CAN[2]

Recep Tayyip Erdoğan University Faculty of Agriculture,

havva_can25@erdogan.edu.tr ORCID ID 0009-0009-5631-4010

ABSTRACT

Salep is a commercially and culturally valuable natural product obtained from the underground tubers of tuberous orchid species belonging to the Orchidaceae family. Owing to its high species diversity, Türkiye is recognized as one of the leading countries worldwide for salep orchids, particularly within the Black Sea, Mediterranean, and Aegean regions. The Bafra district of Samsun Province represents an important ecological center for orchid diversity, characterized by a combination of lowland alluvial plains and mountainous habitats at varying elevations that support the distribution of numerous salep orchid species. However, uncontrolled harvesting of orchid tubers from natural populations poses a severe threat to population sustainability due to the slow growth rate, complex life cycle, and limited regenerative capacity of these species. The requirement of harvesting thousands of tubers to produce 1 kg of dried salep further intensifies this pressure, resulting in significant ecological, genetic, and economic losses. The primary functional component of salep, glucomannan, is a high-molecular-weight polysaccharide responsible for the characteristic viscosity and gel-forming properties of the product. Beyond its technological role, glucomannan has attracted increasing scientific interest due to its physiological effects, including delayed gastric emptying, modulation of glycemic response, promotion of satiety, and potential prebiotic activity. These health-related properties contribute to the growing demand for salep-based products, thereby exacerbating harvesting pressure on natural orchid populations. This review synthesizes current knowledge on the distribution of salep orchid species in the Bafra region, their biological characteristics, the chemical composition and quality determinants of salep, and the ecological and quality-related consequences of wild harvesting. The findings highlight that transitioning from wild collection to controlled, cultivation-based production systems is essential for ensuring long-term supply, safeguarding orchid biodiversity, and promoting sustainable salep production, particularly in Bafra and its surrounding areas.

Keywords: Chemical composition; sustainability; orchid conservation

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCTION

The Orchidaceae family is one of the largest plant groups in the world's flora, with about 20,000 species (Sezik, 2002). Salep is the powdered product made from the underground tubers of several terrestrial orchid species in this family that have been dried and pulverized. In Anatolian and Mediterranean cuisine, salep has long been utilized as a natural thickening agent in hot salep drinks, Maraş-style ice cream, puddings, and other milk-based desserts. In Türkiye, gathering wild orchid tubers from their natural surroundings continues to be the main source of supply for salep. However, this approach puts a great deal of strain on wild populations because orchids have a slow and complicated life cycle that is heavily reliant on symbiotic mycorrhizal fungus. In fact, areas where extensive tuber harvesting takes place have shown notable drops in the local populations of numerous orchid species, with a number of these species facing extinction (Swarts & Dixon, 2009). Because of the vast alluvial plains of the Kızılırmak Delta and the diverse variety of elevations and habitat types surrounding Mount Nebyan, the Bafra district of Samsun Province is a significant hub for salep orchid diversity (Çalışkan, 2019). The floristic composition of salep orchids in the Bafra region, their biological traits, the chemical makeup of salep, the effects of tuber harvesting on wild populations, and sustainable cultivation methods are all examined in this study. This article offers a literature-based assessment of the conservation and sustainable use of salep orchids in Türkiye and the wider Mediterranean region, with a particular focus on the Samsun–Bafra region.

2. SALEP'S CHEMİCAL MAKEUP AND USES

Glucomannan, a high-viscosity polysaccharide, is the main chemical constituent of salep powder. Starch, different sugars, nitrogenous chemicals, mineral elements like potassium, calcium, and magnesium, and volatile aromatic ingredients are also present in salep (Farhoosh & Riazi, 2007; Tekinşen & Güner, 2010). The starch-to-glucomannan ratio, species-specific variations, glucomannan content, and drying technique all have a significant impact on the quality of salep (Çalışkan et al., 2023). Generally speaking, species that produce salep with a high glucomannan content and comparatively low starch levels are thought to produce superior thickening qualities and higher-quality goods. Furthermore, compared to conventional sun-drying procedures, controlled oven-drying approaches have been shown to better retain the polysaccharide structure, improving the functional qualities of salep (Kıran & Güler, 2018).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Salep, which has historically been prized for its culinary uses, is also receiving more attention in the domains of health sciences and functional foods. Salep has been shown to improve digestive health, particularly the control of intestinal activity, due to its high water-holding capacity and possible prebiotic properties (Baydar, 2016). Salep is used in a variety of food products as a natural hydrocolloid and thickening agent, providing a natural substitute for artificial additives. Consumer demand for genuine salep powder continues despite the development of various synthetic thickeners with comparable functional qualities, especially among those who value traditional flavor profiles and natural product attributes (Kasparek & Grimm, 1999).

3. SALEP ORCHİDS and SALEP CULTURE İN TÜRKİYE

Orchis, Anacamptis, Dactylorhiza, Ophrys, Himantoglossum, and Serapias are the main orchid genera used in Türkiye to produce salep (Sezik, 2002; Baka, 2023). Salep powder has traditionally been made from the dried tubers of terrestrial orchid species in various genera. Salep beverages and ice cream are an essential part of Türkiye's cultural legacy, and the country has a long history of producing and trading salep dating back to the Ottoman Empire. But since 1974, it has been illegal to export orchid tubers that are obtained in the wild (Yaman, 2013). The worldwide commerce of wild orchid tubers was outlawed when a decree was published in the Official Gazette in 1974; currently, only restricted internal trade is allowed. Furthermore, it is completely forbidden to take wild orchid species from their natural habitats and to trade them internationally under the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES). Many orchid species are seriously threatened by illegal harvesting, which continues in some areas to satisfy local demand in spite of these legal efforts (Ghorbani et al., 2014).

According to reports, Iran illegally harvests between 5.5 and 6.1 million orchids annually, mostly for export to Türkiye (Ghorbani et al., 2014). These numbers unequivocally show that wild orchid populations in Türkiye are still under tremendous pressure from local market demand. In Türkiye, a number of laws and conservation-focused initiatives have been put in place to safeguard salep orchids. Unauthorized collection of orchids from their native habitats is punishable by administrative penalties and jail time. Orchid species are listed as protected flora. However, the economic aspirations of rural populations and the obstacles of field monitoring continue to pose problems. Growing awareness in recent years has motivated some farmers and business owners to grow salep orchids in regulated environments with the help of government-funded initiatives. According to Çakır et al. (2017), attempts to develop salep

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

cultivation have gained momentum in numerous locations of the country with the goal of both providing sustained economic benefits and conserving native orchid populations.

3.1. The Samsun–Bafra Region's Salep Orchids

Salep orchids are most common in their natural habitats in the Bafra district, one of the Black Sea region's areas. The richness of salep orchid species in the Central Black Sea region (containing the provinces of Samsun, Tokat, Amasya, and Çorum) is greatly influenced by the high diversity of habitats (Çalışkan, 2019). The region's combination of mountainous forested parts and damp, lowland delta plains is mostly responsible for this diversity.

Here are some examples of some of the main species of salep orchids found in the region: The early purple orchid, Orchis mascula, is found in forest clearings near the villages of Kolay and Sürmeli. The Anatolian orchid, Orchis anatolica, grows in the Kızılırmak Delta's sandy-loamy soils. The Roman orchid, Dactylorhiza romana, is frequently found in damp meadows on Mount Nebyan's lower slopes. Bee orchids, or Ophrys apifera, are found in moist meadow environments like the Bafra Bird Paradise. The breasted orchid, Ophrys mammosa, is found in the shrubland (maquis) areas surrounding Kapıkaya in Bafra. The district's limestone slope ecosystems are home to the Orchis sancta, or holy orchid. Other salep orchids, including Anacamptis pyramidalis, Orchis morio, Orchis simia, and Serapias spp., have also been found in Bafra and across Samsun Province, in addition to the species mentioned above (Kıran & Güler, 2018; AA, 2021). Long-term and extensive tuber harvesting has caused populations in easily accessible places to decline or become fragmented, despite the fact that some of these species appear to be widely spread and reasonably numerous. More than 25 salep orchid species have been identified throughout Samsun Province, with districts including Bafra, Vezirköák, and Havza serving as significant concentrations of species concentration, according to data released by Anadolu Agency (2021). The abundance of salep orchids in Bafra makes it abundantly evident that the area has a significant ecological legacy that has to be preserved.

4. THE IMPACT OF WİLD HARVESTİNG ON THE BİOLOGY OF SALEP ORCHİDS

Like other terrestrial orchid species, the life cycle of wild salep orchids is intricate and slow. For orchid seeds to successfully germinate, they must form a symbiotic relationship with suitable mycorrhizal fungus since they lack food reserves (Rasmussen, 1995). Development

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

usually takes three to four years, from germination to the creation of a harvestable tuber (Çalışkan & Kurt, 2019). One main tuber is produced by mature plants to maintain the current plant, and one daughter tuber is produced to support the following generation. In order to maintain population continuity, this biological method requires that at least one tuber stay in the soil each year. Significant drops in natural populations, a loss of genetic variety, and environmental destruction result from unchecked orchid tuber collection. According to Swarts and Dixon (2009) and Molnár et al. (2017), tuber extraction destroys the orchid–mycorrhizal fungal network that is vital to orchid life, disturbs soil structure, and raises the risk of erosion. These effects could eventually cause orchid species to go extinct locally.

Wild harvesting has a detrimental impact on product quality in addition to harming the environment. Lower amounts of glucomannan in immature tubers that are harvested too soon lead to a final salep product with less thickening ability, weaker gel formation, and less scent (Kıran & Güler, 2018; Tübitak, 2020). On the other hand, it has been demonstrated that tubers from farmed orchids picked at the proper phenological stages have superior qualitative attributes and a much larger glucomannan content (Tübitak, 2020).

5. CURRENT SALEP PRODUCTİON İN TÜRKİYE and SUSTAİNABLE APPROACHES

Salep orchid cultivation has grown significantly in Türkiye in the last several years. The Ministry of Agriculture and Forestry reports that the cultivation area grew from roughly 120 decares in 2018 to 950 decares in 2022, and the yearly yield went from roughly 10 tons to 117 tons. According to the Ministry of Agriculture and Forestry (2019–2024), production hit about 140 tons in 2023 and is expected to reach 160 tons in 2024. The shift from wild harvesting to output based on agriculture is seen in this growing trend. Successful pilot cultivation programs have made Samsun Province, especially the Bafra district, one of Türkiye's top producers of salep. With a production output of 56 tons by 2022, Samsun placed first nationally, demonstrating the Black Sea region's potential for salep orchid cultivation.

The development of suitable agronomic procedures under field conditions, controlled harvesting of daughter tubers, and in vitro seed germination and tissue culture techniques are important sustainable production strategies (Çakır et al., 2017). These techniques greatly lessen the strain on native orchid populations while enabling commercially feasible production. Adoption of cultivation-based systems is further aided by financial incentives, regulatory frameworks, and government-sponsored training initiatives. Initiatives to stop illicit harvesting

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

and increase community awareness are equally crucial. Reducing reliance on wild collecting and encouraging sustainable alternatives depend heavily on the implementation of educational programs and the stringent enforcement of legal sanctions.

6. CONCLUSİON

Some of the richest salep orchid populations in Türkiye can be found in the Samsun–Bafra region, but decades of unchecked tuber harvesting have put this biological resource in grave danger. Population decreases, genetic erosion, habitat destruction, and a fall in the quality of salep products are all consequences of wild collecting practices. It is imperative to transition from wild harvesting to scientifically validated, cultivation-based production strategies in order to ensure the long-term conservation of salep orchids and the sustainability of salep production. In vitro propagation, agricultural cultivation, and sustainable harvesting techniques can all be used in tandem to meet economic demands and save natural populations when they are backed by public awareness and law enforcement. Salep orchids are a longstanding part of Anatolian cultural and biological history, and protecting them for future generations requires a comprehensive approach.

REFERENCES

Anonymous. (2025, December 29). Salep orchids planted with special permits bring prosperity to producers in Samsun. Anadolu Agency. https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/ozel-izinle-dikilen-salep-orkidesi-samsunlu-ureticilerin-yuzunu-gulduruyor/1890606 (In Turkish)

Anonymous. (2025, December 29). The penalty for collecting salep plants from nature reaches 387,000 Turkish Lira. Demirören News Agency. https://www.dha.com.tr/gundem/dogadan-salep-bitkisi-toplamanin-cezasi-387-bin-lira-2548080 (In Turkish)

Baka (2023). Feasibility report on salep cultivation and industry. Burdur:Western Mediterranean Development Agency Publications. (In Turkish)

Baydar, H. (2016). Science and technology of medicinal and aromatic plants. Süleyman Demirel University Press. (In Turkish)

Çakır, Ö., Şanlı, A., & Dural, H. (2017). In vitro propagation methods in Turkish orchids. Turkish Journal of Biology, 41(3), 245–254. (In Turkish)

Çalışkan, Ö. (2019). Salep orchid species of the Central Black Sea Region and certain tuber characteristics. Journal of Anatolian Agricultural Sciences, 34(1), 78–83. (In Turkish)

Çalışkan, Ö., & Kurt, D. (2019). Four-year developmental process of Dactylorhiza romana. Journal of Anatolian Agricultural Sciences, 34(2), 195–200. (In Turkish)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Farhoosh, R., & Riazi, A. (2007). A compositional study on two current types of salep in Iran and their rheological properties as a function of concentration and temperature. Food Hydrocolloids, 21(4), 660–666

Ghorbani, A., Gravendeel, B., Naghibi, F., & de Boer, H. (2014). Illegal wild collection of orchids in Iran. *TRAFFIC Bulletin, 26*(2), 53–58 Kasparek, M., & Grimm, U. (1999). European trade in Turkish salep (Orchid tubers). *Economic Botany, 53*(4), 396–406.

Kasparek, M., & Grimm, U. (1999). European trade in Turkish salep (Orchid tubers). *Economic Botany, 53*(4), 396–406.

Ministry of Agriculture and Forestry. (2019–2024). Salep orchid production statistics 2018–2023 (Annual production reports). (In Turkish)

Molnár, V. A., Tökölyi, J., Süveges, K., Sramkó, G., Mányoki, G., Takács, A., ... & Sramkó, L. G. (2017). Turkish graveyards as refuges for wild orchids against anthropogenic habitat loss. *Ecology and Evolution, 7*(24), 11257–11264.

Rasmussen, H. N. (1995). *Terrestrial orchids: From seed to mycotrophic plant*. Cambridge University Press.

Sezik, E. (2002). Turkish orchids and salep: Traditional uses and its future. Acta Pharmaceutica Turcica, 44, 151–157.

Swarts, N. D., & Dixon, K. W. (2009). Terrestrial orchid conservation in the age of extinction. *Annals of Botany, 104*(3), 543–556.

Tekinşen, K. K., & Güner, A. (2010). Chemical composition and physicochemical properties of tubera salep produced from some Orchidaceae species. Food Chemistry, 121(2), 468–471. Kasparek, M., & Grimm, U. (1999). European trade in Turkish salep (Orchid tubers). *Economic Botany, 53*(4), 396–406.

Tübitak. (2020). Conservation of natural salep populations and cultivated production in Türkiye. Tübitak Tovag Project Final Report. (In Turkish)

Yaman, K. (2013). Legal regulations on salep trade in Türkiye. Journal of History Culture and Art Research, 2(1), 172–180. (In Turkish)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

DİVERSİTY, ETHNOBOTANİCAL USES, AND ESSENTİAL OİL PROFİLES OF THYMUS SPECİES İN THE BAFRA REGİON OF NORTHERN TÜRKİYE: A COMPREHENSİVE REVİEW

Assoc. Prof. Dr. Emine YURTERİ[1]

Recep Tayyip Erdoğan University Faculty of Agriculture,

emine.yurteri@erdogan.edu.tr – ORCID ID 0000-0002-3770-2714

Havva CAN[2]

Recep Tayyip Erdoğan University Faculty of Agriculture,

havva_can25@erdogan.edu.tr ORCID ID 0009-0009-5631-4010

ABSTRACT

The genus *Thymus* (Lamiaceae) represents one of the most taxonomically complex and economically valuable groups of medicinal and aromatic plants worldwide. Türkiye is recognized as a major center of diversity for *Thymus* species, hosting a high number of taxa with remarkable levels of endemism. The Bafra district of Samsun Province, located in the Middle Black Sea region of Northern Türkiye, constitutes a transitional ecological zone that supports both natural populations and cultivated forms of *Thymus* species. This comprehensive review synthesizes current knowledge on the diversity, ethnobotanical uses, and essential oil characteristics of *Thymus* species reported from the Bafra region, with particular emphasis on *Thymus vulgaris*, *Thymus serpyllum*, *Thymus praecox*, and *Thymus sipyleus*. Available floristic, ethnobotanical, phytochemical, and biological studies are critically evaluated to highlight regional patterns of use, chemical variability, and potential applications in food, pharmaceutical, cosmetic, and veterinary industries. The review also discusses chemotype diversity, major bioactive constituents such as thymol and carvacrol, and their biological relevance. Finally, research gaps specific to the Bafra region are identified, and future perspectives are proposed for the sustainable utilization, conservation, and valorization of local *Thymus* genetic resources.

Keywords: *Thymus* spp., ethnobotany, essential oil, thymol, carvacrol, Bafra, Northern Türkiye

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

7. INTRODUCTION

Aromatic and medicinal plants have played a significant role in human societies, not only as sources of food and shelter but also as primary agents for disease prevention and treatment. Because of their rich essential oil content and diverse biological activities, members of the Lamiaceae family are among these plants. *Thymus* L. genus, which is usually called thyme, is one of the family's most studied genera. This is due to its long history of traditional use and widespread industrial applications (Baydar, 2016; Ćavar Zeljković & Maksimović, 2015). In terms of both species richness and endemism, Türkiye is one of the most significant hubs of diversity for *Thymus*. According to floristic studies, the country is home to about 38–46 *Thymus* species, or nearly 60–64 taxa, with endemism rates higher than 45% (Azaz et al., 2004; Öztürk et al., 2022). Türkiye's diverse topography, range of climatic conditions, and intricate geological past are all strongly associated with its remarkable diversity.

Samsun Province's Bafra area, which is located on the Middle Black Sea coast, is a special biological transition zone that is impacted by both more continental inland features and humid coastal conditions. Although thyme has long been used extensively in the area, thorough assessments of the properties of essential oils and species-level identification are still scarce. By summarizing previous research pertinent to *Thymus* species in the Bafra region and placing local findings within a larger global perspective, this study seeks to close this gap.

2. *THYMUS* SPECİES DİSTRİBUTİON AND TAXONOMİC DİVERSİTY İN TURKİYE

2.1. Diversity of the genus *Thymus* on a national and worldwide scale

The Mediterranean region is thought to be the primary center of diversity for the genus *Thymus*, which has about 340–350 species globally, mostly found in Europe, North Africa, and Western Asia (Trindade et al., 2018). Due to significant chemical polymorphism, frequent hybridization, and widespread morphological plasticity, taxonomic delimitation within the genus is infamously challenging.

Thymus has one of the greatest levels of diversity in the world within Türkiye. The genus has at least 38 species and 64 taxa, according to Azaz et al. (2004). However, more recent taxonomic revisions indicate the occurrence of up to 46 species, including many endemics (Öztürk et al., 2022). This diversity highlights Türkiye's significance for conservation and breeding initiatives and establishes the country as a genetic hotspot for thyme.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2.2. Distribution trends in the area of Bafra

Many *Thymus* species find favorable habitats in the Bafra district's biological variety, which is typified by alluvial plains, calcareous slopes and steppe-like habitats. Regional studies and ethnobotanical reports show the existence of both wild and cultivated taxa, especially T. vulgaris, T. serpyllum, T. praecox and T. sipyleus, despite the lack of thorough floristic surveys that specifically target *Thymus* in Bafra (Karcı et al., 2017; Gürbüz et al., 2020).

3. THE BAFRA REGİON'S ETHNOBOTANİCAL APPLİCATİONS OF *THYMUS* SPECİES

According to ethnobotanical research done in the Bafra district, thyme plays a major part in everyday life and traditional medicine. *Thymus* species are frequently employed as topical treatments for a range of illnesses, herbal teas and culinary spices. According to Karcı et al. (2017), "kekik" is widely used for digestive issues like flatulence and stomach pain, as well as respiratory conditions like cough, bronchitis and common colds. However, the absence of accurate species-level identification is a persistent drawback of ethnobotanical surveys in the area. Many *Lamiaceae* genera, including *Thymus*, *Origanum* and *Satureja*, are together referred to as "kekik." This emphasizes the necessity of integrative floristic and ethnobotanical research that combines taxonomic expertise with local knowledge.

4. MAJOR *THYMUS* SPECİES' CHEMİCAL PROFİLES and ESSENTİAL OİL PRODUCTİON

4.1. Variability in essential oil yield

Thymus species typically generate between 0.2% and 3.0% (dry weight basis) of essential oil, while some chemotypes and ideal environmental conditions have been found to yield more than 5% (Baydar, 2016). Numerous variables, including as genetic background, phenological stage, altitude, soil characteristics and extraction technique, affect yield.

4.2. Principal chemical components and chemotypes

Monoterpenes and their oxygenated derivatives make up the majority of the chemical makeup of *Thymus* essential oils. The most distinctive phenolic monoterpenes are carvacrol and thymol, which have potent antioxidant and antibacterial qualities (Ćavar Zeljković & Maksimović, 2015) P-cymene, γ-terpinene, linalool, borneol, and 1,8-cineole are additional components that add biological activity and complexity to the scent. Research on T. vulgaris reveals different chemotypes, such as profiles dominated by thymol, carvacrol and linalool (Najar et al., 2021).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Similar chemical polymorphism with significant intra- and inter-population variability has been found for T. sipyleus and T. serpyllum (Ağalar et al., 2021; Galovičová et al., 2021).

5. INDUSTRİAL USES and BİOLOGİCAL ACTİVİTİES

The literature has a wealth of information regarding the biological activity of *Thymus* essential oils. Their antibacterial, antifungal, antioxidant, anti-inflammatory, and cytotoxic qualities have been shown in numerous in vitro and in vivo investigations (Salehi et al., 2018; Farhadi et al., 2024). Thymol and carvacrol, which damage microbial cell membranes and prevent oxidative reactions, are mostly responsible for these effects. As a result, *Thymus* essential oils find extensive application in animal feeding, cosmetics, medicinal formulations and food preservation. A possible path for regional development in the Bafra region is the use of locally produced thyme oils into value-added goods.

6. RESEARCH DEFİCİTS and PROSPECTS FOR THE BAFRA AREA

There are still a number of unanswered questions regarding the potential of *Thymus* species in the Bafra district. Both thorough phytochemical characterizations of local populations and species-level floristic inventories are still missing. Future research should focus on the following areas: standardized ethnobotanical documentation, GC-MS-based chemotype identification of local populations, comprehensive taxonomic surveys supported by molecular techniques and experimental assessment of biological activities pertinent to animal health and food safety. The protection and sustainable management of *Thymus* genetic resources in Northern Türkiye would benefit from such integrative approaches.

7. CONCLUSİON

The importance of *Thymus* species in the Bafra region of Northern Türkiye in terms of ecology, ethnobotany and phytochemistry is highlighted in this review. The region is home to valuable thyme resources with a variety of traditional uses and essential oil profiles, according to the evidence that is currently available. In addition to advancing scientific knowledge, bolstering multidisciplinary research initiatives will help these plants be used sustainably for both domestic and foreign markets.

REFERENCES

Ağalar, H. G., Kürkçüoğlu, M., Başer, K. H. C., & Turgut, K. (2021). Volatile constituents of three *Thymus* sipyleus subspecies from different sites in Türkiye. Turkish Journal of Chemistry, 45(6), 1959–1967.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Azaz, D., Kürkçüoğlu, M., Tabanca, N., Özek, T., & Başer, K. H. C. (2004). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils of some *Thymus* species from Türkiye. Journal of Essential Oil Research, 16(3), 241–244.

Baydar, H. (2016). Medicinal and aromatic plants: Science and technology. Süleyman Demirel University Press.

Farhadi, K., Rajabi, E., Varpaei, H. A., et al. (2024). Thymol and carvacrol against Klebsiella: A systematic review. Frontiers in Pharmacology, 15, 1487083.

Galovičová, L., Borotová, P., Valková, V., et al. (2021). *Thymus* serpyllum essential oil as a modern food preserver. Plants, 10(7), 1416.

Karcı, Elif, Gürbüz, İlhan, Akaydın, Galip and Günbatan, Tuğba. "Folk medicines of Bafra (Samsun-Turkey)" Turkish Journal of Biochemistry, vol. 42, no. 4, 2017, pp. 381-399.

Ćavar Zeljković, S., & Maksimović, M. (2015). Chemical composition and bioactivity of essential oil from Thymus species in Balkan Peninsula. Phytochemistry Reviews, 14(3), 335-352.

Najar, B., Pistelli, L., Ferri, B., et al. (2021). Essential oil composition of *Thymus* vulgaris chemotypes. Molecules, 26(16), 5109.

Öztürk, D., Yaylacı, Ö. K., Koyuncu, O., et al. (2022). A new species of *Thymus* from Türkiye. Pakistan Journal of Botany, 54(2), 453–459.

Salehi, B., Mishra, A. P., Shukla, I., et al. (2018). Thymol, thyme, and other plant sources: Health and potential uses. Phytotherapy Research, 32(9), 1688–1706.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

SU TOPLAMA HAVZALARINDAKİ REGÜLATÖRLERİN CAN SUYU MİKTARININ BELİRLENME YÖNTEMLERİ

Meteoroloji Mühendisi Özden ERTÜRK GAZEL
Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Entegre Su Yönetimi Anabilim Dalı
E-Posta Adresi: erturkozden@gmail.com
ORCID ID: 0009-0000-1093-2977

Prof. Dr. Alper Serdar ANLI
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı
E-posta Adresi: asanli@agri.ankara.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-8528-5230

ÖZET

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte tüm dünyada artan enerji ihtiyacı, Ülkemiz için de kaynak yönetimini önemli bir noktaya getirmiştir. İklim değişikliğinin de etkisi ile birlikte karbon emisyonunun azaltılması maksadı ile yönetimler ve bilim insanları temiz ve sürdürülebilir kaynak arayışına girmişlerdir. Yenilenebilir, doğal ve yerli, dolayısıyla ekonomik, enerji kaynağı olması bakımından hidroelektrik enerji santralleri özellikle son dönemde ülkemizde fosil yakıtlardan üretilen enerjiye önemli bir alternatif olmuştur. Özellikle son yıllarda enerji üretiminde önemli bir paydaya sahip olan hidroelektrik enerji santrallerinin kurulu gücü de son on yılda yaklaşık olarak iki katına çıkmıştır. İşletme ömrünün uzun ve giderlerinin düşük olması açısından önemli olumlu etkileri olan hidroelektrik enerji santrallerinin doğayla etkileşimi göz ardı edilemez düzeydedir. Sağlanan ekonomik faydanın yanında kurulan santrallerin bölgede yaşayan vatandaşların ve diğer canlıların sosyal ve yaşamsal faaliyetleri ile ters düşmeyecek düzende kurulması ve işletilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, biyoçeşitliliğin korunması maksadıyla rezervuarlardan bırakılması gereken minimum su miktarının doğru yöntemlerle belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Ülkemizde hidroelektrik enerji santrallerinin yeri, can suyu kavramı ve ilgili yönetmeliklerden bahsedilerek; hidroelektrik enerji santrallerinden mansabındaki flora ve faunanın devamı için bırakılması gereken minimum su miktarı olarak tanımlanan can suyu miktarını belirleme yöntemleri hakkındaki literatür araştırması sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: hidroelektrik enerji santrali, sürdürülebilirlik, biyoçeşitlilik, çevresel akış, can suyu

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

METHODS FOR DETERMINING THE AMOUNT OF MINIMUM WATER FLOW TO REGULATORS IN WATERSHEDS

Meteorological Engineer Özden ERTÜRK GAZEL
Ankara University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Integrated Water Management
E-mail address: erturkozden@gmail.com
ORCID ID: 0009-0000-1093-2977

Prof. Dr. Alper Serdar ANLI
Ankara University Agricultural Faculty Department of Agricultural Structures and Irrigation
E-mail address: asanli@agri.ankara.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-8528-5230

ABSTRACT

The increasing energy need all over the world, together with the increasing population and developing technology, has brought resource management to an important point for our country. It is started that to search clean and sustainable resources in order to reduce carbon emissions by governments and scientists because of reducing impact of climate change. Recently, Hydroelectric power plants have become an important alternative to the energy produced from fossil fuels in terms of being not only economical but also renewable, natural and domestic. The installed power of hydroelectric power plants, which have an important share in energy production especially in recent years, has nearly doubled in the last ten years. The interaction of hydroelectric power plants with nature, which has significant positive effects in terms of long operating life and low costs, cannot be ignored. In addition to the economic benefit provided, the power plants should be installed to be established and operated in an order that will not conflict with the social and vital activities of the citizens and other living things living in the region. Therefore, it is of great importance to determine the minimum amount of water that should be released from the reservoirs with the right methods in order to protect biodiversity. In this study, it will be mentioned that the place of hydroelectric power plants in our country, the concept of environmental flow and related regulations. After that, a literature review will be presented on the methods of determining the amount of environmental flow, which is defined as the minimum amount of water that should be left for the continuation of the flora and fauna downstream from hydroelectric power plants.

Key Words: hydroelectric power plant, sustainability, biodiversity, environmental flow

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Yeni Dünya düzeninin devamı için enerjiye duyulan ihtiyaç ve diğer yandan bu ihtiyacın canlılara daha temiz ve ekonomik kaynaklar vasıtasıyla sunulması özellikle Ülkemizde son dönemde hidroelektrik enerji santrallerinin önemini ve kullanımını arttırmıştır.

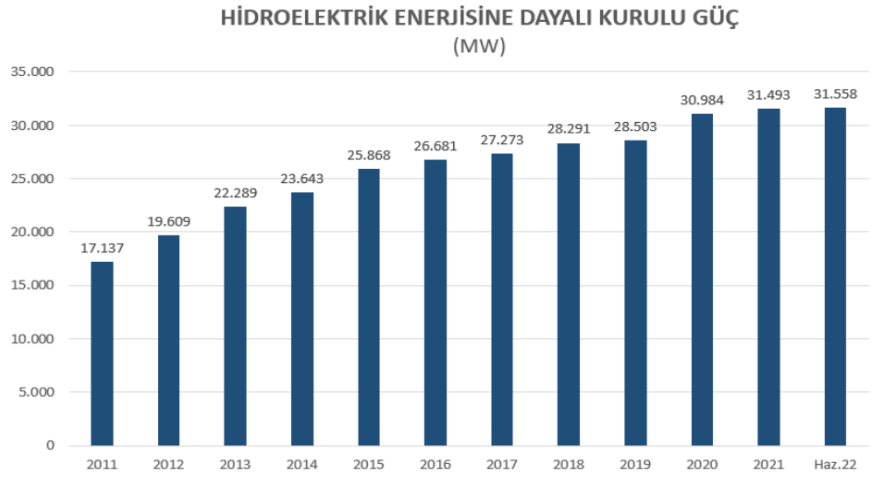
Su, enerji ihtiyacını sağlamada güvenilir bir kaynak olmasından öte yaşamsal faaliyetlerin devamı için her bir canlının ihtiyaç duyduğu biricik bir kaynaktır. Bu nedenle, hidroelektrik enerji santrallerinin projelendirme ve işletme aşamasında doğru yöntemler kullanılarak can suyu ihtiyacının doğru belirlenmesi gerekmektedir.

1.1. Hidroelektrik Enerji Santralleri ve Ülkemize Katkıları

Çevre dostu olmaları ve risk potansiyellerinin düşük olması nedeniyle diğer enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik enerji santralleri tercih edilebilir konumdadır. Hidroelektrik santraller yerli kaynağa sahip, çevreye uyumlu, temiz, yenilenebilir ve uzun ömürlü enerji kaynaklarıdır.

Ülkemizde 2021 yılında 55.5 milyar kWh elektrik, hidroelektrik enerji santralleri sayesinde üretilmiştir. 2022 Mayıs ayı sonunda ise bu miktar 35.2 milyar kWh'a ulaşmıştır. (ETKB, 2022)

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı resmî web sayfasından alınan bilgiye göre 2022 yılı Haziran ayı sonu itibariyle hidrolik enerjisine dayalı elektrik kurulu gücün toplam kurulu güç içerisindeki oranı %31 olup 31.558 MW kadardır.



Görsel 1. Türkiye'deki hidroelektrik enerjisine dayalı kurulu güç (MW) (2011-Haziran 2022) (Anonim, 2022)

Yukarıdaki grafikte de görüldüğü gibi 2011 yılından bu yana hidroelektrik enerjiye dayalı kurulu güç 2022 yılının ikinci çeyreğinde neredeyse iki katına çıkmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1.2. Can Suyu ile İlgili Yönetmelikler

Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği: Çevresel Etki Değerlendirmesi çalışmaları; hayata geçirilecek projelerin çevreye olabilecek olumlu ve olumsuz etkilerinin belirlenmesi ve olumsuz yöndeki etkilerin önlenmesi veya en aza indirilmesi ile projelerin uygulanması ve izlenmesi aşamasında sürdürülecek çalışmaları ifade eder. 09.08.1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 10 uncu maddesine dayanarak hazırlanan Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliğinin amacı ise bu süreçte uyulması planlanan idari ve teknik esasları belirlemek ve düzenlemektir. Bu yönetmelik; yapılacak ÇED çalışmalarının hangi tür projeler için isteneceğini, içereceği konuları, bu süreçte uyulacak idari ve teknik usul ve esasları, ÇED kapsamına giren projelerin başvuru, inşaat öncesi, inşaat, işletme ve işletme sonrası izlenmesi, kontrolü ve denetlenmesini, ÇED'in çevre yönetiminde etkin ve yaygın biçimde uygulanabilmesi ve kurumsal yapısının güçlendirilmesi için gerekli eğitim çalışmalarını kapsamaktadır (Anonim, 2022).

Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik: 14.03.2013 tarihli ve 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu hükümlerine göre hidroelektrik enerji üretim tesisleri kurulması, işletilmesi ve üretim lisansları için DSİ ile tüzel kişiler arasında düzenlenecek su kullanım hakkı anlaşmalarında ve belediyeler tarafından hidroelektrik enerji üretim tesisleri kurulabilmesine ilişkin başvurularda uygulanacak usul ve esasları düzenlemek yönetmeliğin temel amacıdır.

Yönetmeliğin, "Doğal hayatın devamı için bırakılacak su ve üzerindeki projeler" başlığı altındaki Madde 15'te "Şirket, dere yatağının su alma yeri mansabında doğal hayatın idamesini sağlar ve bu kesimde su haklarını karşılayacak miktardaki suyu kesintisiz ve dalgalanma yapmadan yatağa bırakır. Doğal hayat için dere yatağına bırakılacak suyun miktar ve zamanlaması, kurulacak hidroelektrik enerji üretim tesisleri ile ilgili şirket tarafından hazırlanacak ÇED raporunda/Proje Tanıtım Dosyasında belirlenir. Ancak, doğal hayatın devamı için mansaba bırakılacak su miktarı projeye esas alınan son on yıllık ortalama akımın en az %10'u kadar olmak zorundadır. ÇED raporu sürecinde ekolojik ihtiyaçlar göz önüne alındığında bu miktarın yeterli olmayacağının belirlenmesi durumunda miktar artırılır. Belirlenen bu miktara mansaptaki diğer teessüs etmiş su hakları ayrıca ilave edilerek, kesin proje çalışmaları belirlenen bu toplam miktar dikkate alınarak yapılır. Nehirde son on yıllık ortalama akımın %10'undan daha az akım olması halinde suyun tamamı doğal hayatın devamı için mansaba bırakılır." denilmektedir. Buna ek olarak "ÇED ve mansap su hakları raporu" başlığı altında Madde 16'da "Şirket, su kullanım hakkı anlaşması imzalanmadan önce DSİ'ce belirlenen kriterlere göre ekonomik değerlendirmeleri de içeren Mansap Su Hakları Raporunu hazırlayarak DSİ'nin onayına sunar. Gerekmesi halinde, ekonomik değerlendirmeleri de içeren Kuyruk Suyu Sonrası Su Hakları, bu raporda yer alır. Mansap Su Hakları Raporu, şirket

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
tarafından her on yılda bir DSİ'ce belirlenen kriterlere göre yeniden revize edilerek güncellenir ve DSİ'nin onayına sunulur." ifadesi yer almaktadır.

Su Tahsisleri Yönetmeliği: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yapılacak olan su tahsislerine ilişkin usul ve esasları ifade etmeyi amaçlayan bu yönetmeliğin ''Suyun kullanımında öncelik sırası'' başlığı altında Madde 7'nin (1) bendinde "Suyun miktarı, kalitesi, havzanın özelliği, zorunlu ihtiyaçlar ve şartlar başka türlü bir çözüm yolu gerektirmedikçe, su kaynaklarının kullanım amaçlarında aşağıdaki öncelik sırası uygulanır:
a) İçme ve kullanma suyu ihtiyacı.
b) Çevresel su ihtiyacı.
c) Tarımsal sulama ve su ürünleri yetiştiriciliği.
ç) Enerji üretimi ve sınai su ihtiyaçları.
d) Ticari, turizm, rekreasyon, madencilik, taşıma, ulaşım ile sair su ihtiyaçları." denmektedir. Söz konusu maddenin (2) bendinde ise "Su kaynağının yeterli olması halinde, havza planları çerçevesinde kaynağın birden fazla amaçla kullanımına öncelik sırası gözetilerek izin verilebilir." ifadesi yer almaktadır.

Yukarıda bahsi geçen yönetmelikler suyun her canlı için etkin ve sürdürülebilir kullanımında su haklarını koruyan; kaynakların yönetilmesi aşamasında yol gösterici yasal dayanaklardır.

2. SU TOPLAMA HAVZALARINDAKİ REGÜLATÖRLERİN CAN SUYU MİKTARLARININ BELİRLENME YÖNTEMLERİ

Su toplama havzalarındaki hidroelektrik enerji santrallerinin mansabındaki ekosistemin devamı için ihtiyaç duyduğu çevresel akış suyu can suyu ihtiyacı olarak tanımlanmaktadır. Günümüze göre daha basit yöntemlerle başlayan can suyu ihtiyacını belirleme metotları, özellikle ekonomik açıdan değeri olan akarsularda, balıkların yaşamları için gerekli su miktarının tüm nehir ekosisteminin ihtiyacı sayılacak şekilde tanımlanmıştır. (Sülüki, 2010) Sonraki çalışmalarda yöntemler farklı parametreleri gözeterek gelişmiştir. En uygun ekolojik sonuçlara ulaşmada farklı yöntemlerin, çeşitli mekânsal ölçeklerle, farklı biyofiziksel, sosyoekonomik ve politik ortamlarda gerçekleştirilmesinin çevresel akış değerlendirmelerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu kabul edilmiştir.

Yöntemlerle ilgili birçok incelemenin belirttiği gibi, bir çevresel akış rejimi belirlemek için tek bir en iyi yaklaşım yoktur. Bununla birlikte, uygun bir yöntemin seçilmesi için bazı parametreler belirlemek mümkündür (Arthington, 2012). Nehirlerde belirlenen can suyu miktarı ekosistemin karakteristiği esas alınarak yapılmalı, tek bir yöntem tüm havzalara doğrudan entegre edilmemelidir. En doğru yöntemin uygulanabilmesi için yürütülen titiz çalışmalar neticesinde ortaya çıkan çeşitlilik sayesinde farklı ülke ve coğrafyalarda aşağıdaki yöntemler uygulanmaktadır:

A) Hidrolojik Yöntemler
Tennant (Montana) Yöntemi

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Debi Süreklilik Eğrisi Yöntemi

B) Hidrolik Derecelendirme Yöntemleri

Islak Çevre Yöntemi

C) Habitat Simülasyon Yöntemleri

Akış Arttırma Yöntemi (Instream Flow Incremental Methodology–IFIM)

D) Holistik (Bütünleşik) Yöntemler

2.1. Hidrolojik Yöntemler

Hidrolojik yöntemler çevresel akış bilgisi kullanılarak pratik ve kısa zamanda elde edilebilen çok hassas olmayan yöntemlerdir. Su kaynaklarının planlanması ve geliştirilmesi aşamasında kullanılmasının uygun olduğu kabul edilir. Dünya çapında yaygın olarak kullanılan bu yöntemler tüm yöntemlerin %30'unu oluşturmakla birlikte farklı ülkelerde farklı indeks ve teknikler bulunmaktadır. (Sülüki, 2010).

Tennant (Montana) Yöntemi

Hidrolojik yöntemlerden 1976 yılında ortaya konulan Tennant (Montana) Yöntemi çevresel akış belirlemede dünya genelinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. (Tharme, 2003) Tennant yöntemi ile çalışma yapılırken yıllık akım miktarı ile habitat arasında ilişki kurmak maksadıyla hidrolojik kayıtlar ve ortalamalar dikkate alınır. Bu yöntemde hız, derinlik ve ıslak genişlik gibi parametreler dikkate alınmaktadır.

Tennant Metodu'nu uygulamadan önce bilinmesi gereken sınır şartlarından ilki çalışma alanındaki nehirler için kapsamlı ve uzun periyotta akım verilerinin sağlanması gerekliliğidir. İkinci şart ise, uzun süreli veri serilerinin mevcut olduğu yerlerde, akış verilerinin hangi zamansal bölümünün kullanılması gerektiğine dair seçimler yapılması gerektiğidir. Bu yöntemde Tennant, tek bir deşarj debisinin sabit olarak mansaba bırakılmasındansa bir yılı yağış dağılımına göre kurak-az yağışlı sezon (Nisan-Eylül) ve ıslak-yağışlı sezon (Ekim-Mart) olmak üzere ikiye ayırmıştır (Balbay, 2010). Bu nedenle, akışların doğal değişkenliğinin yüksek olduğu ve akış dizilerinin birkaç yıllık daha yağışlı ve daha kurak dönemlerden geçtiği yerlerde, bu tür seçimler kritiktir (Pusey 1998). Tennant tarafından akarsudaki akımın yaban hayatı için durumu bu dönemlerdeki ortalama debiye göre Çizelge 1' de gösterildiği gibi sınıflandırılmıştır. Tablodan da anlaşılacağı üzere akım kategorisi/habitat durumu kısmında belirtilen optimum (ortalama akışın %60 - %100'ü) ve düşük veya minimum (%10) arasındaki sınıflarda bırakılan debi miktarı çevredeki ekosistem koşullarını korumaktadır. Yıllık ortalama akımın %200 ve üzerindeki miktarının mansaba bırakılması durumu taşkın veya maksimum debi olarak sınıflandırılmıştır. Diğer yandan can suyu bırakılırken ortalama yıllık akımın %10'unun altına düşülmesi yaban hayatı ve rekreasyon alanı için kısa zamanda bozulmalara sebep olacaktır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Çizelge 1. Yaban hayatı için akarsu akım düzeyi (Tennant, 1976)

	Önerilen Akım (Yıllık Ortalama Akımın Yüzdesi (%)	
Akım kategorisi/habitat durumu (*)	Ekim – Mart	Nisan – Eylül
Taşkın veya maksimum	200	200
Optimum	60-100	60-100
İdeal	40	60
İdeale en yakın	30	50
İyi	20	40
Fena değil	10	30
Düşük veya minimum	10	10
Şiddetli bozulma	0-10	0-10

Tennant Yöntemi kullanılırken ıslak ve kurak sezonların farklı zamanlarda gerçekleşmesinden dolayı her bir bölge için farklı düzenlemeler yapılabilecektir. Bu durum farklı ikim özellikleri gösteren bölgeleri içeren Türkiye'de de tıpkı diğer ülkeler gibi bazı düzenlemeler gerektirmektedir.

Mann tarafından yapılan çalışmada, uygulanabilecek alanlar açısından Tennant Yöntemi'nin daha çok düz araziler olarak adlandırılabilecek %1'den düşük eğimli arazilerde kullanımının uygun olduğu ortaya konmuştur. (2006) Türkiye için ise, daha çok karstik arazilerde, kurak veya düşük debili akarsularda uygulanabileceği kabul edilmiştir.

Tennant Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajlar

- Hızlı, ucuz ve uygulaması kolaydır.
- Kolay ulaşılabilir hidrolojik verilere dayanmaktadır.
- Birçok ülkede ve uygulamada orijinal veya geliştirilmiş haliyle kullanılmaktadır.
- Ofiste yürütülebilen çalışmalar olup sahada kalibrasyon imkanı bulunmaktadır.

Dezavantajlar

- Pusey'e göre eğer akış rejimi kısmen düzenlenmişse, önerilen tahsisler istenen habitat koşullarını sürdürmek için çok düşük olabilir. (1998)
- Dünyanın pek çok bölgesinde uzun akış kayıtları mevcut olmadığından yanlış sonuçlara ulaşma ihtimali bulunmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Debi Süreklilik Eğrisi Yöntemi

Kümülatif bir frekans eğrisi olan debi süreklilik eğrisi, günlük, haftalık veya aylık akış değerlerini kapsayabilen, akımın ortalama hızının bir noktada belirli bir değere eşit veya daha büyük olduğu sürenin yüzdesini temsil eder. (Kaynak, 2018) Veri alma sıklığı arttıkça elde edilen yaklaşım da gerçeğe en yakın halini almaktadır. Debi süreklilik eğrisi yöntemleri ile çalışılırken kullanılan indisler; $Q_{7gün\text{-}10yıl}$, $Q_{7gün\text{-}2yıl}$, Q_{95} ve Q_{90}'dır.

$Q_{7gün\text{-}10yıl}$ indisi daha çok suyun kalitesini koruma altına almak maksadıyla yatağa bırakılması gereken su miktarını belirlemek ve kurak dönemde de nehir çevresindeki habitatın ihtiyaç duyduğu su miktarının tayininde kullanılmaktadır. (Pyrice, 2004) 10 yıllık periyot boyunca gerçekleşen ardışık 7 günlük en düşük akım baz alınarak gerekli miktar belirlenmektedir. (Köle, 2014)

$Q_{7gün\text{-}10yıl}$ indisinin bir diğer versiyonu $Q_{7gün\text{-}2yıl}$ indisidir. Bu indis yedi günlük akımların iki yıllık dönüş periyotlarını belirtmekte olup yaklaşık olarak yıllık ortalama akımın %33'üne karşılık gelmektedir. (Arthington, 2012)

Eşik değerinin gün içerisinde %95 ve %90 oranında aşılması durumunu Q_{95} ve Q_{90} indisleri ifade eder (Kaynak, 2018). Çoğunlukla 10 günlük veya aylık olarak hesaplanmaktadır. Armstrong ve Nislow birçok çalışmanın Q_{95} ve Q_{90} değerlerinin can suyu ihtiyaçları ve bazı balıkların büyümesi için ihtiyaç duyduğu miktar açısından uygun bulduğunu ifade etmişlerdir. (2004)

Debi Süreklilik Eğrisi Yönteminin Dezavantajları

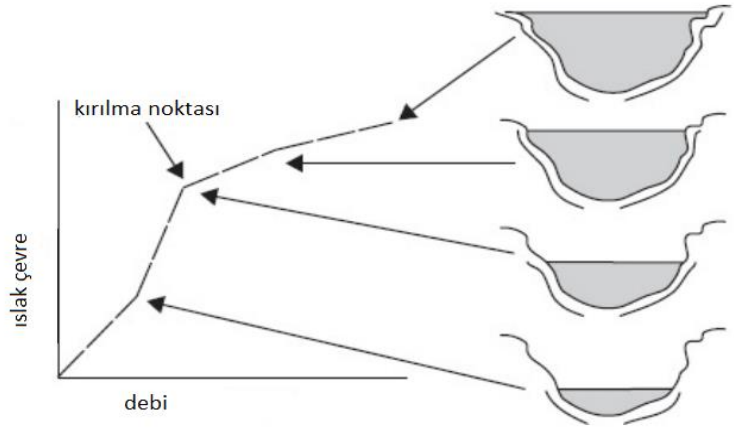
- Akış belirli bir hacim veya hızın üzerine çıktığında çevredeki fauna ve flora önemli ölçüde etkilendiğinden biyolojik açıdan sınırlı bakış açısı sunmaktadır.
- $Q_{7gün10yıl}$ indisi ile belirlenen minimum su miktarına dayalı olarak işletilen mekanizmanın sonradan olumsuz biyolojik sonuçlar doğurabilecektir. (Köle, 2014)
- $Q_{7gün10yıl}$ indisi ile belirlenen minimum çevresel akış ihtiyacı ABD Balıkçılık ve Yaban Hayatı Servisi tarafından yetersiz bulunmaktadır.

2.2. Hidrolik Derecelendirme Yöntemleri

Islak Çevre Yöntemi

Çevresel akışı belirlemede, hidrolik derecelendirme yöntemlerinden en eski ve en sık kullanılanı Islak Çevre Yöntemi'dir. Genel olarak nehir kesitinin genişlediği ve su derinliğinin azaldığı noktalarda çalışılan bu yöntem, bu kritik kesitlerdeki ıslak çevre ile debi arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. (Balbay, 2018) Bahse konu kesite ait eşel seviye değişiminden boyutsuz debi ve boyutsuz ıslak çevre büyüklükleri hesaplanarak sonuçlar grafiğe aktarılır. Islak çevre- debi eğiminin bire eşit olduğu nokta kırılma noktası olarak adlandırılır. Grafikteki kırılma noktası minimum can suyu ihtiyacı olarak tanımlanır (Görsel 2). Bu miktarın altındaki debi, canlı ekosistemi için yetersiz olup yaşanan küçük değişimler de sucul canlılar için önemli etkilere sahip olmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 2. Islak çevre –debi ilişkisi

Bu yöntemde, farklı canlı türlerinin ihtiyaç duyduğu suyun en sağlıklı şekilde karşılanması için farklı kesitlerden ölçüm alınarak kırılma noktasının hesaplanması daha doğru sonuç elde edilmesine imkân sağlayacaktır.

Islak Çevre Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları

- Çok ayrıntılı bir alan çalışmasına ihtiyaç yoktur.
- Kullanımı kolay ve hızlı hesap yapmaya uygundur.
- Hidrolik modelleme teknikleriyle çalışabilme imkânı sunmaktadır.

Dezavantajları

- Sadece minimum çevresel su ihtiyacı hesaplanabildiğinden su çekilmesi durumunda ekosistemin karşı karşıya kalabileceği durumun şiddeti belirlenememektedir. (Balbay,2018)

2.3. Habitat Simülasyon Yöntemleri

İlk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde 1970'li yılların sonunda ortaya çıkan Habitat Simülasyon Yöntemleri, can suyunun belirlenmesi için gerekli ekosistem ihtiyacını belirleyen ve hidrolik yöntemlerin geliştirilmesiyle ortaya çıkan yöntemlerdir. Hidrolojik ve habitat derecelendirme tekniklerinde büyük bir ilerlemeyi temsil etmektedirler. Hız ve derinlik gibi doğrudan akışla ilişkisi olduğu kabul edilen özelliklerin yanı sıra nehir yatağının alt tabakası ve örtü çeşidi gibi dolaylı yoldan ilgili olan karakteristikleri de dikkate almaktadır. (Kaynak, 2018) Optimum akımlar genellikle habitat – debi eğrilerinden elde edilir. Bu yöntemler, bir akarsu yatağı boyunca birden fazla enkesitten elde edilen verileri kullandığından habitata ait hidrolik özellikleri daha ayrıntılı şekilde ortaya koyabilmektedir. Bu yönüyle hidrolik yöntemlerden ayrılmaktadır. (Tharme, 2003)

Akış Arttırma Yöntemi (Instream Flow Incremental Methodology–IFIM)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Habitat Simülasyon Yöntemlerinden en sık kullanılanı Akış Artırma Yöntemi (Instream Flow Incremental Methodology - IFIM)'dir. Küçük ve büyük ölçekte habitat öğelerinden yararlanan IFIM analiz sistemi, suyun kalitesi, dere yatağının yapısı, sıcaklık, derinlik, akıntı hızı, ve substrat gibi parametreler içermektedir.

IFIM Physical Habitat Simulation (PHABSIM) adında bir bilgisayar modeli olan bileşene sahiptir. PHABSIM modeli yukarıda bahsedilen parametreleri birleştirerek sonuca gitmeye çalışmaktadır. IFIM çerçevesinde yapılan çalışmaların PHABSIM uygulamasında altı adımı vardır:

1. *Çalışma hedeflerinin tanımlanması:* Modellenecek nehir sektörlerini ve bu sektörlerde bulunması muhtemel hedef türleri (genellikle balık veya omurgasızlar) tanımlar.
2. *Değerlendirme:* İncelenecek havzanın dengede olup olmadığını ve makro habitat koşullarının belirli hedef türlere odaklanan IFIM prosedürlerinin uygulanması için uygun olup olmadığını değerlendirir.
3. *Uygulama:* Çalışma veya "referans" alanların seçimini içerir. Referans sahaları seçerken aslında nehrin diğer kısımlarını temsil ettikleri varsayılır ve bu nedenle birkaç referans sahadaki habitattaki deşarjla ilgili değişiklikler havzanın başka yerlerine güvenle tahmin edilebilir.
4. *Alternatif kesitlerin analizi:* Simülasyonlar genellikle bir durumda (yani bir deşarjda) toplanan transekt (kesit) verilerine ve nehir seviyesi yüksekliğine deşarjla ilgili bir dizi ölçüme dayanır. Bununla birlikte, birçok çalışma, habitat mevcudiyetindeki mevsimsel değişkenliği karakterize etmek için tüm deşarj koşulları boyunca habitat verilerini toplar.
5. *Tahmin:* Farklı deşarjlarda tercih edilen mikro habitatın ne kadarının mevcut olduğunu değerlendirmek için hidrolik simülasyon aşamasından elde edilen bilgileri hedef türün tercih edilen fiziksel mikro habitatına ilişkin verilerle birleştirir.
6. *Nihai değerlendirme:* Bir su çekiminin veya nehrin akış rejimini değiştiren başka bir işlemin bir sonucu olarak zaman içinde meydana gelen değişiklikleri analiz etmeyi içerir. Çalışma bölgeleri için aylık deşarj kayıtları, "doğal" (düzenlenmemiş) akış rejimi ve çeşitli su çıkarma senaryoları (yani, düzenlenmiş senaryolar) için çizilir. Sonuçlar çizilebilir ve habitat süresi eğrileri olarak karşılaştırılabilir.

2.4. Holistik (Bütünleşik) Yöntemler

Çevresel akış ihtiyacını belirlemede bahsedilecek son yöntem holistik (bütünleşik) yöntemlerdir. Holistik yöntemler ekosistemin tüm gereksinimleri (nehir yatağı, kaynak alanları, taşkın alanları vs.) ve birbirleri ile olan ilişkileri bir arada değerlendirmektedir. Bu yöntemle yapılan çalışmalarda hidrolik, hidrolik oran ve habitat simülasyonu yöntemlerindeki bazı araçlardan da yararlanılmaktadır.

Bütünleşik yaklaşımlar, zamanla değişen akış rejiminin yeniden inşa edilmesi amacıyla aşağıdan yukarıya veya yukarıdan aşağıya doğru bir süreç işletmektedir. Her bir öğenin iyi tanımlanan bir akış rejiminin özelliklerini temsil ettiği bir hedefe ulaşmaya çalıştığı yöntem

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

aşağıdan yukarıya doğru süreç olarak tanımlanır. Bunun sonucunda, değiştirilmiş ve yeniden oluşturulmuş bir akış rejimi elde edilmektedir. Yukarıdan aşağıya doğru süreç ise doğal akış rejiminden kabul edilebilir derecede gerçekleşen sapmalar için farklı senaryolar ile çalışarak çevresel akışları tanımlamaktadır.

3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Birçok yönden önemli olumlu etkileri olan hidroelektrik enerji santrallerinden sağlanan ekonomik faydanın yanında kurulan santrallerin bölgede yaşayan vatandaşların ve diğer canlıların sosyal ve yaşamsal faaliyetleri ile ters düşmeyecek düzende kurulması ve işletilmesi gerekmektedir. Özellikle işletme aşamasında sıklıkla karşılaşılan problemlerden biri olan çevresel akış suyunun belirlenmesi konusunda yürütülen çalışmaların önemi günümüzde daha net anlaşılmaktadır. Örneğin; 2000'li yıllarla birlikte etkisini daha net hissettiren iklim değişikliğinin etkisiyle hemen hemen tüm depolamalı tesislerde giriş akımları trendinin azalan yönde olması sonucu kimi depolamada ÇED raporunda kabul edilen can suyu değerlerinin bırakılamayacak seviyeye gelinmiş olması uygulamada problemlere yol açmaktadır. Son yıllarda üst üste kurak yaşanan yıllarla tüm santrallerde doğal yaşamın devamı için bırakılacak asgari su miktarını belirleme çalışmaları daha da önemli hale gelmiştir. Bu konuda, Ülkemizde çok çelişkili sonuçlar elde edilmekte olup çevresel akış ihtiyacının belirlenmesine mevzuat yönünden standart getirecek bir yöntemin ilgili kurumlarda kabul edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, Ülkemizde havzada birden çok santral olduğunda havza bütününde tüm projeleri gözeten can suyu hesaplaması yapılmadığından son yıllarda can suyu konusunda regülatörler ile yaşanan sorunlar hukuki boyutlara taşınmaktadır.

Yukarıda bahsedilen tüm sebepler göstermektedir ki çevresel akış ihtiyacını belirlemede kullanılan yöntemlerin uygunluğu, güncelliği ve tüm canlılar açısından güvenilirliği oldukça önemlidir. Çalışmalar yürütülürken en temel unsur olan akım verisinin doğru ölçümü ve uzun yıllar kaydının olması bırakılacak minimum akış debisinin belirlenebilmesi için yapılacak analizleri oldukça kolaylaştıracaktır.

Bu çalışmada, çevresel ihtiyaçları karşılamak üzere hidroelektrik santrallerden bırakılması gereken minimum su miktarını belirleme yöntemleri literatür taraması yapılarak açıklanmış olup ilerleyen çalışmalarda bu yöntemlerin uygulanması ve değişen akım trendleri ile farklı fiziksel özelliklere sahip havzalardaki uygulamaların incelenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Alkan, S. *Akışaşağısına Bırakılması Gerekli Debi Yaklaşımları*. II. Su Yapıları Sempozyumu, 211-218. Diyarbakır, 2011.

Armstrong, J.D., Nislow, K.H. Modelling approaches for relating effects of change in river flow to populations of Atlantic salmon and brown trout. Fisheries Management and Ecology. 19:6, 527-536, 2012.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Arthington, A. H. *Environmental Flows: Saving Rivers in the Third Millennium*. University of California Press . doi:10.1525/california/9780520273696.001.0001., 2012.

Balbay, Ü. C. Hidroelektrik Santral Projelerinde Ekosistem Su İhtiyacının Belirlenmesi Ve Türkiye'deki Uygulamalar. İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2011.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2022).

Güney, B. S. *Hidroelektrik Santrallerde Çevresel Akış İhtiyacına İlişkin Değerlendirmeler*. 11. Ulusal Hidroloji Kongresi. Gaziantep, 2022.

Karakoyun, Y., & Yumurtacı, Z. Hidroelektrik Santral Projelerinde Çevresel Akış Miktarının Ve Çevresel Etkinin Değerlendirmesi. Tesisat Mühendisliği, MMO, İstanbul, 12,135, 7-23. 2013.

Kaynak, Ç. *Çemişgezek Cevizlidere Barajı Ölçeğinde Çevresel Akış Tayini Yöntem Analizi.* İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2018.

Köle, M. M. Koyunbaba Barajı'ndan Akış Aşağıya Bırakılması Gereken Çevresel Akış Miktarının Değerlendirilmesi. Coğrafi Bilimler Dergisi, 149-159, 2014.

Mann, J. L. Instream Flow Methodologıes: An Evaluatıon of The Tennant Method for Hıgher Gradient Streams in The Natıonal Forest System Lands in The Western U.S., Unprinted Ms Thesis, Colorado State University, Colorado, 2006.

Mevzuat Bilgi Sistemi. (2022). https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=39647&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5 (Erişim Tarihi: 8 Nisan 2022).

Pusey, B.J. Methods addressing the flow requirements of fish. In Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques: Review of Methods, Arthington AH, Zalucki JM (Eds), 66–105. Occasional Paper No. 27/98. Canberra, Australia: Land and Water Resources Research and Development Corporation, 1998.

Tennant, D.L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fisheries 1: 6– 10, 1976.

Tharme, R.E. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. River Research and Applications 19: 397–441, 2003.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Sülüki, H. M. *Küçük Hidroelektrik Santrallerde Cansuyunun Belirlenmesi*. Sakarya Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2010.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ENTEGRE SU YÖNETİMİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMI

İnşaat Mühendisi Kamer Ali KORKMAZ
Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Entegre Su Yönetimi Anabilim Dalı
E-posta Adresi: kali_korkmaz@hotmail.com
ORCID ID: 0009-0008-1301-9102

Prof. Dr. Alper Serdar ANLI
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı
E-posta Adresi: asanli@agri.ankara.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-8528-5230

ÖZET

Hızla artan nüfus ve enerji ihtiyacıyla var olan su kaynaklarının azalması ve potansiyel su kıtlığı su yönetiminde daha bütüncül bir bakış açısının gerekliliğini gözler önüne sermektedir. Bu bağlamda entegre su yönetim anlayışı ile su kaynaklarının daha sürdürülebilir ve verimli bir şekilde kullanımı gereksinim arz etmektedir. Su yönetiminde ihtiyaç duyulan enerjinin yenilenebilir kaynaklardan temin edilmesi de su yönetiminin sürdürülebilirlik ve çevre dostu olması açılarından oldukça önemlidir. Bu sebeplerden güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının su yönetiminde etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Tarımda sulama teknolojilerinde, su ve atık su arıtma tesislerinde kullanılan pompa gibi ekipmanların enerji ihtiyacının güneş enerjisinden sağlanması, yüzen güneş panellerinin yüzey sularının üzerine kurulmasıyla eş zamanlı olarak buharlaşmanın azaltılması ve enerji üretilmesi gibi yaklaşımlarla güneş enerjisinden faydalanma yöntemleri su yönetimine entegre edilebilmektedir. Bu çalışmada güneş enerjisi, güneş enerjisinden faydalanma yolları ve bu yolların su yönetimine nasıl entegre edilebileceği ortaya konmaktadır. Ülkemizde bu alandaki gelişmelerin seyri hız kazanmış olmakla birlikte daha yenilikçi ve bütünleyici adımlarla ilerlemeye devam edilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, fotovoltaik sistemler, güneş kolektörleri

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

USING SOLAR ENERGY IN INTEGRATED WATER MANAGEMENT

Civil Engineer Kamer Ali KORKMAZ
Ankara University Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Integrated Water Management
E-mail address: kali_korkmaz@hotmail.com
ORCID ID: 0009-0008-1301-9102

Prof. Dr. Alper Serdar ANLI
Ankara University Agricultural Faculty
Department of Agricultural Structures and Irrigation
E-mail address: asanli@agri.ankara.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-8528-5230

ABSTRACT
The decrease in existing water resources via the rapid increase in population and energy needs and the potential water scarcity reveal the necessity of a more integrated perspective in water management. In this context, there is a need for more sustainable and efficient use of water resources with an integrated water management approach. Supplying the energy needed in water management from renewable sources is also very important in terms of sustainability and environmental friendliness of water management. For these reasons, renewable energy sources such as solar and wind should be used effectively in water management. The methods of utilizing solar energy can be integrated into water management with approaches such as providing the energy needed for equipment such as pumps used in irrigation, water and wastewater treatment plants from solar energy, reducing evaporation and generating energy simultaneously by installing floating solar panels on surface waters. In this study, solar energy, ways to benefit from solar energy, and how these ways can be integrated into water management are expressed. Although the progress of developments in this field has accelerated in our country, we should continue to move forward with more innovative and integrative steps.

Key Words: Solar energy, photovoltaic systems, solar collectors

1. GİRİŞ
Fosil kaynaklı enerji üretiminin sürdürülebilir olmadığı ve çevreye zararının ne denli büyük ölçekte olduğu açıktır. Başta sanayi sektöründe ve diğer birçok sektördeki enerji ihtiyacının artan nüfusa paralel olarak artmasıyla daha sürdürülebilir yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim hız kazanmıştır. Su yönetiminde mevcut olan enerji ihtiyacının da güneş, rüzgâr, jeotermal gibi yenilenebilir kaynaklardan sağlanması oldukça önem arz etmektedir. Su ve enerji üretimi arasında sıkı bir bağ bulunmaktadır. Birçok enerji üretim yöntemi suya ihtiyaç duyar ve o suyun taşınması, arıtılması gibi işlemler için yine enerjiye ihtiyaç duyulur. Enerji sektöründe ihtiyaç duyulan su miktarları oldukça fazladır. Özellikle termik santrallerde soğutma suyu kullanımıyla çok büyük miktarlarda su kullanımı söz konusudur. Soğutma kulelerinde fazlaca su buharlaştırılırken tekrar kullanılan sular da kirlenmektedir. Entegre su

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

yönetimi kapsamında bu durum ele alındığında suya ihtiyaç duymayan bir enerji kaynağının kullanılmasının gerekliliği ortadadır. Enerji kaynaklarının su ihtiyaçlarına bakıldığında güneşten faydalanılan FV sistemlerin ve rüzgâr enerjisinden faydalanan sistemlerin suya ihtiyaç duymadığı görülmektedir. Bu bağlamda su yönetiminde sulama, su ve atık su artma tesislerinin işletilmesi gibi alanlarda ihtiyaç duyulan enerjinin güneş enerjisinden FV sistemler yoluyla faydalanılması oldukça önemlidir.

Aktacir vd. tarafından yapılan çalışmalarda Harran Üniversitesinde FV uygulamaları test edilmiş ve uygulanabilirliği raporlanmıştır. Üniversitenin Osmanbey kampüsünde güneş ve rüzgâr enerjisinden hibrit şekilde faydalanılan bir sistem geliştirilmiştir. Mühendislik Fakültesi binasının çatısına kurdukları sistem 1.1 kW kapasitesindedir. Merkezi kütüphane binası için ise şebekeye bağlı bataryalı entegre FV sistemi kurmuşlardır. Kütüphaneye kurulan bu sistemin ise toplam kapasitesi 3.5 kW'tır. Çalışmada ayrıca FV teknolojisi ile yakıt hücresinin birleştirildiği bir uygulama yapılmıştır. Birçok alanda güneş enerjisi kullanımını entegre eden çalışmada ayrıca FV paneller aracılığıyla dış mekân aydınlatma sistemi, FV pompa sistemi ve FV buzdolabı sistemi geliştirilmiştir. Çalışmalar Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında yapılmıştır (Aktacir & Yeşilata, 2011). Foster ve Cota tarafından yapılan çalışmada, fotovoltaik teknolojilerin sulama sistemlerinde pompalama ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanımı incelenmiş örnek olay değerlendirmeleri yapılmıştır. FV sulama pompalarının pazar payının gün geçtikçe büyüdüğü raporlanmış ve gelecekte çok daha fazla çiftçinin uygun maliyetli bu teknolojiyi kullanacağı öngörülmüştür (Foster & Cota, 2013). Dal tarafından yapılan çalışmada yüzey suları üzerine kurulan güneş enerji santrali (GES) incelemesi yapılmıştır. Ülkemizde kurulu yüzer GES henüz bulunmamakla birlikte bu çalışmada Kayseri ilinde bulunan Yamula Barajı'nın yüzeyine kurulabilecek GES için potansiyel tespit çalışması yapılmıştır. Yüzer GES ile üretilecek elektrik enerjisinin potansiyelini belirlemek için Küresel Güneş Atlası simülasyonu ve sera gazı salınımlarının değerlendirilmesinde ise RETScreen yazılımı kullanılmıştır. Barajın minimum su seviyesinde olduğu durumda yüzeyin yaklaşık %10'u kadar bir alana GES yapılması durumu incelenmiştir. Bu koşullarda, toplam kurulu güç potansiyelinin 576,4 MW olduğu raporlanmıştır (Dal, 2021). Liu vd. yapmış oldukları çalışmada GES'lerin sudaki ve çatıdaki performansları değerlendirilmiştir. Performans açısından yüzen güneş enerji santrallerinin daha iyi olduğu ancak onların sudaki konfigürasyonları ile ilgili sorunların üstesinden gelmek için daha çok çalışmanın yapılması gerektiği belirtilmiştir (Liu, Krishna, Leung, Reindl, & Zhao, 2018). Strazzabosco vd. FV teknolojilerinin California eyaletindeki atık su arıtma tesislerinde kullanımını incelemişlerdir (Strazzabosco, Kenway, & Lant, 2019). Khan ve Arsalan yaptıkları derleme çalışmasında, sürdürülebilir enerji üretimi yaklaşımına uyan güneş enerji sistemlerini ele almışlardır. Çalışmada FV sistemler ve Yoğunlaştırılmış Güneş Enerji Sistemleri (YGES) teknolojik açılardan ve sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmiştir (Khan & Arsalan, 2016).

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

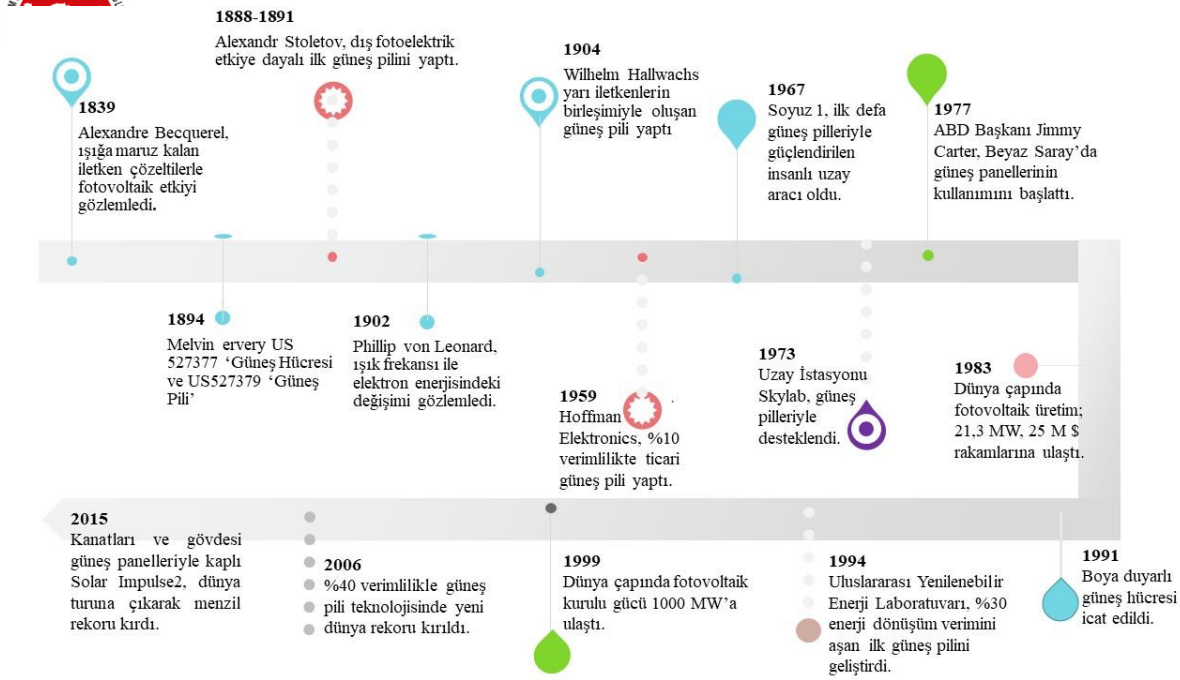
Dünyaya en yakın yıldız olan güneş, dünyanın en mühim enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir (Varınca & Gönüllü, 2006). Güneş sisteminin toplam kütlesinin

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

%99.86'sını oluşturan güneşin yaklaşık olarak dörtte üçü hidrojenden kalan kısmı ise çoğunlukla helyumdan oluşmaktadır (Bayer, 2018). Güneşin dünyaya olan uzaklığı yaklaşık olarak 149.6 milyon kilometredir. Güneş ışınlarının dünyaya ortalama ulaşma süresi bu mesafeden ötürü kabaca 8 dakika 19 saniye sürmektedir (Bayer, 2018). Güneşin çekirdeğinde (Görsel 1) gerçekleşen füzyon reaksiyonları sonucunda hidrojen gazı helyum çekirdeklerine dönüşür ve çok büyük bir ışıma enerjisi meydana gelir (Oral, 2020). Bu reaksiyon basitçe şöyle açıklanabilir: hidrojen molekülleri proton bombardımanı altında döteryuma dönüşürler. Kararsız halde bulunan döteryum çekirdekleri birleşerek daha ağır olan helyumu oluştururlar. Açıkta kalan protonlar ise bu reaksiyonun zincir halinde devam etmesini sağlar. Oluşan kütle farkından kaynaklı enerji ısı olarak uzaya yayılır. Reaksiyonlar sonucu oluşan ışıma ile güneşten yayılan güç dikkate alındığında (3.9x1026 W) dünyadaki tüm enerji ihtiyacını karşılayabilecek düzeyde bir kaynak olduğu görülmektedir.

Görsel 1. Güneşin Katmanları, dıştan içeriye doğru; fotosfer, konvektif bölge, ışınım bölgesi ve çekirdek (Bayer, 2018)

Güneşten yayılan bu ışımanın tamamı dünyaya ulaşamaz, oldukça küçük bir kısmı yerküreye ulaşır. Güneş ışınlarının %30'u atmosfer tarafından geri yansıtılırken %20'si atmosferdeki gazlar ve bulutlar tarafından tutulur. Bu bağlamda güneş ışınlarının %50'lik gibi bir kısmı dünyaya ulaşır (Oral, 2020). Atmosferin dış kısmındaki enerji seviyesine bakıldığında 173.104 kW olduğu, atmosfere ulaşan kısmın ise 1.395 kW olduğu raporlanmıştır (Karamanav, 2007). Atmosferdeki gaz, bulut ve partikül maddelerden dolayı bu miktarın hepsi yere ulaşamaz. Yerküreye düşen güneş enerjisi güneş tam tepedeyken bulutsuz bir günde 25 °C sıcaklıkta 1000 W/m² şeklinde ölçülmüştür (Oral, 2020). Öte yandan güneş enerjisinin yeryüzündeki dağılımı incelendiğinde her bölgede eşit olmadığı görülmektedir. Bazı coğrafi özellikler (bölgenin bitki örtüsü, denizlere göre lokasyonu, güneş ışınlarının gelme açısı, toplam aydınlanma süresi, yüzey şekilleri gibi) yeryüzündeki güneş enerjisinin dağılımında belirleyici etkiye sahiptir (Doğanay & Coşkun, Enerji Kaynakları, 2020). Güneşten gelen bu ışımanın enerji kaynağı olarak kullanılması oldukça eski tarihlere dayanmaktadır. MÖ 215 yılında Arşimet, Sirakuza şehrini kuşatan gemileri odakladığı güneş enerjisi ile yakarak güneş enerjisinden bir araç kullanarak faydalanmıştır (Altuntop & Erdemir, 2013).



Görsel 2. Güneş enerjisinden faydalanma teknolojilerinin gelişimi

Ancak modern anlamda güneş enerjisi kullanımı alanındaki gelişmeler 18 ve 19. yüzyıllarda meydana gelmiştir. 1767 yılında İsviçre kökenli bilim insanı Horace de Saussure ilk güneş kolektörünü yapmıştır (Oral, 2020). 1839 yılında Alexandre Becquerel'in fotovoltaik etkiyi gözlemlemesiyle güneş ışığının enerji kaynağı olarak kullanımındaki teknolojiler gelişmeye başlamıştır (Görsel 2). Güneş enerjisinden faydalanma teknolojilerinin tarihsel gelişimi Görsel 2'de infografik olarak sunulmuştur. Güneş enerjisi; sıcak ve soğuk su temini, konutların ısıtılması/soğutulması, tarımda ürünlerin kurutulması ve seraların ısıtılması, desalinasyon uygulamaları ve elektrik üretimi gibi yaygın kullanım alanına sahiptir (Doğanay, Özdemir, & Şahin, Genel Beşeri ve Ekonomik Coğrafya, 2020). Ancak en yaygın kullanım alanlarına bakıldığında termal uygulamalar ve elektrik üretimi olduğu görülmektedir.

2.1. Güneş Enerjisinden Faydalanma Yolları

Güneşe enerjisinden faydalanma yöntemleri, kullanılan malzemeler ve teknolojiler açısından oldukça çeşitli olsalar da iki temel grup altında incelenebilirler: Solar termal sistemler ve güneş hücresi olarak da adlandırılan fotovoltaik sistemler.

Solar Termal Güç Sistemleri

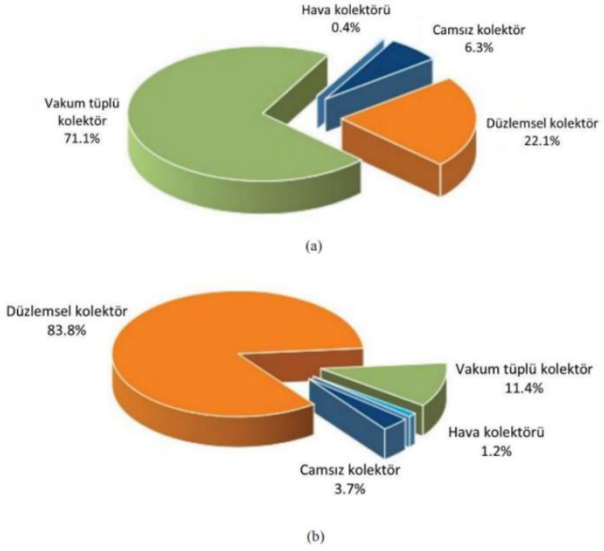
Güneş enerjisinden yararlanma teknolojileri düşünüldüğünde akla ilk olarak fotovoltaik sistemler gelse de diğer bir yararlanma biçimi termal sistemlerdir. Termal güç sistemleri kendi içinde düşük sıcaklık uygulamaları ve orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olarak ayrılabilirler (Hengirmen, 2018) (Üçgül & Ergün, 2012).

Düşük Sıcaklık Teknolojileri

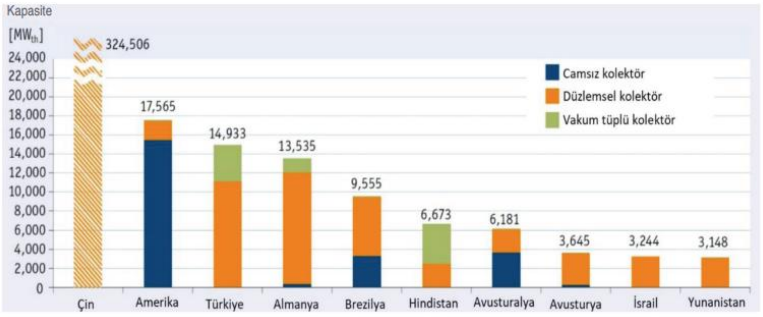
Düşük sıcaklık güneş termal güç teknolojileri güneş kolektörleri ve güneş bacaları olmak üzere iki başlık altında ele alınabilirler. Güneş kolektörleri, güneşten gelen ışınımı yutar ve kolektör içerisinde bulunan sistem akışkanına aktararak ısıl enerjiye dönüştürür. Çoğunlukla yapıların iç ortamlarının ısıtılmasında ve tarım sektöründe ürünlerin kurutulmasında kullanılırlar (Kumar,

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Baredar, & Qureshi, 2015). Güneş kolektörleri alanında yapılan çalışmalar özellikle kolektör yapıları, kullanılan bağlantı çeşitleri, kolektördeki akışkanlar ve akış şekilleri, FV teknolojileriyle kombinasyonları sonucu oluşturulan hibrit teknolojiler ve faz değişimli materyallerin kullanıldığı güneş kolektörleri üzerinde yapılmıştır (Sancar & Bulut, 2019). Güneş kolektörleri; düzlemsel kolektör, vakum tüplü kolektör, camsız kolektör ve hava kolektörü gibi çeşitlere sahiptir. Görsel 3'te çeşitlerine bağlı olarak dünya genelindeki ve Avrupa'daki payları gösterilmiştir. Ülkemiz de güneş enerjisinden faydalanılan termal uygulamalar konusunda büyük bir pazara sahiptir. Görsel 4'te belirtildiği gibi güneş enerjisinden sıcak su üretimi teknolojisinde en yüksek kapasiteye sahip ilk on ülke arasında Türkiye'nin üçüncü sırada yer aldığı görülmektedir. Kolektör tipi açısından dağılıma bakıldığında ise çoğunluğu düzlemsel kolektörlerin oluşturduğu görülmektedir.



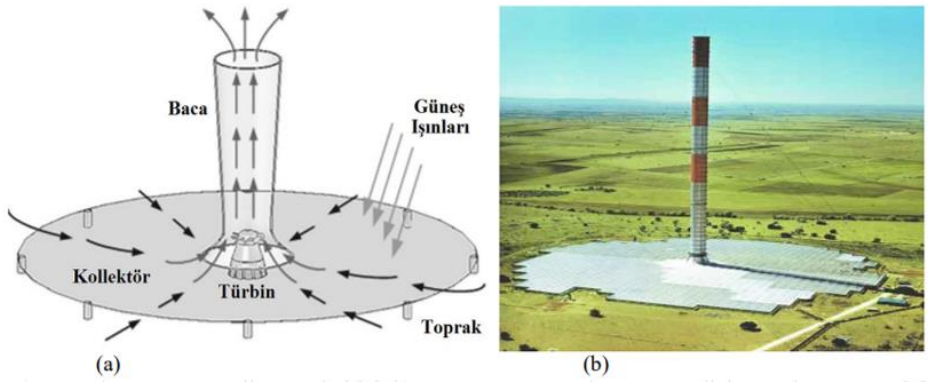
Görsel 3. Güneş Kolektörlerinin Payları a) Dünya Geneli b) Avrupa (Erdemir & Altuntop, 2018)



Görsel 4. 2017 yılına kadar dünya çapında güneş enerjisinden sıcak su üretimi teknolojisinde en yüksek kapasiteye sahip ilk 10 ülke ve kolektör tiplerine göre dağılımı (Erdemir & Altuntop, 2018)

Güneş bacaları, düşük sıcaklıklarda çalışabilen güneş enerjisini kullanarak elektrik üreten sistemlerden biridir. Büyüklüklerine bağlı olarak 5-400 MW arasında güç üretebilen güneş baca sistemleri; kolektör, türbin ve baca olarak üç temel kısımdan oluşur (Görsel 5a) (Köse, 2018).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 5. a) Şematik Güneş Bacası, b) Manzaranes Güneş Bacası, İspanya (Köse, 2018)

Yüksek Sıcaklık Teknolojileri (Yoğunlaştırılmış Güneş Enerji Sistemleri

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinde güneşten gelen ışınların belirli bir hedefe odaklanması sağlanarak termal ısı yoğunlaştırılmaktadır. Bahsi geçen sistemlerde genellikle yansıtıcı aynalar ya da lensler kullanılır. Güneşten gelen ışınların hedef noktasına ulaşması bu aynalar sayesinde gerçekleştirildikten sonra enerjinin aktarılması için sistemde akışkanlar bulunur. Sistemlerde akışkan olarak çoğunlukla termal yağlar, ergimiş malzemeler gibi özel akışkanlar kullanılırken basınç ve sıcaklık değerlerine göre su da kullanılabilmektedir (Hengirmen, 2018). Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinde amaç direkt ya da dolaylı olarak buhar üretiminin gerçekleştirilmesidir. Üretilen buhar birçok proseste kullanılabildiği gibi elektrik üretmek için türbinlerde de kullanılabilmektedir.

Yoğunlaştırılmış güneş enerji teknolojilerinden genellikle kullanılan sistemler; kule tipi, parabolik oluk tipi, doğrusal fresnel tip ve parabolik çanak tipi sistemlerdir. Kule tipi sistemlerde helyostat olarak adlandırılan geniş yüzeyli aynalar, helyostaları hassasiyetle kontrol eden takip sistemleri ve kule üzerine yerleştirilmiş olan güneş alıcısı bulunmaktadır. Güneş alıcısı içinden geçen sistem akışkanı 1000 °C'ye kadar ulaşır ve ısıyı güç merkezine iletir. Burada kullanılan türbinler aracılığıyla enerji dönüşümü sağlanır (Livatyalı & Yıldırım, 2012). Maliyet açısından diğer yoğunlaştırılmış sistemlere göre dezavantajlı olsa da verimi daha yüksektir ve ısıyı depolamak daha kolaydır. Ülkemizde, Yılsan Yatırım Holding ve iştiraki olan Greenway Güneş Sistemleri Enerji Üretim Şirketi Mersin'de kule tipi konsantre güneş enerji santrali kurmuştur (Görsel 6). TÜBİTAK ve TTGV kurumlarınca desteklenen araştırma-geliştirme projesinin ürünü olan santral; yüksek odak yeteneğine sahip 510 tane helyostata (Görsel 7), 50 metre yüksekliğinde kuleye ve 4 MWTh kurulu güce sahiptir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Görsel 6. Mersin Güneş Kulesi

Görsel 7. Mersin Güneş Kulesi Helyostatlar

Parabolik oluk tipi ise en çok kullanılan ve teknik yeterliliği tescillenmiş bir konsantre güneş teknolojisidir (Altuntop & Erdemir, 2013) (Hengirmen, 2018). Bu tip sistemlerde parabol şeklinde aynalar doğrusal şekilde dizilirler ve güneş ışınlarını alıcı ekseni üzerinde bulunan içinde sistem akışkanı olan boruda yoğunlaştırırlar (Altuntop & Erdemir, 2013). Sitem akışkanı olarak çoğunlukla termal yağlar tercih edilmektedir. Gündüz vaktinde güneş ışınımını doğudan batıya doğru izleyerek alıcı üstünde eksen boyunca yoğunlaştırırlar ve sistem akışkanını 400 °C'ye kadar ısıtabilirler. Elde edilen bu ısı enerjisi eşanjörler aracılığıyla buhar üretiminde kullanılır. Bu sistemlere örnek olarak ABD'deki Mojave Projesi Görsel 8'de gösterilmiştir. 250 MW kurulu güce sahip tesis, Kaliforniya'da Mojave Çölünde bulunmaktadır. Bir diğer yoğunlaştırılmış güneş teknolojisi ise fresnel aynalı yoğunlaştırıcı sistemleridir (Görsel 9). Yan yana konumlandırılan çok sayıda aynanın ışınımı üst kısımdaki alıcı üzerinde yoğunlaştırırlar. Bu tip sistemlerin en büyük avantajı parabolik yansıtıcılara nazaran daha düşük maliyetli olmalarıdır. Ayrıca zemine daha yakın oldukları için de yapısal olarak daha az gereksinimi vardır. Sistem teknolojisi açısından parabolik oluk tipi ile benzerlik göstermesine karşın toplam verimi daha düşüktür ve parabolik oluk tipi kadar yaygın değildir (Üçgül & Ergün, 2012).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Görsel 8. ABD Mojave Solar Project, Parabolik Oluk Sistemi

Görsel 9. Fresnel Tipi Sistem

Başlıca yoğunlaştırılmış güneş teknolojilerinden dördüncüsü ise parabolik çanak sistemleridir (Görsel 10). Bu tip sistemlerde parabolik çanak biçiminde aynalar kullanılarak güneşten gelen ışınlar alıcıda noktasal biçimde toplanmaktadır. Alıcıdaki sıcaklık değerleri 1500 °C'ye kadar çıkabilmektedir. Genellikle elektrik üretiminde ve su arıtımında kullanılan bu tip sistemlerin verimi diğer parabolik sistemlere göre yüksektir (Coşkun & Ulusarslan, 2019).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

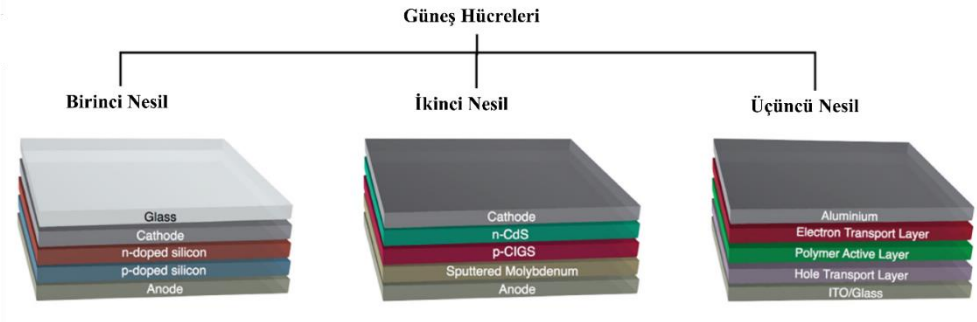
Görsel 10. Parabolik Çanak Sistemler

Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik (FV) sistemler, fotoelektrik ilkesine dayanarak güneşten gelen ışınlar vasıtasıyla elektrik üreten sistemlerdir. Güneşten gelen ışınların dağınık bileşenlerini kullandığından hem düşük hem de yüksek ışınıma sahip alanlarda uygulanabilmektedir. Fotovoltaik sistemlerde farklı malzemelerden yapılan güneş panelleri kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan malzemeler; mono ve polikristal silikon, kadmiyum tellür (CdTe), Galyum Arsenit (GaAs) ve indityum galyum fosfittir (InGaP). Bir güneş pili genellikle küçük bir elektrik üretimi sağladığından büyük ölçekte üretim için birden fazla hücreden oluşan bir modül üretmek için birleştirilir. Ardından oluşturulan bu modüller fotovoltaik diziye monte edilir (Khan & Arsalan, 2016). FV sistemleri mevcut elektrik şebekesine bağlanabildikleri gibi bağımsız olarak da kullanabilirler. FV sistemler konfigürasyonlarına göre sabit sistemler ve güneşi takip eden sistemler olarak ikiye ayrılırlar. Güneşi takip etme yeteneğine sahip olan sistemler daha fazla radyasyon yakaladıkları için daha verimlidirler. Ancak bununla birlikte sabit sistemlere göre daha fazla yere ihtiyaç duyarlar ve üretilen elektriğin bir kısmı güneşi izlemek amacıyla kullanılır. PV teknolojilerinin ilk uygulaması yörüngedeki uyduların yanı sıra uzay araçlarına güç sağlamaktı ancak günümüzde bu teknolojiler çoğunlukla şebekeye bağlı veya bağımsız olarak elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca bazı binalarda, ulaşım ve telekomünikasyon alanlarında da entegre şekilde kullanılmaktadır (Khan & Arsalan, 2016). FV teknolojileri üç nesile ayrılırlar: birinci, ikinci ve üçüncü nesil (Görsel 11).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Görsel 11. Fotovoltaik Teknolojilerin Nesillere Göre Sınıflandırılması

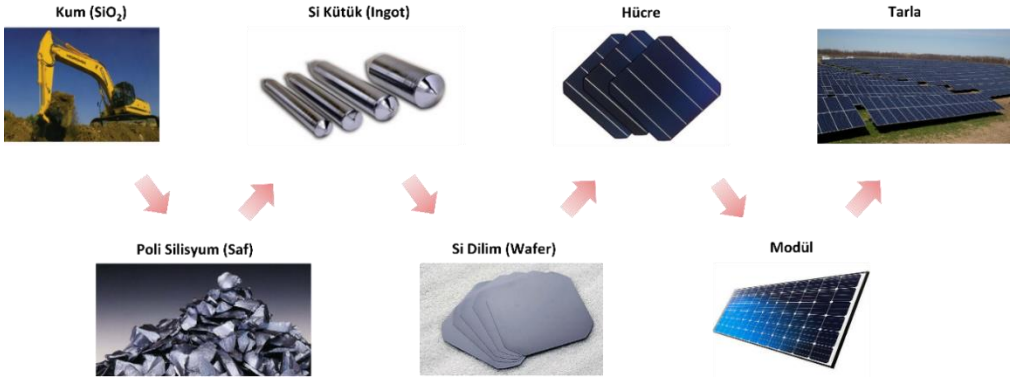


Görsel 12. Nesillere göre hücrelerin şematik gösterimi (Mrinalini, Islavath, Prasanthkumar, & Giribabu, 2019)

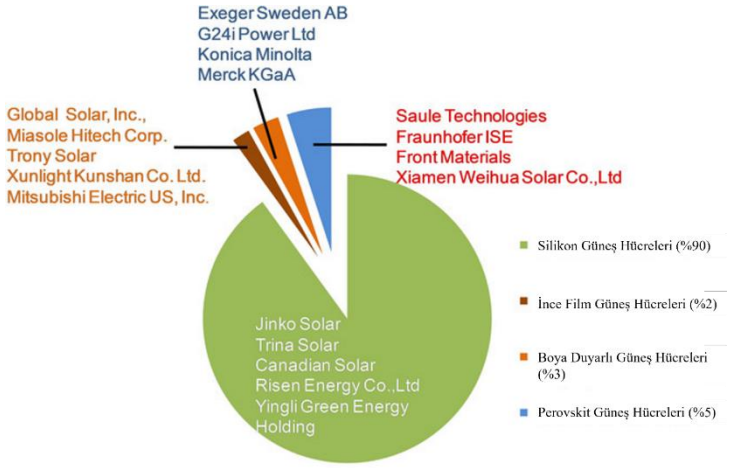
Bu nesillerin (Görsel 12) genel verimliliği ve performansı, kullanılan yarı iletken malzeme türlerindeki farklılıklar nedeniyle büyük değişiklikler göstermektedir. Birinci ve ikinci nesiller ticari açıdan daha olgun olmalarına karşın üçüncü nesil teknolojiler de gelişmeye devam etmektedir. Birinci nesil PV hücreler geleneksel güneş hücreleri olarak adlandırılırlar ve kristal silikondan üretilirler (Görsel 12-13). Bu nesil hücreler yüksek verimlilikleri nedeniyle önemli talep görmüştür ancak kristal silikon malzemelerin üretim maliyetleri sebebiyle kadmiyum tellür (CdTe)/kadmiyum indiyum galyum diselenid (CIGS) bazlı diğer inorganik malzemelere yönelim sonucu ikinci nesil hücrelerin üretimine başlanmıştır. İkinci nesil hücreler silikon olanlara nispeten yakın (%14-22) verimler gösterseler de kullanılan malzemelerin kısıtlılığı, toksisitesi ve üretim maliyeti pratik uygulamalarını sınırlamıştır. Sonrasında ise organik güneş hücreleri (OSCs), boyaya duyarlı hücreler (DSSCs) ve perovskit güneş hücreleri (PSC) geliştirilmiş ve üçüncü nesil güneş hücrelerinde erişilen stabilite ile <%20 verime ulaşılmıştır. Mevcut durumda üçüncü nesil hücreler diğerlerine kıyasla esneklik, düşük maliyet ve üretim kolaylığı gibi açılardan dolayı fazla talep görmektedir. Güncel araştırmalar ağırlıklı olarak daha düşük maliyetli malzemelerin geliştirilmesi, yeni cihaz mimarisi ve üçüncü nesil hücrelerin stabilitesinin iyileştirilmesine odaklanmaktadır (Mrinalini, Islavath, Prasanthkumar, & Giribabu, 2019).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Ancak tüm bu iyileştirme çalışmalarıyla beraber 2017 yılına kadar olan veriler dikkate alındığında en büyük pazar payının %90 oranla silikon güneş hücrelerinin olduğu görülmektedir (Görsel 14).



Görsel 13. Kristal silisyum FV üretimi



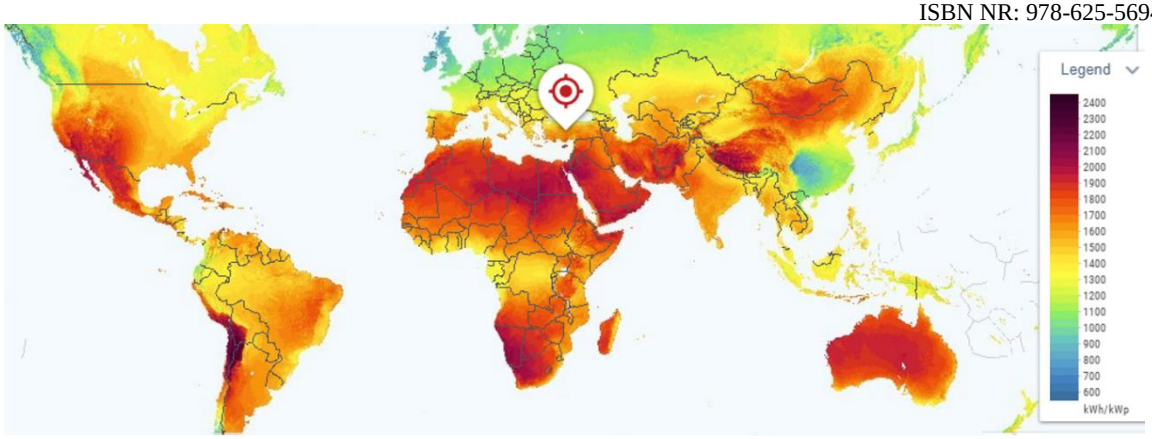
Görsel 14. Dünyaca Ünlü Şirketlerin Ürettiği, Farklı Tip Güneş Hücrelerinin Pazar Payları (2017 Yılına Kadar)

3. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ

3.1. Dünyada Güneş Enerjisi

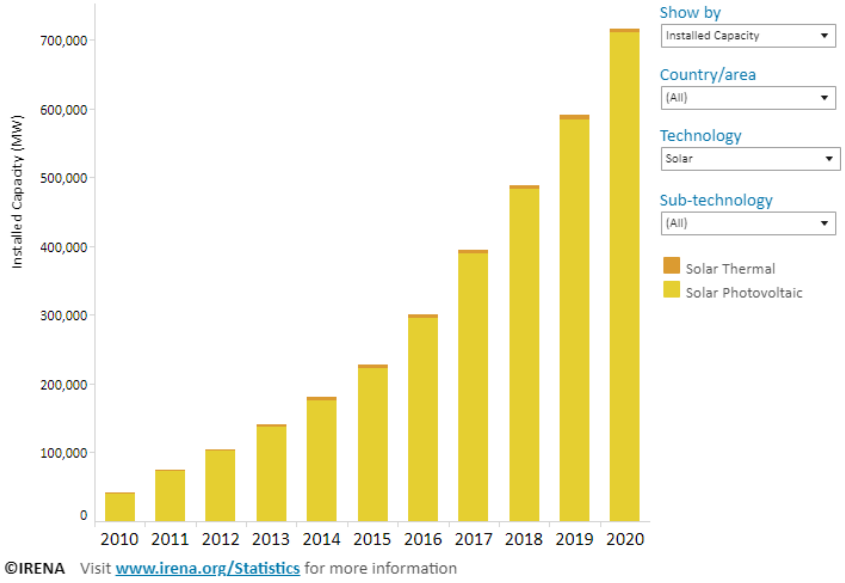
Yenilenebilir enerji kaynaklarının verimliliği, iklim değişimine karşı mücadelede tercih edilmelerinin gerekliliği gibi sebeplerden dolayı dünya ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımlarını artırmıştır. Özellikle güneş enerjisine olan yatırımların, yapılan çalışmaların ve geliştirilen teknolojilerin artmasıyla güneş enerjisinden faydalanma teknolojilerinin pazar payı da gelişim göstermeye devam etmektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 15. Küresel çapta spesifik fotovoltaik güç çıkışları

Görsel 16'da gösterildiği gibi 2020 yılı itibariyle dünya çapında güneş enerjisinden faydalanılan teknolojilerin toplam kurulu gücü 716 GW değerine ulaşmıştır. Bu değerin yaklaşık 710 GW'lık kısmı fotovoltaik teknolojiler ile sağlanırken 6 GW'lık kısmı solar termal sistemler aracılığı ile sağlanmaktadır.

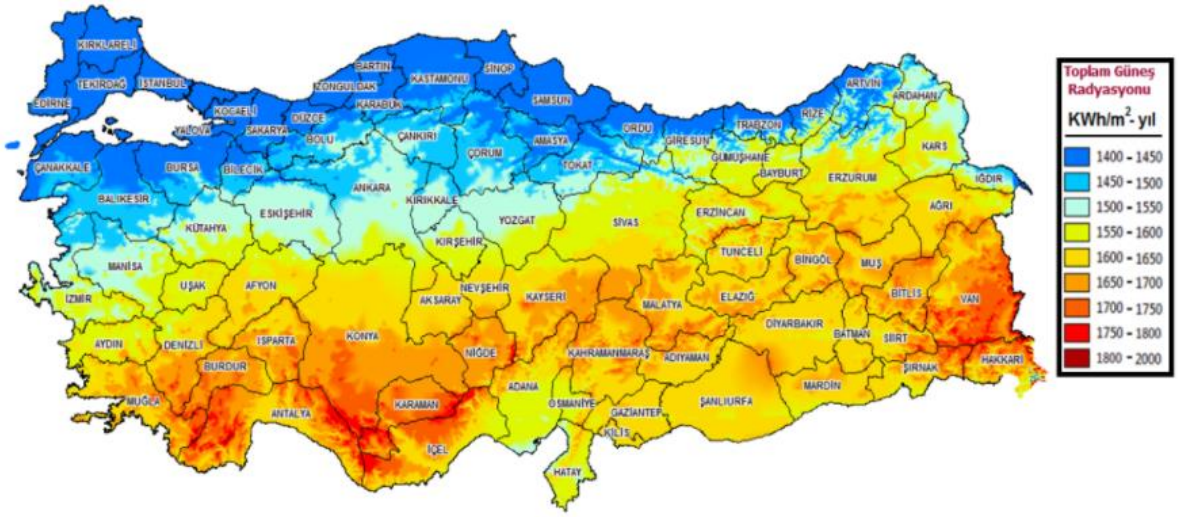


Görsel 16. Dünya çapında güneş enerjisinden faydalanılan teknolojilerin kurulu gücünün yıllara göre değişimi

3.2. Türkiye'de Güneş Enerjisi

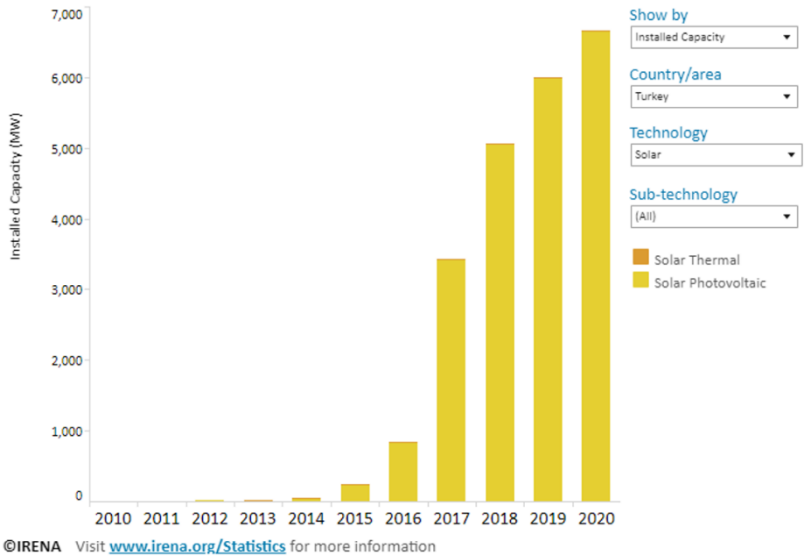
Ülkemiz coğrafi konumundan kaynaklı olarak güneş enerji potansiyeli yüksek bir ülkedir. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Atlasına göre yıllık olarak ortalama güneşlenme süresi 2741.07 saat ve yıllık olarak ortalama ışınım miktarı 1527.46 kWh/m² şeklinde hesaplanmıştır. Görsel 17'de aylık olarak ortalama ışınım dağılımı ve genel potansiyel görünümü gösterilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



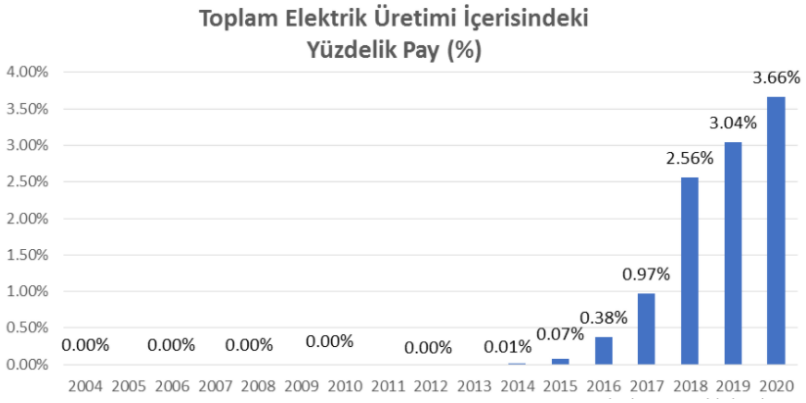
Görsel 17. Türkiye'de Toplam Güneş Radyasyonu Dağılımı

2014 yılında güneşten elektrik üretmeye başlayan ülkemizde güneş enerjisinden faydalanan termal ve FV teknolojilerinin kurulu gücü 2017 yılında ciddi bir artış göstererek 3.4 GW değerine ulaşmıştır. Her sene artmaya devam eden bu miktar 2020 yılında yaklaşık olarak 6.7 GW seviyesine ulaşmıştır. Termal ve FV teknolojileri arasındaki dağılıma bakıldığında ise kurulu gücün neredeyse tamamının FV teknolojileri olduğu yaklaşık 1 MW'lık kısmın ise termal teknolojilerden kaynaklandığı görülmektedir (Görsel 18). Güneş enerjisinden faydalanma teknolojilerindeki artışa paralel olarak güneş enerjisinin toplam elektrik üretimi içerisindeki payı da doğru orantılı olarak artış göstermektedir. 2014 yılında ülkemizde güneş enerjisinin toplam elektrik üretimine katkısı %0.01 seviyelerindeyken 2020 yılı itibariyle bu değerin %3.66 değerine ulaştığı görülmektedir (Görsel 19).



Görsel 18. Türkiye'de güneş enerjisinden faydalanılan termal ve FV teknolojilerinin kurulu gücünün yıllara göre değişimi

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



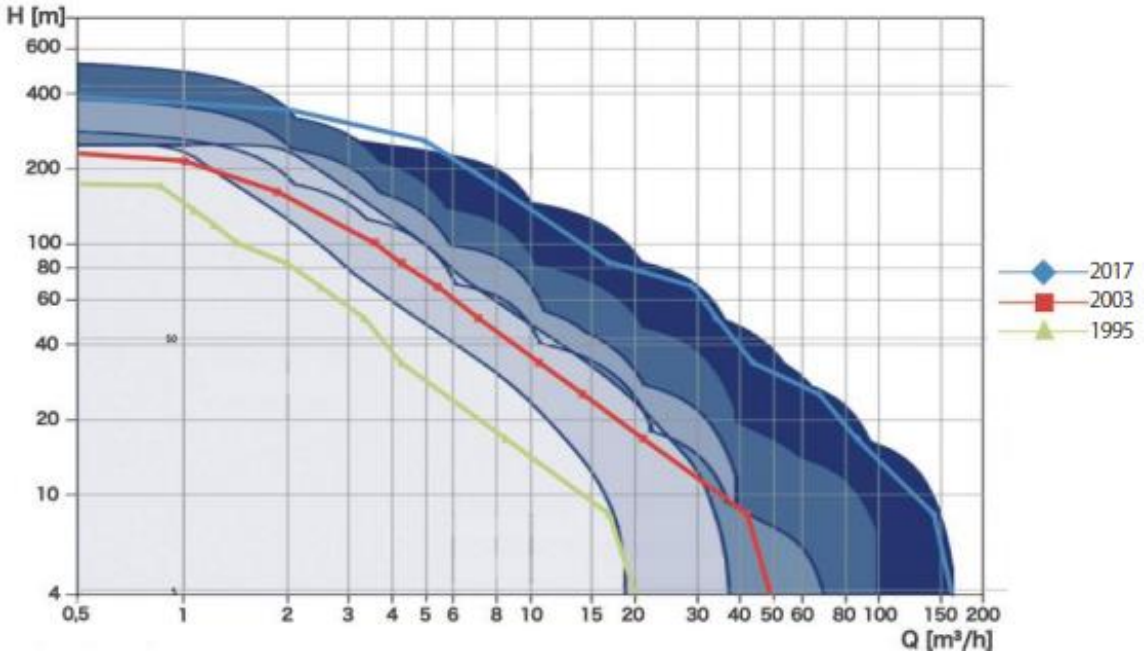
Görsel 19. Güneş Enerjisinin Türkiye'de Toplam Elektrik Üretimindeki Payının Yıllara Göre Değişimi

4. ENTEGRE SU YÖNETİMİNDE FV TEKNOLOJİLERİYLE GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMI

4.1. Sulama Sistemlerinde Güneş Enerjisi Kullanımı

Yukarıdaki bölümlerde bahsedildiği gibi güneş enerjisi en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Tarımda büyük çoğunlukla enerji maliyetini sulama sistemleri oluşturmaktadır. Sulama sistemlerinde güneş enerjisinin kullanımı hem üretim maliyetini düşürmekte hem de çevresel etkinin azaltılmasının önünü açmaktadır (Topuz, Erdoğan, & Taşkaya, 2017). Ülkemizde tarımsal sulama sistemlerinde geleneksel enerji kaynakları kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden üretilen enerjinin; uzun kullanım ömrü, yakıta ihtiyaç duymaması, pratik bir kullanıma sahip olması gibi avantajları dolayısıyla geleneksel enerji kaynaklarının yerini alması oldukça önemlidir. Kurulum maliyeti diğerlerine nazaran yüksek olsa da işletme kısmı düşünüldüğünde FV sistemlerinin ekonomik olarak daha uygun olduğu görülmektedir. Daha önceden de belirtildiği gibi ülkemizin güneş enerji potansiyelinin yüksek olması da çok büyük bir avantajdır. Tarihsel sürece bakıldığında güneş enerjisini kullanarak yapılan ilk su pompalama çalışmaları 1964 yılında Sovyetler Birliğinde Pytlinski tarafından yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada su debisinin ve basma yüksekliğinin oldukça küçük olduğu belirtilmiştir. İlk büyük ölçekli çalışma olarak nitelendirilen fotovoltaik pompalama sistemi ABD'nin Mead kentinde kurulmuştur. 12 saat çalışma kapasiteli sistemin pompalama debisi 3.8 m^3/dak olarak raporlanmıştır (Sontake & Kalamkar, 2016). Fotovoltaik teknolojilerle çalıştırılan sulama pompalarının kapasiteleri yapılan inovasyon çalışmaları doğrultusunda artış göstermiştir (Görsel 20). Yıllar içerisinde pompa kapasitelerindeki bu artış gelişen teknolojinin ve azalan maliyetler sonucu kullanımlarının artmasıyla bu alanda daha çok çalışma yapılmasının bir sonucudur.

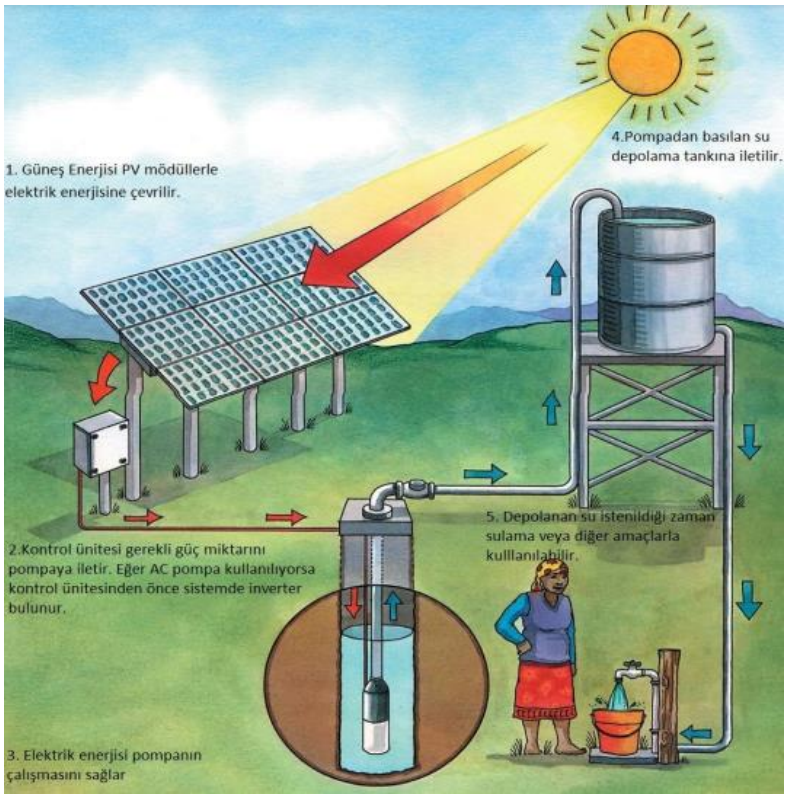
ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 20. Yıllara göre FV sulama pompalarındaki kapasite artışı (World Bank Group, 2018)

Güneş enerjisi ile çalışan sulama sistemlerinin temel bileşenleri; fotovoltaik paneller, pompa (doğru ya da alternatif akımla çalışan), akü, kontrol ünitesi ve opsiyonel olarak su deposudur (Sarı, 2019). Görsel 21'de gösterildiği gibi güneşten gelen ışınlar FV paneller aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Burada üretilen enerji kontrol ünitesi aracığıyla pompaya aktarılır. Pompanın faal hale gelmesiyle kaynakta bulunan su depolama haznesine aktarılır. Depoda bulunan su dilenen zamanda sulamada veya diğer kullanım amaçlı kullanılabilir. Şekilde alternatif akımla çalışan bir pompanın yer aldığı sistem şematize edilmiştir. Paneller aracılığıyla doğru akım üretildiğinden inverter ile akım dönüşümü sağlanır ve pompaya öyle iletilir. Kuzeybatı Meksika Sonora'daki sistem başarılı bir FV su pompalama örneği teşkil etmektedir. Meksika Yenilenebilir Enerji Programı (1994-2000) tarafından desteklenen çalışma ülkedeki ilk FV pompalama sistemi olma özelliğini taşımaktadır. FV sistemi kurulmadan önce su iletimi yük hayvanları aracılığıyla yapılmaktaydı. Ana bileşenleri; 480 Wp'lık Solarex panel dizisi, dalgıç güneş pompası ve kontrol ünitesi olan sistemin kurulmasıyla maddi anlamda ciddi tasarruf sağlanmıştır. Pompalama debisi 33 L/dak olan pompa 14 yıl sonra yenisi ile değiştirilmiştir. 19 yıldır çalışmakta olan sistem çok sayıda büyükbaş hayvanın ve küçük çapta bir bölgenin su ihtiyacını karşılayabilmektedir. Geri ödeme süresine bakıldığında projenin 4 yıl içerisinde yatırım geri dönüşü aldığı raporlanmıştır. Dizel yakıt kullanan jeneratör sistemi ile kıyaslandığında güneşten sağlanan enerjinin 90.000 L yakıt tüketimine eşit olduğu belirtilmiştir. Meksika'daki proje sürecinde geçerli olan yakıt fiyatları dikkate alındığında bu sistem sayesinde 50.000 Amerikan doları civarında bir tasarruf sağlanmıştır (Foster & Cota, 2013). Ülkemizde yapılan çalışmalar incelendiğinde Harran Üniversitesinde kurulan 260 WP kurulu güce sahip sistem, güneş ışınımı konusunda zaten avantajlı olan ülkemizin Doğu Anadolu bölgesinde bu sistemlerin uygulanabilir olduğunu ortaya koymuştur. Güneş ışınımının yeterli olduğu seviyelerde pompanın güç tüketimi sabit ve kabaca 70 W'dır. Çalışma debisi dakikada 12-14 L'dir (Aktacir & Yeşilata, 2011).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 21. Güneş Enerjili Sulama Sisteminin Şematik Çalışma Prensibi (World Bank Group, 2018)

Ayrıca 2018 yılında GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından yapılan "Güneş Pilli Sulama Kanalı Pilot Projesi" kapsamında sulama kanalı üzerine kurulan FV paneller ile kanaldaki suyun pompalanmasının enerji ihtiyacının karşılanması, pompa kullanılmadığı zamanlarda işletmelere elektrik sağlanması ve nihayetinde suyun buharlaşmasının önemli ölçüde azaltılması amaçlanmıştır.

4.2. Su Yüzeyleri Üzerine Kurulan Güneş Enerji Santralleri (GES)

Güneş enerji santrallerinin su yüzeylerine kurulması tarımsal olarak işlenebilir arazilerin meşgul edilmemesi ve su kütlesinin sağlamış olduğu soğutma etkisi ile FV performansına olumlu katkı sunması gibi artıları sebebiyle karada kurulan güneş enerji santrallerine kıyasla daha avantajlı hale gelmektedir (Dal, 2021). Singapur'da yapılan bir çalışmada deniz üstüne kurulan güneş enerji santralinin çatılardakilere kıyasla performansının yaklaşık %10 daha fazla olduğu raporlanmıştır. Aradaki bu verimlilik farkının deniz üstü olanda modül sıcaklığının 5-10 °C az olmasından dolayı performansın daha iyi olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Liu, Krishna, Leung, Reindl, & Zhao, 2018). Benzer şekilde Güney Kore'de yapılan bir araştırmada deniz üstü GES ile karadaki GES kıyaslanmış deniz üstü olanın %11 daha verimli olduğu raporlanmıştır. Öte yandan su üstündeki FV teknolojilerini gölgeleyebilecek bina, yapı ya da ağaç olmaması da daha çok ışınım almalarını sağlamaktadır. Yüzer güneş enerji santrallerinin elektrik üretimindeki avantajlarıyla beraber su yönetimine de olumlu katkıları bulunmaktadır. Nehir, göl ve barajlarda kullanılan FV panellerinin suda gölgeleme yapması sebebiyle

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

buharlaşmayı ciddi derecede azaltması ve yosun oluşumunu engellemesi gibi açılardan su yönetimine doğrudan katkı sunmaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığı bünyesinde yürütülen bir ar-ge projesi kapsamında model havuzda gerçekleştirilen çalışmaya göre yüzen FV panellerinin buharlaşmayı %54.8 oranında engellediği sonucuna varılmıştır (Dal, 2021). Dünya çapınca birçok ülke arazi kısıtlılığı sebebiyle güneş enerji santralleri için alternatif çözümler üretme çabasındadır. Bu çabanın sonuçlarından biri olarak çatıların üzerine kurulan GES'ler küçük kapasiteleri üretimler için mantıklı olsa da yüksek kapasiteli üretim için hizmet verememektedir. Bu bağlamda ülkeler, göl, baraj ve deniz gibi yüzey sularında GES yatırımı yapmaya başlamıştır. Ülkemizdeki duruma bakıldığında ise henüz yüzen GES ile ilgili bir yatırım bulunmamaktadır. Ancak arazi kısıtlılığı sorunuyla karşı karşıya olan ülkemizde çevresinde tarım arazilerinin bulunduğu göl ve barajlara yüzen GES'ler kurmak oldukça iyi bir seçenektir. Bu sayede barajlardaki iletim hattı kullanılabilir, hidro ve solar elektrik üretimi sene boyunca birbirini tamamlayıcı görev üstlenerek daha fazla elektrik üretimi sağlayabilirler. Yağışın bol olduğu mevsimlerde barajlar, kurak ve sıcak mevsimlerde de FV teknolojileri aracılığıyla maksimum seviyede elektrik üretilebilir. Ülkemizde bu konuyla ilgili yapılan çalışmalara örnek olarak Dal tarafından gerçekleştirilen Yamula Barajı üzerine kurulacak yüzen güneş enerji santrali potansiyeli ve elektrik üretiminden kaynaklı emisyonların belirlenmesi çalışması verilebilir (Dal, 2021).

Bu alandaki en büyük uygulama Çin'de Huaneng Power tarafından barajın üzerine kurulan 320 MW kurulu güce sahip GES'tir (Görsel 22). Santral 220 ve 120 MW olmak üzere iki fazda kurulmuştur.

Görsel 22. Çin, 320 MW yüzen GES

4.3. Su ve Atık Su Arıtma Tesislerinde Güneş Enerjisi Kullanımı

Su ve Atık su arıtma tesislerinde pompa, karıştırıcılar, havalandırıcılar gibi cihazlar çokça kullanıldığından tesislerin enerji ihtiyacı yüksektir. Su yönetiminin önemli bir bölümü olan su arıtımında güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması oldukça önemlidir. Ülkemizde de atık su arıtma tesislerinin enerji ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla tesislerin yanına uygun alanlara güneş enerji santralleri kurulmaktadır. Bu alanda gerek araştırmalar

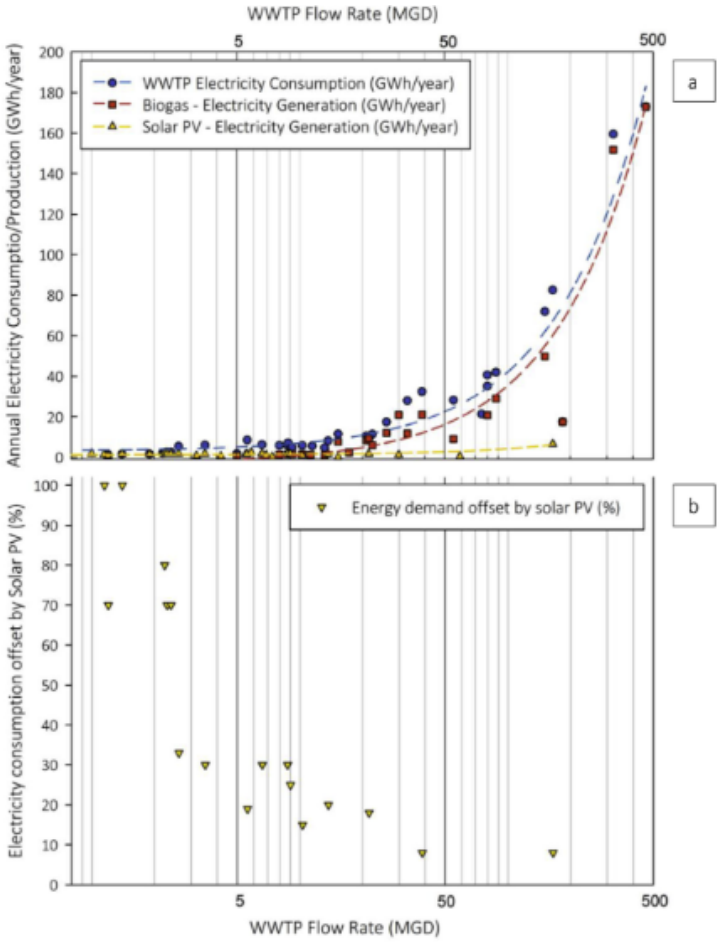
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

gerekse uygulamalar hızla devam etmektedir. Belkıs Öğretmek tarafından 2016 yılında hazırlanan 'Su/Atıksu Arıtma Tesislerinde GES Üretim Potansiyeli' başlıklı yüksek lisans tezinde Büyükçekmece ve Terkos Gölüne yüzen GES kurulması halinde üretilen enerjiden beslenebilecek su arıtma tesisleri incelenmiştir. Yapılan kapasite çalışmasıyla ülkemizde mevcut şekilde uygulanan karasal GES yerine bir önceki bölümde anlatılan yüzen GES'in kullanılması teşvik edilmiştir. Ancak şu anda uygulamada bir karşılığı bulunmamaktadır (Öğretmek, 2017). Işıl Kaya Mert tarafından gerçekleştirilen uzmanlık tezinde ise Adıyaman AAT'nin enerji ihtiyacının karşılanması için tesis analiz edilmiş ve GES için uygun teknolojilerin tayini yapılmıştır (Mert, 2016). Bu alanda yapılan uygulamalara örnek olarak Çanakkale Belediyesi AAT'nin elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla yapılan GES örnek verilebilir. Görsel 23'te sunulan şekilde görüldüğü gibi tesisin hemen yanına kurulan FV panelleri ile tesisin tüm elektrik ihtiyacının karşılanması ve fazladan üretim durumunda dağıtım şebekesine iletileceği belirtilmiştir. GES'in TEDAŞ kabulü 2019 Ocak'ta yapılmıştır (Çanakkale Belediyesi GES).

Görsel 23. Çanakkale Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisi GES

Strazzabosco vd. tarafından yapılan araştırmada Kaliforniya'da atık su arıtma tesislerinin büyüklükleri, güneş enerjisinden üretilen elektriğin ve biyogazdan üretilen elektriğin tesis ihtiyacına katkısı incelenmiştir (Strazzabosco, Kenway, & Lant, 2019).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 24. a) AAT'de elektrik tüketimi (mavi), biyogazdan elektrik üretimi (kırmızı), güneş FV'den elektrik üretimi (sarı) b) FV ile dengelenen elektrik tüketimi

Görsel 24'te görüldüğü gibi solar FV'den elektrik üretimi, 5 MGD debinin altındaki tesislerde enerji ihtiyacını büyük ölçüde karşılamaktadır. Bu debi aralığında tesisin elektrik ihtiyacının %30 ila %100'ünü karşılar haldedir. Ancak tesisin debisi 5 MGD'nin üzerine çıktığında FV'den gelen elektriğin tesisin elektrik ihtiyacına %8 ile %30 aralığında katkıda bulunduğu raporlanmıştır. Yüksek debide biyogazdan üretilen enerjinin katkısı neredeyse ihtiyacın tamamına yakındır. Biyogaz üretim verimi düşük debilerde düşük olduğundan 5 MGD debinin altındaki tesisler için tek başına FV teknolojilerinin gayet uygun bir yenilenebilir enerji kaynağı olduğu, ancak bu debinin üstündeki koşullarda solar FV ile biyogaz üretiminin kombine şekilde kullanılmasının daha iyi olduğu görülmektedir (Strazzabosco, Kenway, & Lant, 2019).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada güneş enerjisinden faydalanma yolları ve su yönetiminde güneş enerjisi kullanımı incelenmiştir. Güneş enerjisinin dünya çapında enerji üretimindeki payı her geçen gün artmaktadır. Bu enerji kaynağının birçok disipline entegre edilmesiyle daha çevre dostu, düşük maliyetli ve sürdürülebilir yaklaşımlar benimsenebilecektir. Entegre su yönetiminde de enerji ihtiyacının bu alandan karşılanması oldukça önem arz etmektedir. Ülkemizde yapılan çalışmalar ve teknoloji geliştirme çalışmaları hızla ilerliyor olsa da daha bütüncül ve inovatif

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

yaklaşımlarla bu enerji türünün su yönetimine entegre edilmesi için daha çok çalışma yapılması gerekmektedir. Yüzen GES teknolojisinin yüzey sularımıza uygulanması hem arazi kısıtlılığı problemini ortadan kaldırmakta hem de suyun buharlaşmasını büyük ölçüde engellediği için su kaynaklarının yönetimine de katkı sunmaktadır. Bu gibi yaklaşımların ülkemizde uygulamalarının yapılması ve geliştirilmesi, güneş enerji potansiyeli yüksek olan ülkemiz için gereklidir.

KAYNAKLAR

https://www.abengoa.com/web/en/novedades/mojave/imagenes/ (Erişim Tarihi: 15 Mart 2022).

Aktacir, M. A. Yeşilata, B. Harran Üniversitesi Kampüs İçi Fotovoltaik Sistem Uygulamaları. 41-46, 2011.

Altuntop, N. Erdemir, D. Dünyada ve Türkiye'de Güneş Enerjisi ile İlgili Gelişmeler. Mühendis ve Makina, 54(639), 69-77, 2013.

Bayer, A. Spacepedia. (Solar system scope) Mart 2022 tarihinde https://www.solarsystemscope.com/spacepedia/handbook/sun Erişim Tarihi: 31 Ocak 2018).

Çanakkale Belediyesi GES. Mart 2022 tarihinde https://www.canakkale.bel.tr adresinden alındı

Coşkun, C. Ulusarslan, D. Güneş Enerjili Parabolik Çanak Sistemde Alüminyum Metalinin Eritilmesinin Termal ve Matematiksel Analizi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 24(2), 2019.

Dal, A. R. Investigation of the Potential of Using Lakes and Dams as Solar Power Plants: The Case of Yamula Dam. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 9(4), 726-738, 2021.

Doğanay, H., Coşkun, O. *Enerji Kaynakları* (4. Baskı b.). Ankara: Pegem Akademi, 2020.

Doğanay, H., Özdemir, Ü. Şahin, F. İ. *Genel Beşerî ve Ekonomik Coğrafya*. Pegem Akademi, 2020.

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı) Mart 2022 tarihinde https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes adresinden alındı

Erdemir, D., Altuntop, N. Güneş Enerjisinden Sıcak Su Elde Etme Yöntemleri ve Bu Yöntemin Türkiye'deki Gelişimi. Mühendis ve Makina, 35-42, 2018.

Foster, R. E., Cota, A. *Solar water pumping advances and comparative economics*. 2013 ISES Solar World Congress, 2013.

Global Solar Atlas. Mart 2022 tarihinde https://globalsolaratlas.info/map?c=-5.790897,13.710938,2&m=site&s=24.20689,20.390625 adresinden alındı

Greenway. Mart 2022 tarihinde http://yilsanholding.com/tr-TR/greenway/313608 adresinden alındı

Güneş Enerjisinin Pek Bilinmeyen Uygulamaları. (Oksijen Dergi) Mart 2022 tarihinde https://www.biyobilim.ytukimtek.org/12/gunes-enerjisinin-pek-bilinmeyen-uygulamalari/ adresinden alındı

Hengirmen, A. O. Konsantre Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Termoklin Termal Enerji Depolama Sistem Analizi. İstanbul: İTÜ Enerji Enstitüsü, 2018.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
IRENA International Renewable Energy Agency. Mart 2022 tarihinde https://www.irena.org/solar adresinden alındı

K, T. Enerji Portalı. Mart 2022 tarihinde https://www.enerjiportali.com/dunyanin-en-buyuk-yuzen-gesi-devreye-alindi/ adresinden alındı

Karamanav, M. Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.

Kesayak, B. Elektrikport. Mart 2022 tarihinde https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/gunes-enerjisi-uygulamalarinin-tarihcesi-infografik/17103#ad-image-0 adresinden alındı

Khan, J., Arsalan, M. H. Solar power technologies for sustainable electricity generation – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 55, 414-425, 2016.

Köse, F. Güneş Bacası Güç Sistemlerinin PV ve Rüzgâr Güç Sistemleri ile Karşılaştırılması. Academic Platform Journal of Engineering and Science, 6(3), 121-129, 2018.

Kumar, A., Baredar, P., Qureshi, U. Historical and recent development of photovoltaic thermal (PVT) technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42, 1428-1436, 2015.

Liu, H., Krishna, V., Leung, J. L., Reindl, T., Zhao, L. Field Experience and Performance Analysis of Floating PV Technologies in The Tropics. Progress in Photovoltaics, 26(12), 957-967, 2018.

Livatyalı, H., Yıldırım, T. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Teknolojisindeki Gelişmeler. Mühendis ve Makine, 53(633), 2012.

Mert, I. K. Güneş Enerjisinin Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Kaynağı Olarak Kullanılması. Ankara: T. C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2016.

Migoglass. Mart 2022 tarihinde http://tr.migoglass.net/solar-glass/tower-linear-fresnel-flat-solar-mirror-for-c.html adresinden alındı

Mrinalini, M., Islavath, N., Prasanthkumar, S., & Giribabu, A. Stipulating Low Production Cost Solar Cells All Set to Retail. The Chemical Record, 19, 661-674, 2019.

Öğretmek, B. Su/Atıksu Arıtma Tesislerinin GES Üretim Potansiyeli. İstanbul: İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.

Oral, M. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve PV68 Uygulamalarının Yerel Ölçekte Değerlendirilmesi: Karabük İli Örneği. International Journal of Geography and Geography Education, 42, 482-503, 2020.

Sancar, İ. Bulut, H. *Yeni Nesil Havalı Güneş Kollektörleri*. 2. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik-Fen ve Sağlık Bilimleri Kongresi. Adıyaman, 2020.

Sarı, E. PVSYST Yazılımı Kullanılarak Örnek Bir Güneş Enerjili Su Pompalama Sistemi Tasarlanması ve Konvansiyonel Sistemlerle Karşılaştırılması. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.

Sontake, V. C., & Kalamkar, V. R. Solar photovoltaic water pumping system - A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59, 1038-1067, 2016.

Strazzabosco, A., Kenway, S. J. Lant, P. A. Solar PV adoption in wastewater treatment plants: A review of practice in California. Journal of Environmental Management, 248(109337), 2019.

Topuz, A., Erdoğan, B. Taşkaya, G. Fotovoltaik Etki ile Çalışan Güneş Enerjili Sulama Sisteminin Modellenmesi. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(2), 356-363, 2017.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Üçgül, İ. Ergün, E. Doğrusal Fresnel Güneş Güç Sistemi. Süleyman Demirel Üniversitesi YEKARUM e-Dergi, 1(3), 2012.

Varınca, K. B., Gönüllü, T. M. *Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma.* I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi. Eskişehir, 2006.

World Bank Group. Solar Pumping: *The Basics*. International Bank for Reconstruction and Development, 2018.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

VAN İLİNDE SAANEN KEÇİSİ YETİŞTİRİCİLİĞİ YAPAN MEVCUT İKİ İŞLETMEDE BAZI HAYVAN BESLEME VE YETİŞTİRME UYGULAMALARI İLE İŞLETME SAHİPLERİNİN DEMOGRAFİK ÖZELLİKLERİNE İLİŞKİN DURUM TESPİTİ

Doç. Dr. Cemal BUDAĞ*

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, cbudag@yyu.edu.tr - 0000-0003-3532-7727

Dr.Öğr. Üyesi Ayşe Özge DEMİR

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, aodemir@yyu.edu.tr - 0000-0001-7203-4734

Abdulhamit AÇAR

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, hamitacar30@hotmail.com - 0009-0006-3468-4609

Özet

Bu araştırma, Van ilinde faaliyet gösteren iki Saanen keçisi işletmesinin yetiştiricilik uygulamalarını, sosyoekonomik yapılarını ve üretim performanslarını inceleyerek bölgesel düzeyde Saanen keçisi yetiştiriciliğinin mevcut durumunu değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında Muradiye ve Gevaş ilçelerinde yer alan iki işletmede saha gözlemleri ve 63 soruluk anket formu aracılığıyla elde edilen veriler analiz edilmiştir. Sonuçlar, her iki işletmenin Saanen keçisini yüksek süt verimi nedeniyle tercih ettiğini, ancak üretim kayıtlarının tutulmaması, rasyon dengesinin yeterince sağlanmaması ve sınırlı teknik destek gibi nedenlerle verim düzeylerinin potansiyelin altında kaldığını göstermiştir. Birinci işletmede daha büyük sürü ölçeği ve karma yem kullanımı nedeniyle süt verimi nispeten yüksek bulunurken (500 lt/yıl), ikinci işletmede bu değer 400 lt/yıl düzeyinde kalmıştır. Oğlak ölümleri, doğum sonrası bakım ve barınak koşulları ile yakından ilişkili bulunmuş; ayrıca işletmelerin devlet desteklerini yetersiz gördükleri belirlenmiştir. Çalışma, Van ilinde Saanen keçisi yetiştiriciliğinin gelişebilmesi için kayıt sistemlerinin güçlendirilmesi, yem üretim ve planlamasının desteklenmesi, teknik danışmanlık hizmetlerinin yaygınlaştırılması ve pazarlama kanallarının etkinleştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Case study, Hayvan besleme, İşletme analizi, Saanen keçisi

Abstract

This study aims to evaluate the current status of Saanen goat farming at the regional level by examining the breeding practices, socioeconomic structures and production performance of two Saanen goat enterprises operating in Van province. Field observations and data collected through a structured 63-item questionnaire were analyzed from farms located in the Muradiye and Gevaş districts. The findings revealed that both enterprises preferred the Saanen breed due to its high milk yield; however, the lack of production records, insufficient feed ration balance and limited technical support resulted in productivity levels below genetic potential. The first enterprise, with a larger herd size and use of compound feed, achieved a relatively higher annual milk yield (500 L/head) compared to the second enterprise (400 L/head). Kid mortality was closely associated with postnatal care and housing conditions and both farmers considered governmental support insufficient. The study concludes that strengthening record keeping systems, supporting feed production and planning, expanding technical advisory services and improving marketing channels are essential for the sustainable development of Saanen goat farming in Van province.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Keywords: Case study, Animal nutrition, Farm analysis, Saanen goat

GİRİŞ

Saanen keçisi, özellikle süt verimi açısından öne çıkan ve dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilen bir süt keçisi ırkıdır. İsviçre'nin Bern Alpleri'ndeki Saanen Vadisi'nden köken alan bu ırk, 19. yüzyıldan itibaren diğer ülkelere ihraç edilmiş ve yerel ırklarla melezlenerek süt verimi yüksek melez hatların oluşmasına katkı sağlamıştır (Gall, 1981; Deniskova et. al. 2020).

Saanen keçileri beyaz ya da açık krem renkte olup, kısa tüylü, derin gövdeli ve iri cüsseli yapılarıyla tanınır. Yüksek süt verim kapasitesi nedeniyle ticari süt üretimi yapan işletmelerde tercih edilmektedir. Yetişkin dişiler genellikle 60–70 kg ağırlığa ulaşabilirken, erkeklerde bu değer 75–90 kg'a kadar çıkabilmektedir. Bu ırkın en belirgin özelliği, laktasyon dönemi boyunca yüksek miktarda süt üretmesidir. İyi bakım ve besleme koşullarında yıllık süt verimi 700-1000 litre arasında değişebilir; bazı üstün bireylerde bu miktar 1200 litreyi aşabilmektedir. Ancak süt yağ oranı genellikle %3,0–3,5 civarındadır; bu oran bazı yerli keçi ırklarına göre düşüktür. Bu nedenle Saanen keçisinin sütü daha çok içme sütü veya fermente süt ürünleri üretiminde değerlendirilir (Dubeuf et al., 2004; Haenlein, 2004; Mawussi et. al. 2004; Morand-Fehr et al., 2007; Varlyakov et. al., 2018).

Ana vatanı olan İsviçre'de Saanen keçilerinin ortalama yıllık süt verimi 700–1000 litre civarındadır. Ancak genetik seleksiyon ve gelişmiş bakım koşullarının sağlandığı Fransa ve Hollanda gibi Batı Avrupa ülkelerinde bu rakam 1200–1500 litreye kadar çıkabilmektedir. Fransa'daki bazı elit sürülerde bireysel bazda 1800 litreyi aşan yıllık süt verimi bildirilmiştir. Yeni Zelanda ve Avustralya'da ise Saanen keçilerinden elde edilen süt verimi genellikle 800–1200 litre aralığında değişmektedir. Bu ülkelerde damızlık seleksiyon programları ve kontrollü üretim sistemleri sayesinde süt üretiminde önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise Amerikan Saanen hatları yıllık ortalama 900–1300 litre arasında süt verimi göstermektedir; bazı seçilmiş bireylerde 2000 litreye kadar çıkabilen verim değerleri de kayıt altına alınmıştır (Dubeuf et al., 2004; Morand-Fehr et al., 2007; Devendra & Haenlein, 2011; Varlyakov et. al., 2018).

Saanen keçisinin bu geniş coğrafi yayılımı, onun genetik potansiyelinin ve ekonomik değerinin bir göstergesidir. Bununla birlikte, çevresel stres faktörlerine duyarlılığı nedeniyle tropikal ve yarı kurak bölgelerde saf kan yetiştiricilik yerine melezleme yöntemleri daha sürdürülebilir görülmektedir. Bu bağlamda, Saanen keçisinin dünya genelinde kullanımı, hem verimlilik hem de adaptasyon dengesini gözeten stratejik bir planlama gerektirmektedir.

Saanen keçisinin süt verimi, tropikal ve subtropikal bölgelerde genetik potansiyelin altında kalma eğilimindedir. Örneğin Hindistan, Brezilya, Kenya ve Pakistan gibi ülkelerde saf kan Saanen keçilerinden yıllık ortalama 500–800 litre süt alınabildiği bildirilmiştir. Bu fark, çoğunlukla sıcaklık stresi, yetersiz yem kalitesi ve yaygın hastalık yükünden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bu bölgelerde Saanen keçisi çoğunlukla yerli ırklarla melezlenerek süt verimi ile çevresel adaptasyon arasında denge kurulmaya çalışılmaktadır (Devendra & Burns, 1983; Ojango et al., 2006; de Souza et al., 2013; Souza et al., 2015; Vasconcelos et al., 2019). Saanen keçileri çevre koşullarına karşı duyarlı olduklarından serin ve ılıman iklim koşullarını tercih ederler ve aşırı sıcaklık stresine karşı hassasiyet gösterebilirler. Bu nedenle tropik ve yarı kurak bölgelerde yetiştirilmeleri, genetik ıslah programları ve uygun yönetim stratejileri ile desteklenmelidir (Souza et al. 2015; Gore et al., 2020; Lima et al., 2022).

Türkiye'de de özellikle Marmara ve Karadeniz bölgelerinde yetiştirilmektedir; ayrıca yerli ırklarla yapılan melezleme çalışmaları sayesinde süt verimi yüksek adaptif hatlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Ege ve Marmara bölgelerinde saf veya melezleri uygun bakım koşullarında 700–900 litre/yıl aralığında süt verimi sağlanabilmektedir. Batı Anadolu'da yapılan melezleme çalışmalarında, Saanen x Kıl keçisi melezlerinde 600 litrenin üzerinde yıllık süt verimi bildirilmiştir. Marmara Bölgesi

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Saanen keçisi için uygun iklim koşullarına sahiptir. Balıkesir, Bursa ve Çanakkale illerinde özellikle Saanen x Kıl keçisi melezleriyle yapılan üretimler dikkat çekmektedir. Bu melezler, hem verim hem de adaptasyon özellikleri açısından avantaj sağladığı için, bölgeye özgü melez hatların geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir (Şimşek, 2005; Kaymakçı & Engindeniz, 2010; Akar, 2013; Dincel et al., 2019; Gökdal et al., 2020; Kaygısız et al., 2024).

İç Anadolu ve Karadeniz bölgelerinde ise Saanen keçisinin yayılımı daha sınırlıdır. İç Anadolu'da Saanen keçileri çoğunlukla kontrollü çiftlik koşullarında saf kan olarak değil, yerli ırklarla melezlenerek yetiştirilmektedir. Karadeniz Bölgesi'nde ise nemli iklim koşulları ve dik yamaçlı arazi yapısı, yaygın sürü yönetimini zorlaştırdığı için daha az tercih edilmektedir (Yaralı et. al. 2018; Tüfekçi, 2012).

Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde Saanen keçisi yetiştiriciliği oldukça sınırlıdır. Bu bölgelerde kırsal yaşamın zorlukları, yüksek sıcaklık stresi ve yem kaynaklarının kısıtlı olması nedeniyle, Saanen gibi iklim hassasiyeti yüksek ırkların adaptasyonu sorunludur. Ancak bazı devlet destekli projeler kapsamında, melezleme yoluyla süt verimi artırılmış hatların bu bölgelerde test edildiği bilinmektedir (Ceyhan, & Karadağ, 2009; Kaygısız et al., 2024).

Sonuç olarak, Saanen keçisi süt yönlü verimliliği ile dünya genelinde kabul gören bir ırktır. Ancak iklimsel adaptasyon, hastalıklara duyarlılık ve bakım-besleme ihtiyaçları gibi faktörler, yetiştiricilik başarılarını doğrudan etkilemektedir. Saanen keçisinin potansiyel veriminin tam olarak ortaya çıkması çevresel ve yönetsel faktörlerin optimizasyonuna bağlıdır. Bu nedenle bölgesel düzeyde ıslah programları, yemleme stratejileri, bakım ve barınak koşulları süt veriminin artırılmasında kritik rol oynamaktadır. Bu bağlamda, uygun çevresel koşullar ve iyi yönetim uygulamaları ile Saanen keçileri, sürdürülebilir keçi yetiştiriciliği açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır. Ancak bu koşulların sağlanmadığı durumlarda Saanen keçisinden beklenen verim alınamamaktadır.

Dünya Genelinde Saanen Keçisi Yetiştiriciliği

Saanen keçisi başta Avrupa ülkeleri olmak üzere Kuzey Amerika, Latin Amerika, Avustralya ve Çin gibi farklı iklim ve coğrafi koşullara sahip birçok ülkede adapte edilerek yetiştirilmektedir. Fransa, İtalya ve Almanya gibi ülkelerde modern süt keçiciliği işletmelerinin temel sütçü ırkı olan Saanen, genetik seleksiyon programları ve kayıt sistemlerinin etkin kullanımı sayesinde yüksek verim potansiyelini korumaktadır. Özellikle Fransa'da Lacaune ve Alpine ile birlikte yetiştirilen Saanen keçileri, yüksek hijyen ve teknolojiye dayalı sistemlerde sağım robotlarıyla birlikte değerlendirilmektedir. ABD'de ise American Dairy Goat Association gibi kuruluşlar sayesinde ırk standardizasyonu, verim kayıtları ve soy kütüğü takibi titizlikle yürütülmektedir. Ayrıca, Avustralya ve Yeni Zelanda gibi ülkelerde de Saanen keçileri melezleme programlarında kullanılmakta, yerli koşullara daha uygun bireyler elde edilmektedir. Çin gibi gelişmekte olan ülkelerde ise Saanen genotipi yerli keçilerle melezlenerek süt veriminin artırılması hedeflenmektedir (Morand-Fehr & Lebbie, 2004; Capote, 2015; Morales et al., 2019; ADGA, 2020; Rout, & Behera, 2021;Teissier et al., 2024).

Türkiye'de Saanen Keçisi Yetiştiriciliği

Türkiye'de Saanen keçisi yetiştiriciliği özellikle 2000'li yıllardan itibaren ivme kazanmış, Batı Anadolu başta olmak üzere farklı bölgelerde yaygınlaşmıştır. En yoğun yetiştiricilik faaliyetleri Balıkesir, İzmir, Aydın, Manisa, Afyonkarahisar ve Çanakkale illerinde görülmektedir. Türkiye'deki Saanen keçileri, genellikle İsviçre orijinli damızlıkların ithali ya da melezleme yoluyla elde edilmiştir. Bu bağlamda, özellikle Kıl keçisiyle yapılan melezlemeler sonucu elde edilen Saanen melezleri, hem süt verimi hem de çevre adaptasyonu açısından tercih edilmektedir (Koyuncu & Pala, 2008, Koşum et al., 2016; Kandemir, 2018; Erduran, 2021).

Ancak Türkiye'deki Saanen yetiştiriciliği, dünya standartlarına kıyasla bazı kısıtlarla karşı karşıyadır. Bunların başında kayıt sistemlerinin yetersizliği, hayvan refahı standartlarının eksik uygulanması, yem temininde süreklilik problemleri ve yüksek kaliteli damızlık materyal eksikliği gelmektedir. Öte yandan, bazı kooperatifler ve özel işletmeler aracılığıyla modern sağım sistemleri

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

kurulmuş, sürü sağlığı ve verim takibi gibi uygulamalar yaygınlaştırılmaya çalışılmıştır. Yine de genel anlamda küçük aile işletmelerine dayalı üretim yapısının baskın olduğu görülmektedir (Kesenkaş et al., 2010; Özkaya et al. 2017; Gökdai & Sakarya, 2020; Tölü, 2023). Saanen keçilerinin süt verimi ve bazı yetiştirme kriterlerine ait karşılaştırmalı değerlendirme Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Karşılaştırmalı değerlendirme

Kriter	Dünya Geneli (örn. Fransa, ABD)	Türkiye
Süt Verimi (yıllık)	800–1.500+ litre	400–800 litre (saf ve melez)
Kayıt Sistemi	Kapsamlı (ADGA, INRA vb.)	Sınırlı / yerel düzeyde
Yetiştirme Yapısı	Büyük ölçekli, teknoloji destekli çiftlikler	Aile tipi küçük işletmeler, bazı büyük çiftlikler
Adaptasyon	Seçim programlarıyla iklime uygun bireyler	Melezlemeyle yerli koşullara adaptasyon
Destek ve Teşvik	Devlet destekli ıslah programları	Kırsal kalkınma destekleriyle sınırlı

Sunulan bu çalışmada incelenen 2 Saanen keçi işletmesi ve Türkiye'de ki Saanen işletmelerinin keçi varlığına ilişkin değerler Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Türkiye ve Van ilindeki keçi varlığı (TÜİK, 2024) ile Van ilindeki Saanen keçi sayısı (Bu çalışmanın verisi).

	Keçi	Saanen	Toplam
Türkiye	10 822 084	?	-
Van	333 392	153	333 546
%	3,081	?	-

2024 yılında Türkiye'deki keçi sayısı 10 822 084, Van ilindeki keçi sayısı ise 333 392 olarak verilmektedir (TÜİK, 2024). Türkiye'de Saanen keçilerine ait genel bir kayıt havuzu olmadığından kaç tane saf Saanen keçisi bulunduğunu kesin olarak söylemek mümkün değildir. Ancak mevcut genel veriler ve sektörel bilgiler "saf Saanen" bireylerin toplam keçi varlığı içinde **çok düşük bir oran oluşturduğunu,** büyük çoğunlukla **melez Saanen** bireylerinin bulunduğunu gösteriyor. Türkiye'de **DAKBİS (Damızlık Koyun-Keçi Islah Bilgi Sistemi)** üzerinde yapılan aramalarda, **ırk bazında "saf Saanen keçisi" sayısını açıkça gösteren herhangi bir kamuya açık istatistik** de bulunmamaktadır.

MATERYAL VE METOT

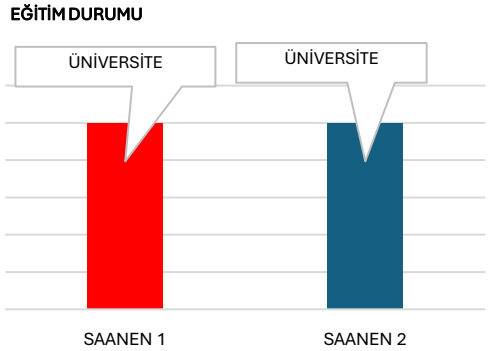
Bu çalışma, Van ili Muradiye ve Gevaş ilçelerinde Saanen keçisi yetiştiriciliği yapan iki işletmede yürütülen tanımlayıcı nitel bir saha araştırması niteliğindedir (FAO, 2012; Yin, 2018). Çalışmada, gözlem tabanlı vaka çalışması yaklaşımı benimsenmiş ve 63 soruluk yapılandırılmış anket formu ile yetiştiricilerin demografik yapısı, barınak ve besleme uygulamaları ile verim unsurları değerlendirilmiştir. Veriler, nitel ve nicel olarak çözümlenmiş; doğrudan saha bilgilerine dayalı olarak durum tespiti yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Van ilinde Saanen keçi yetiştiriciliği yapan iki işletmenin durum tespitlerinin yapılmasıdır. Van'da ki saf Saanen keçilerine ait görsel Şekil 1'de sunulmuştur.

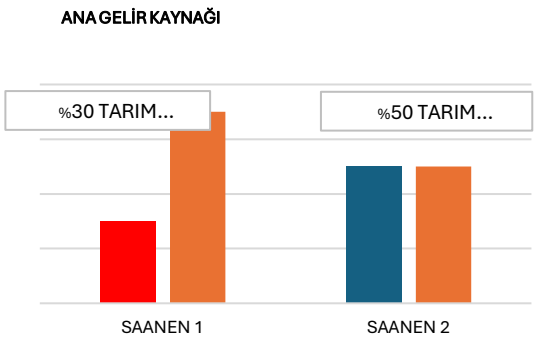
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Şekil 1. Van'da Saanen keçi yetiştiriciliği yapan işletmeden alınan saf kan Saanen keçileri

BULGULAR



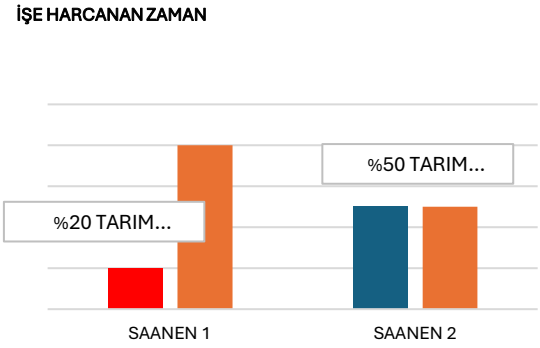
Şekil 2. Eğitim durumu



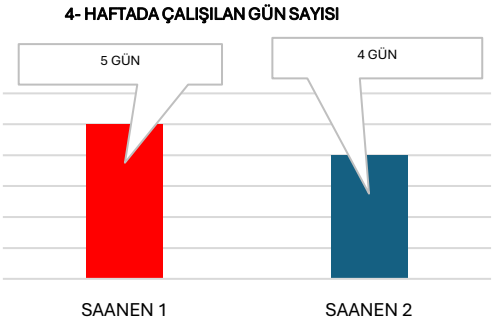
Şekil 3. Ana gelir kaynağı

Her iki işletmenin sahipleri üniversite mezunu olup birinci işletmenin tarım dışı geliri ikinci işletmeden daha fazladır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

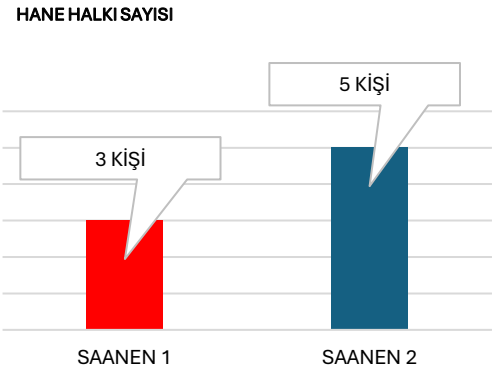


Şekil 4. İşe harcanan zaman

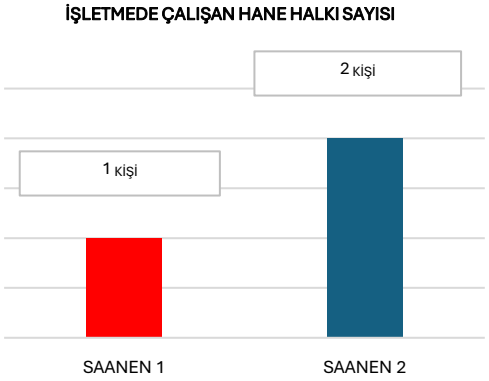


Şekil 5. Haftada çalışılan gün sayısı

Birinci işletmede işe harcanan zaman ikinci işletmeden daha az olmakla birlikte ikinci işletmede çalışılan gün sayısı haftada dört gün olarak belirlenmiştir.

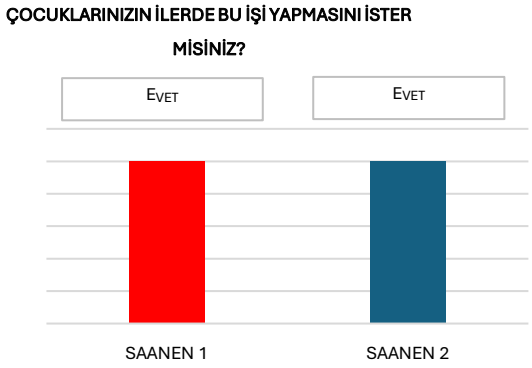


Şekil 6. Hane halkı sayısı

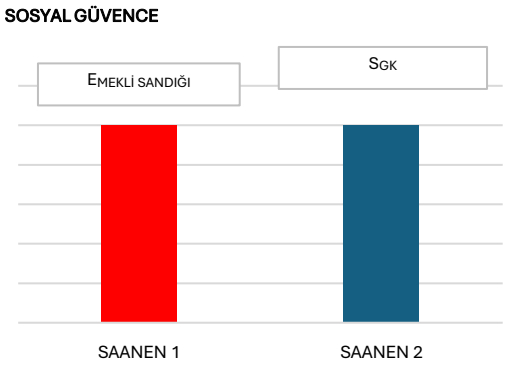


Şekil 7. İşletmede çalışan hane halkı sayısı

Çalışmada birinci işletmede hane halkı sayısı üç, ikinci işletmede beş kişi olarak bulunmuştur. Hane halkından işletmede çalışan sayısı birinci işletmede bir, ikinci işletmede 2 kişidir.



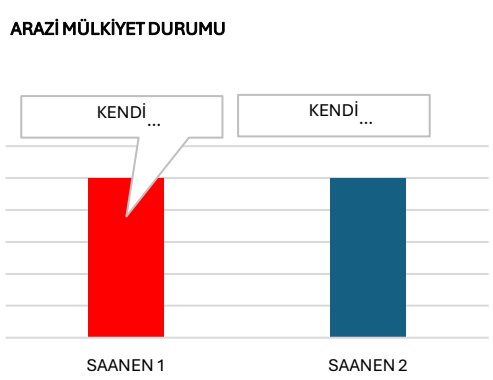
Şekil 8. Çocuklarının işi devam ettirme isteği



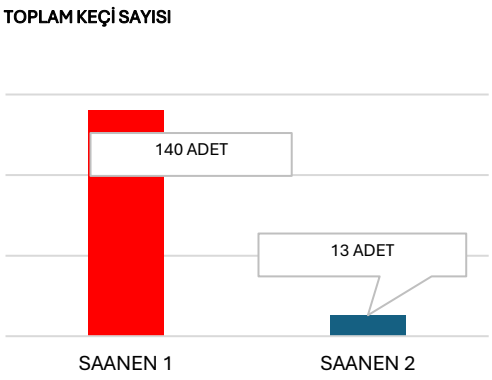
Şekil 9. Sosyal güvence durumu

Her iki işletme sahibi de çocuklarının mevcut işletmenin devamı için bu işte çalışmalarını istediklerini beyan etmişlerdir. Birinci işletme sahibi emekli sandığına üye iken ikinci işletme sahibi SGK'ya bağlı olarak çalışmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

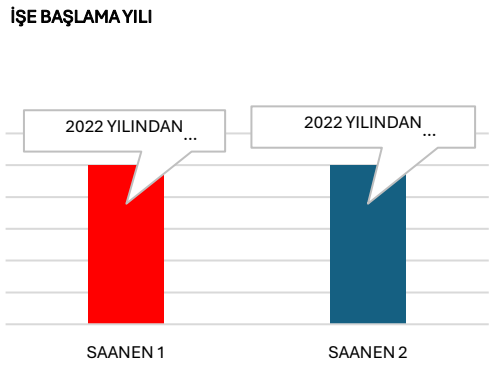


Şekil10. Arazinin mülkiyet durumu

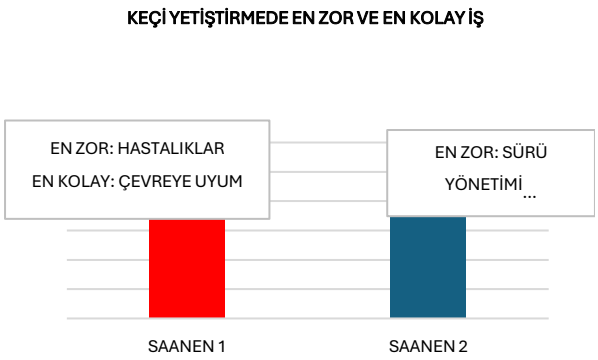


Şekil 11. Toplam keçi sayısı

İşletmelerin kullandıkları arazi kendilerine ait olup toplam keçi sayısı birinci işletmede 140, ikinci işletmede 13 adettir.

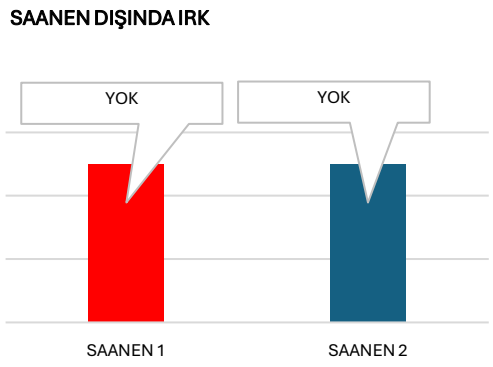


Şekil 12, İşe başlama yılı

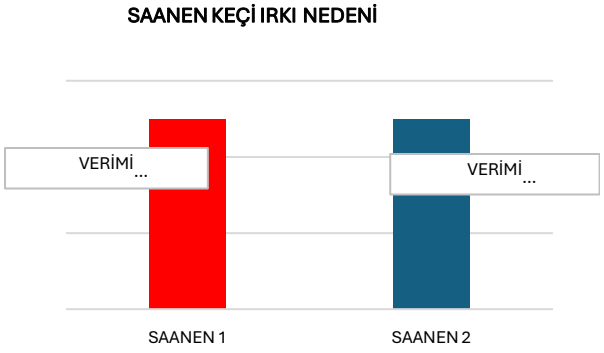


Şekil 13. Keçi yetiştiriciliğinin kolay ve zor yanları

Her iki işletme sahibinin de işe başlama tarihleri 2022 yılıdır. Birinci işletme bakımından en zor olan hastalıklarla mücadele iken ikinci işletme için sürü yönetimidir.



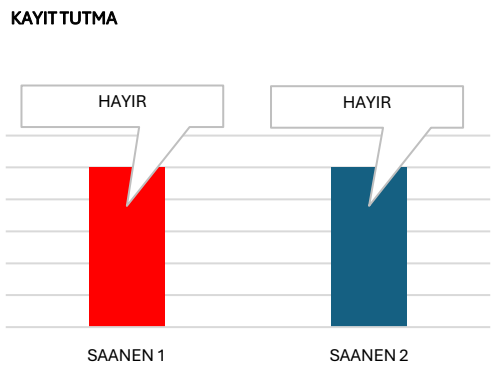
Şekil 14. İşletmedeki farklı ırklar



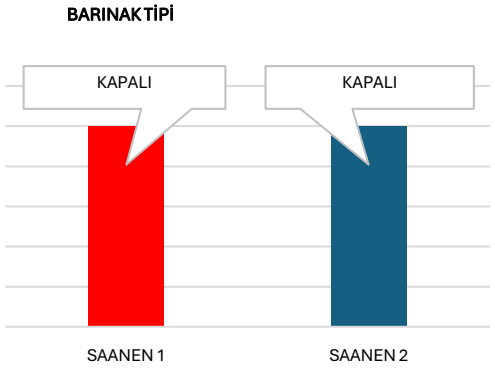
Şekil 15. Sanen seçme nedeni

İşletmelerde Saanen keçi ırkı dışında bir ırk bulunmamakta ve her iki işletme sahibinin bu ırkı seçme nedeni yüksek süt verimi şeklinde ifade edilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

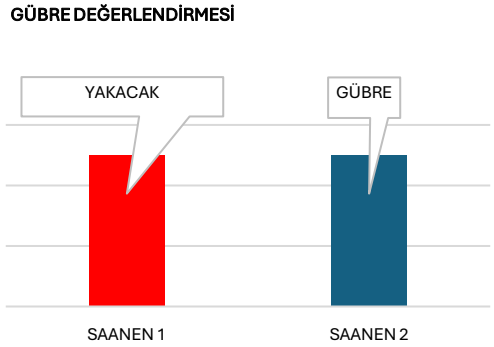


Şekil 16. İşletmede verim kaydı tutuluyor mu?

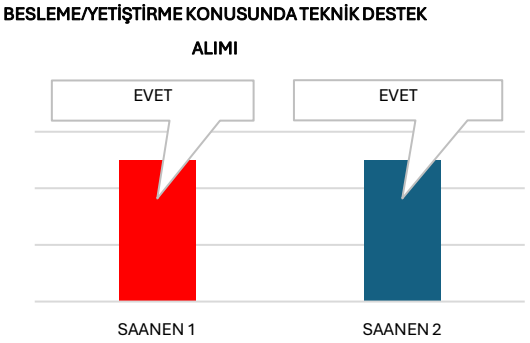


Şekil 17. İşletmedeki barınak tipi

İşletmelerin verim kaydı tutmadığı ve ahır tiplerinin kapalı ahır olduğu görülmektedir.

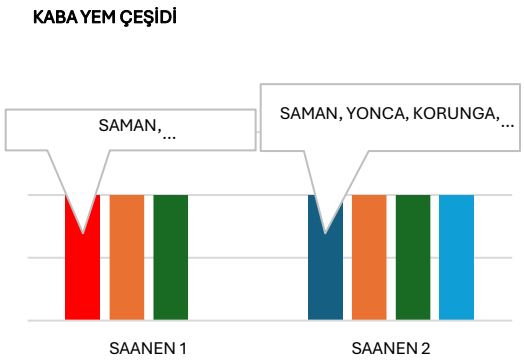


Şekil 18. Dışkı (gübre) değerlendirme şekli

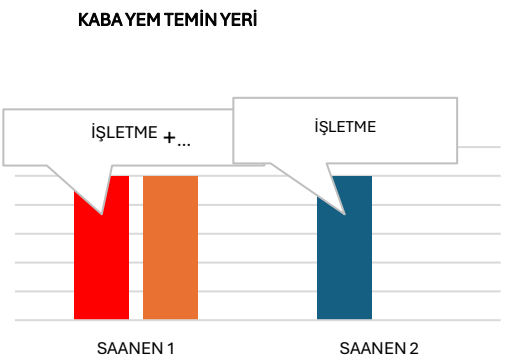


Şekil 19. Teknik destek alımı

Birinci işletmenin dışkı (gübre) değerlendirme şekli yakacak olarak, ikinci işletmenin ise gübre şeklinde olduğu ve hayvan yetiştirme/besleme konularında her iki işletmenin de teknik destek aldığı ifade edilmiştir.



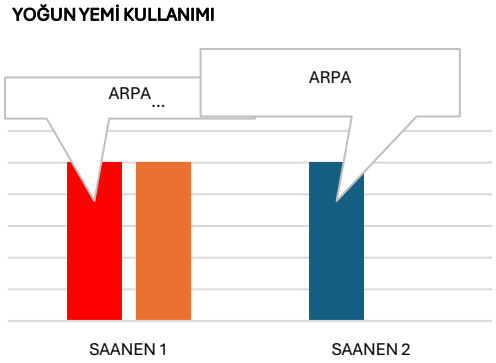
Şekil 20. Kullanılan kaba yem çeşidi



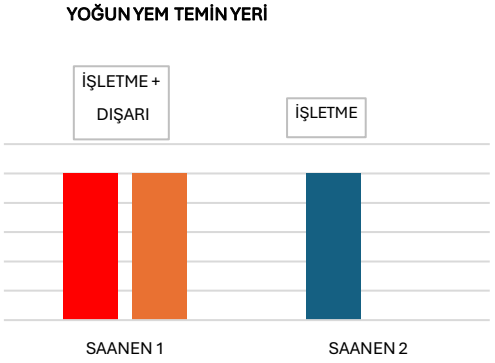
Şekil 21. Kaba yem ihtiyacının karşılandığı yer

Her iki işletmede kaba yem olarak yonca, korunga ve saman kullanılırken ikinci işletmede bunlara ilaveten çayır otu da kullanıldığı; birinci işletmenin kaba yemi kendisi ürettiği gibi bir kısmını da dışarıdan aldığı, ikinci işletmenin ise tüm kaba yemi kendisinin ürettiği ifade edilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

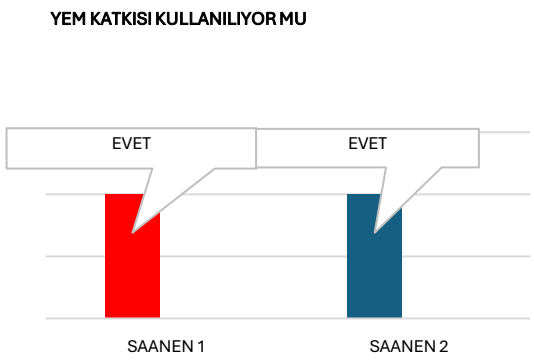


Şekil 22. Kullanılan yoğun yem çeşidi

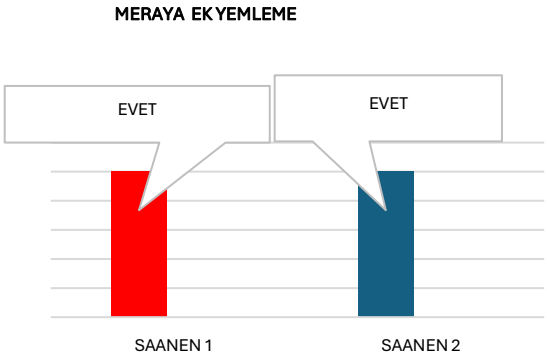


Şekil. 23. Yoğun yem temin yeri

Her iki işletmede yoğun yem olarak arpa kullanılırken birinci işletmede buna ilaveten fabrika yemi (karma yem) de kullanıldığı, birinci işletmenin yoğun yemi kendisi ürettiği gibi bir kısmını da dışarıdan aldığı, ikinci işletmenin ise tüm yoğun yemi kendisinin ürettiği ifade edilmiştir.

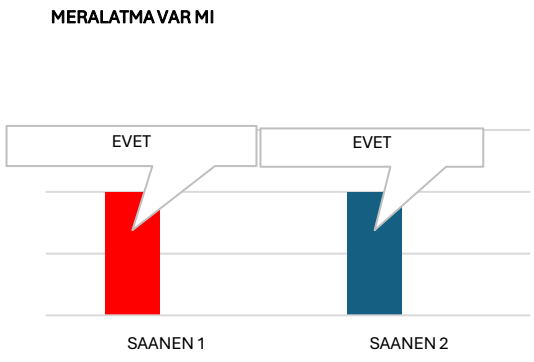


Şekil 24. Yem katkısı kullanılıyor mu?

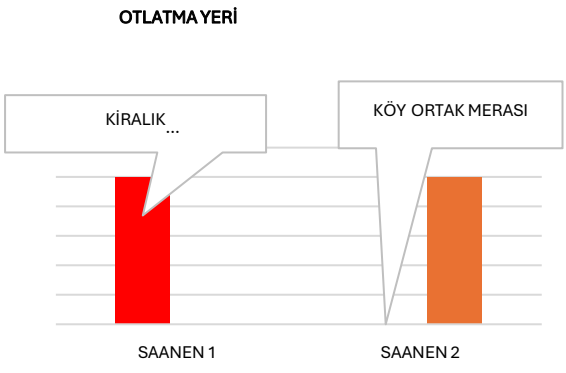


Şekil 25. Meraya ek yemleme yapılıyor mu?

İşletmelerin her ikisinde de yem katkı maddesi kullanıldığı ve mera döneminde de meraya ilaveten ek yemleme yapıldığı bildirilmiştir.



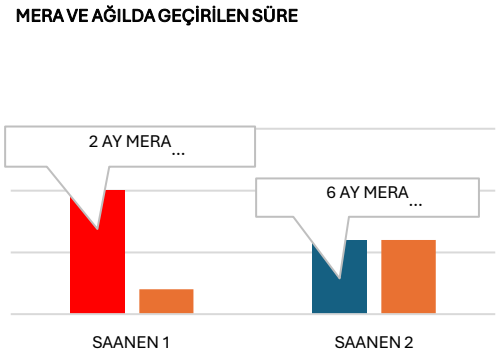
Şekil 26. Hayvanlar meralatılıyor mu?



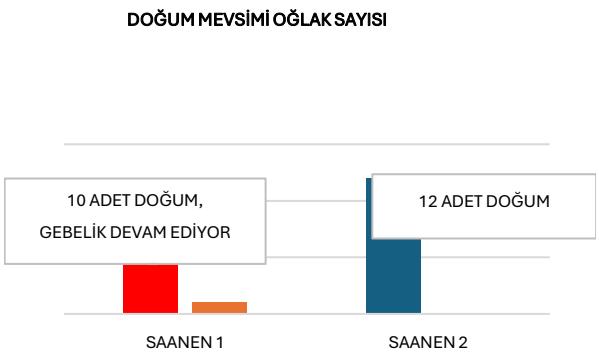
Şekil 27. Hayvanlar nerede otlatılıyor?

Her iki işletme de hayvanlarını mera döneminde meraya çıkarttıklarını; birinci işletmenin kiralık mera kullandığını ikinci işletmenin ise bölgesinde bulunan kiralık olmayan mera kullandığını bildirmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

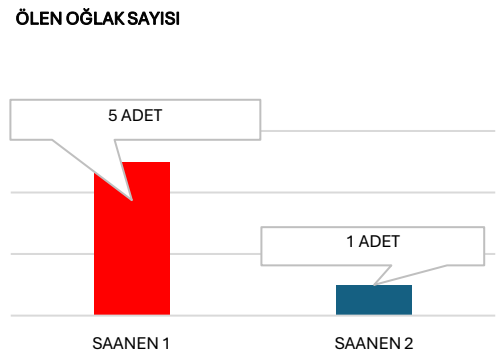


Şekil 28. Mera ve ağılda geçirilen süre

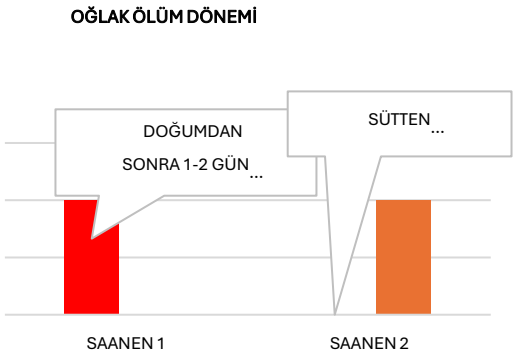


Şekil 29. Doğum mevsimindeki oğlak sayısı (2025)

Birinci işletmede mera kullanımı iki ay olarak bildirilirken, ikinci işletme mera kullanım süresini altı ay olarak bildirmiştir. İşletmelerden ikincisinde anket döneminde doğumları bittiği, birinci işletmede doğumların devam ettiği bildirilmiştir. Buna göre ikinci işletmede 13 hayvandan 12'si doğum yapmış biri ise kısırdır. Birinci işletmede doğumun devam ettiği hayvanları yaklaşık %10'unun doğum yaptığı bildirilmiştir.

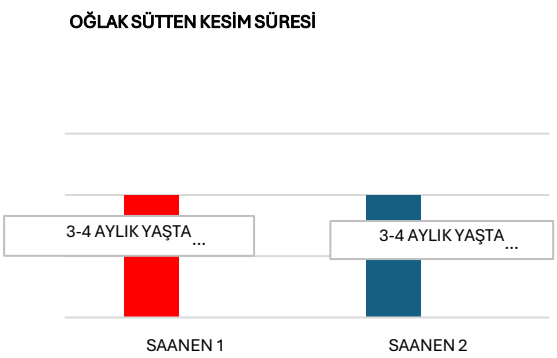


Şekil. 30. Ölen oğlak sayısı (2025)

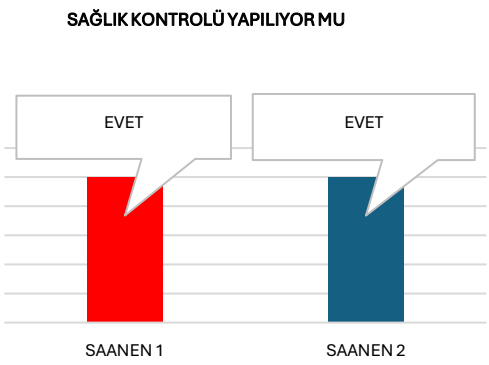


Şekil 31. Oğlak ölüm dönemi

Birinci işletmede doğumun devam ettiği doğum yapan hayvanlardan elde edilen yavruların beşinin öldüğü, ikinci işletmede ise doğumun tamamlandığı ve sadece bir oğlak kaybı olduğu bildirilmiştir. Birinci işletmede oğlak ölümlerinin doğumdan sonra meydana geldiği, ikinci işletmede ise ölümleri sütten kesim döneminde olduğu ifade edilmiştir.



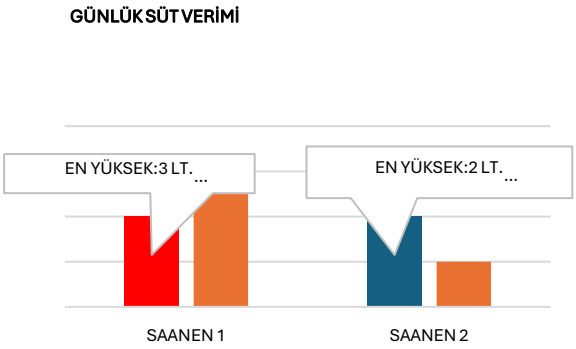
Şekil 32. Oğlak sütten kesim süresi



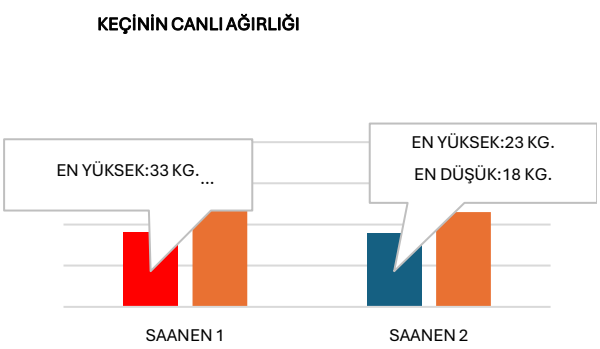
Şekil 33. Sağlık kontrolü yapılıyor mu?

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Her iki işletme de oğlakların sütten kesim yaşını 3-4 aylıkken verirken sağlık kontrollerinin de her iki işletmede yapıldığı ifade edilmiştir.

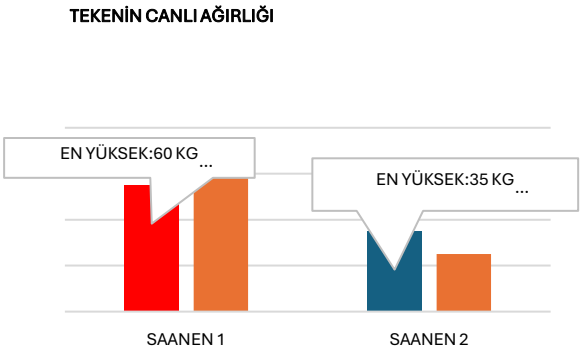


Şekil 34. Keçinin süt verimi (kg)

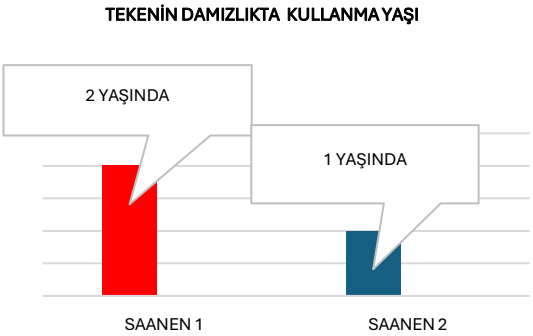


Şekil 35. Keçilerin canlı ağırlığı

Birinci işletmeni günlük süt verimi hayvan başına en düşük 2 lt iken en yüksek 3 lt, ikinci işletmenin ise en düşük 1 lt iken en yüksek 2 lt olarak; keçilerin canlı ağırlıkları ise her iki işletme için en düşük 18 kg en yüksek 33 kg olarak bildirilmiştir.

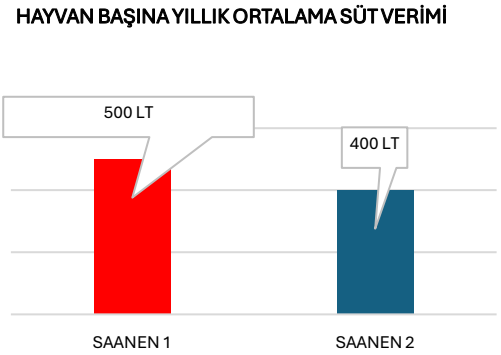


Şekil 36. Tekenin ağırlığı

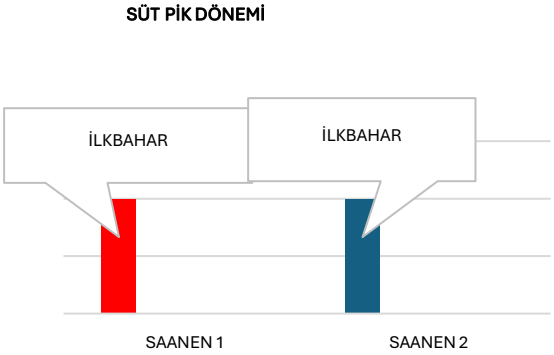


Şekil 37. Tekenin damızlıkta kullanılma yaşı

Tekelerin canlı ağırlıkları en düşük ve en yüksek olmak üzere sırası ile birinci işletme için 55-60 kg, ikinci işletme için 25-35 kg olarak ifade edilmiştir. Tekelerin damızlıkta kullanılma yaşı birinci işletmede 2 yaş, ikinci işletmede 1 yaş olarak ifade edilmiştir.



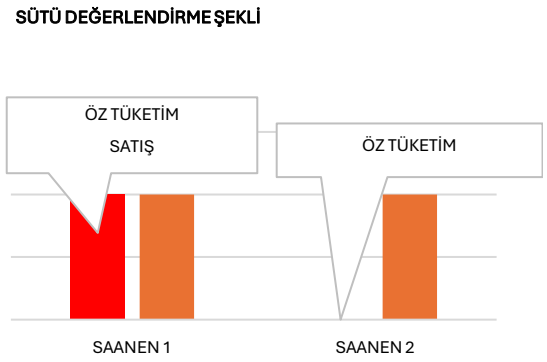
Şekil 38. Hayvan başına yıllık ortalama süt (lt)



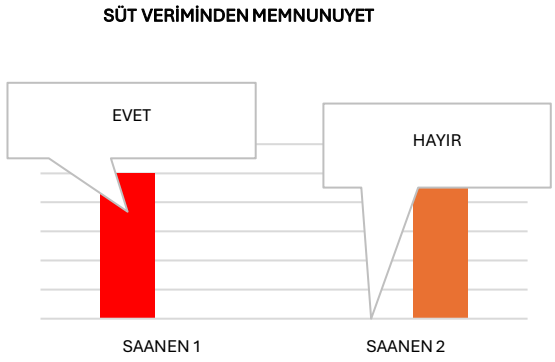
Şekil 39. Hayvanlarda süt pik dönemi

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Hayvan başına yıllık süt verimi birinci işletmede ortalama 500 lt iken ikinci işletmede 400 lt olurken, her iki işletmede sütün pik dönemi ilkbahar olarak belirtilmiştir.

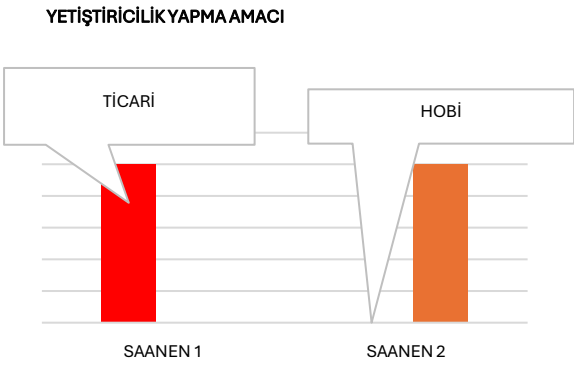


Şekil 40. Süt değerlendirme şekli

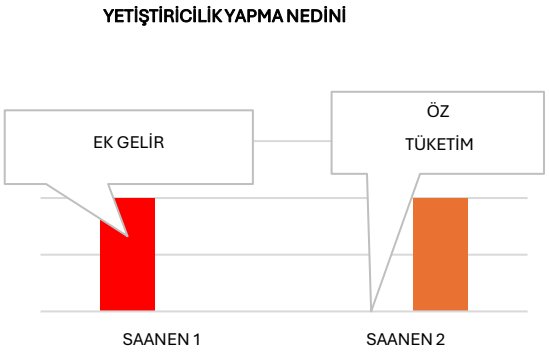


Şekil 41. Süt veriminden memnuniyet

İşletmelerin her ikisinde de süt öz tüketim için kullanılırken, birinci işletmede süt satışı da olduğu; birinci işletme hayvanların süt veriminden memnun iken ikinci işletmenin süt veriminden memnun olmadığı belirtilmiştir.

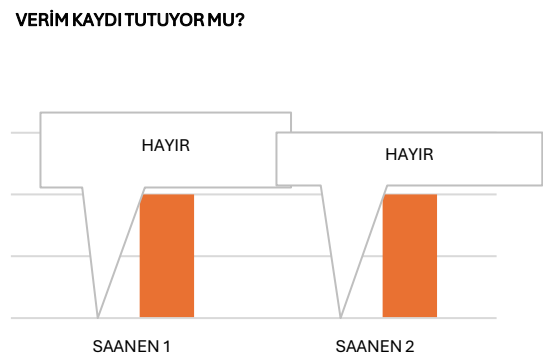


Şekil 42. Yetiştiricilik yapma amacı

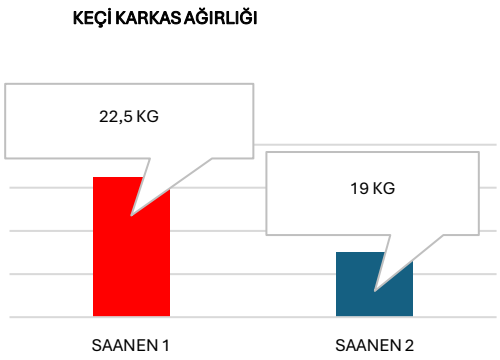


Şekil 43. Yetiştiricilik yapma nedeni

İşletmelerden birincisi Saanen keçi yetiştiriciliğini ticari amaçla ek gelir elde etmek için yaptığını bildirirken, ikinci işlete hobi amaçlı öz tüketim için yaptığını bildirmiştir.



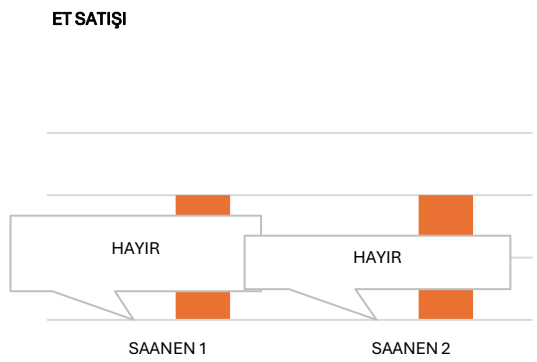
Şekil 44. Verim kaydı tutuluyor mu?



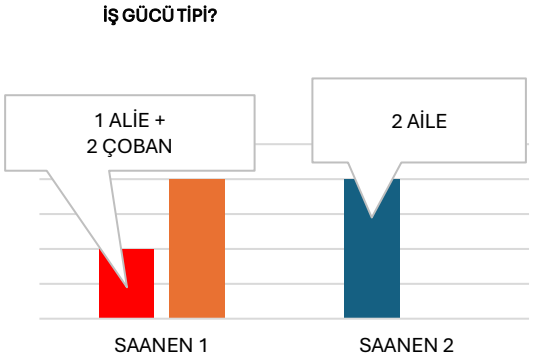
Şekil 45. Keçi karkas ağırlığı

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

İşletmeler verim kaydı tutmadıklarını ifade etseler de keçilerin karkas ağırlıklarını birinci işletme 22,5 kg, ikinci işletme ise 19 kg olarak belirtmiştir.

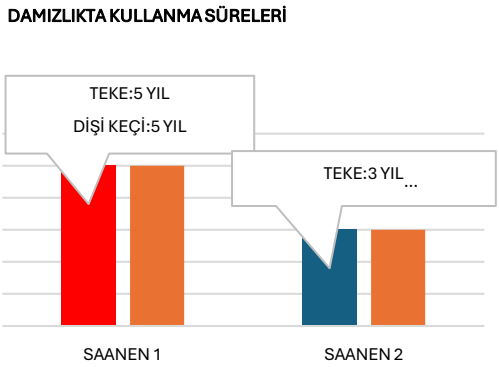


Şekil 46. Et satışı yapılıyor mu

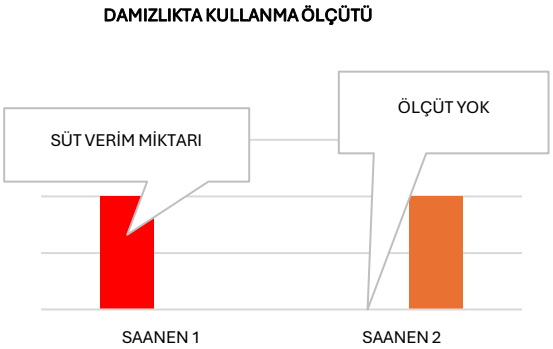


Şekil 47. İş gücü tipi

İşletmelerde et satışı olmadığı bildirilmiştir. Birinci işletmede çalışan sayısı bir aile bireyi iki de çoban olmak üzere üç çalışanının olduğunu, ikinci işletme ise ikisi de aile bireyi olan çalışanının olduğunu bildirmiştir.

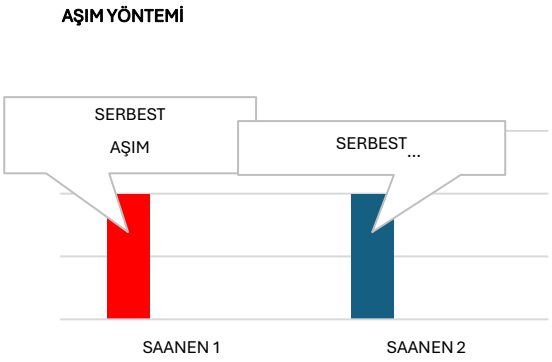


Şekil 48. Damızlıkta tutulma süresi

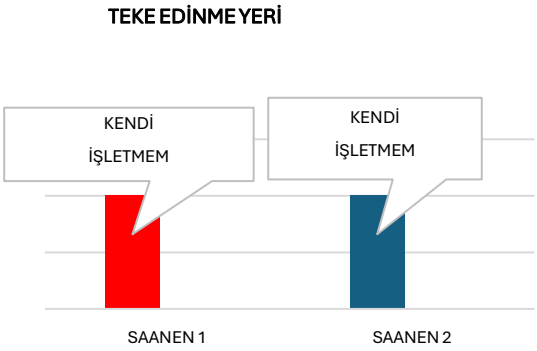


Şekil 49. Damızlıkta kullanma ölçütü

İşletmelerde erkek ve dişilerin damızlıkta tutulma süreleri sırası ile birinci işletmede 5 yıl ikinci işletmede 3 yıl olarak belirtilmiştir. Birinci işletme damızlıkta tutma ölçütünü hayvanın verimi ile ilişkilendirirken ikinci işletme bir kriter kullanmadığını ifade etmiştir.



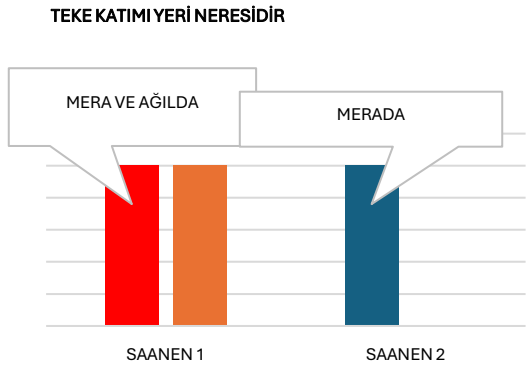
Şekil 50. Aşım yöntemi



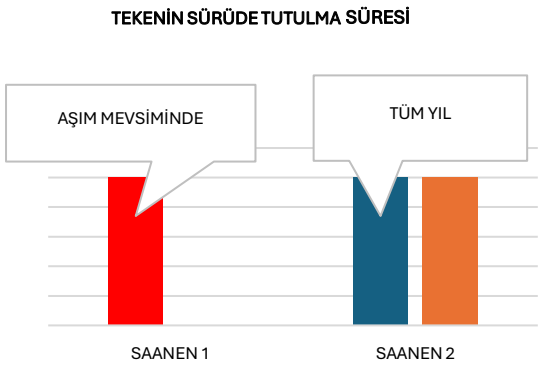
Şekil 51. Teke edinme yeri

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Her iki işletme de aşım yöntemi olarak serbest aşım yöntemini kullanırken damızlıklarını kendi işletmelerinden karşıladıklarını bildirmişlerdir.

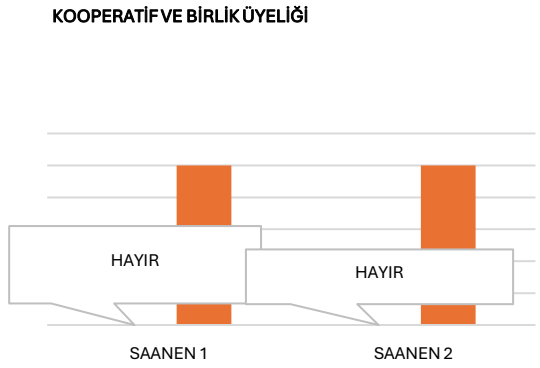


Şekil 52. Teke katım yeri

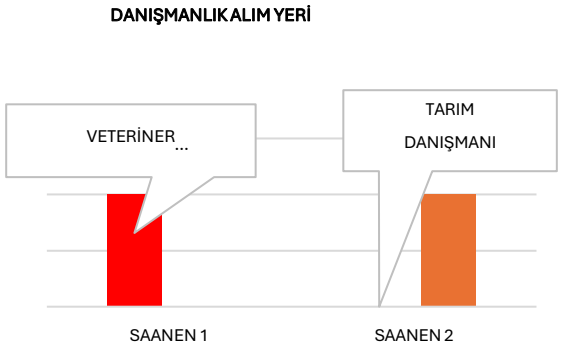


Şekil 53. Tekenin sürüde tutulma süresi

Birinci işletme teke katımını hem mera hem de ağılda olarak belirtirken ikinci işletme teke katımını merada yaptığını bildirmiştir. Diğer yandan birinci işletmede teke katımı aşım mevsimi ile sınırlıyken, ikinci işletmede tekenin tüm yıl sürü içerisinde bulunduğu bildirilmiştir.

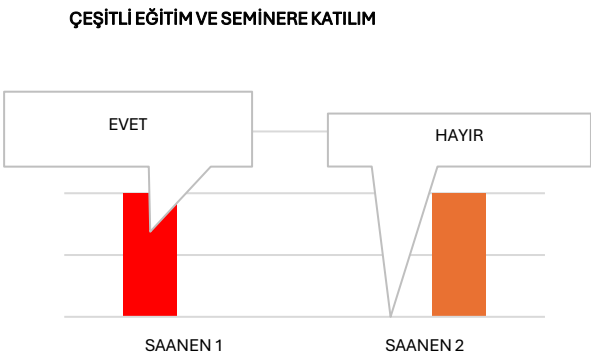


Şekil 54. Kooperatif veya birlik üyeliği

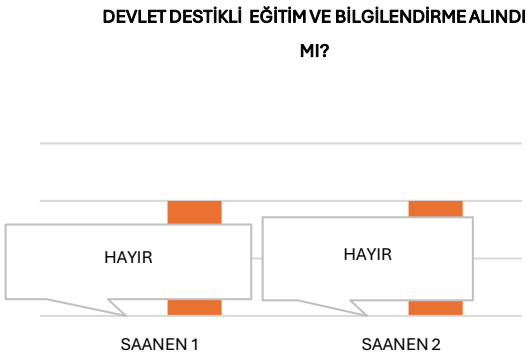


Şekil 55. Danışmanlık alım yeri

Her iki işletme de herhangi bir kooperatif veya birlik üyesi olmadığını belirtmiştir. Yetiştirme ve besleme konularında ise birinci işletme veteriner hekimlerden bilgi aldığını, ikinci işletme bu bilgileri tarım danışmanından (ziraat mühendisi/zooteknist) aldıklarını ifade etmişlerdir.



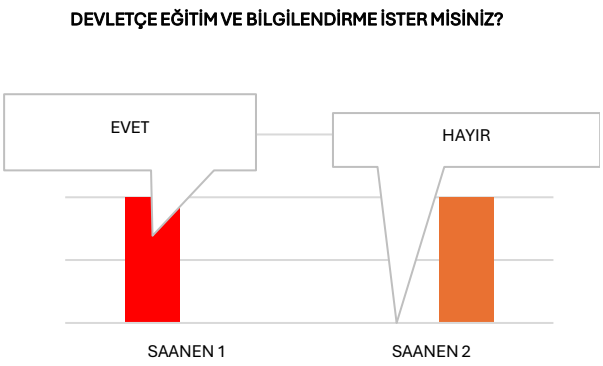
Şekil 56. Eğitim ve seminer katılım durumu



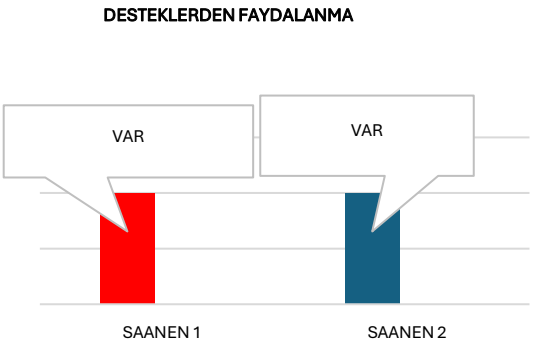
Şekil 57. Devlet destekli bilgilendirme alındı mı?

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Birinci işletme hayvancılık konusunda çeşitli seminer ve eğitimlere katıldığını bildirirken, ikinci işletme eğitim ve seminer katılımı gerçekleştirmediğini bildirmiştir. Her iki işletme de devlet destekli bir eğitim almadıklarını ifade etmişlerdir.

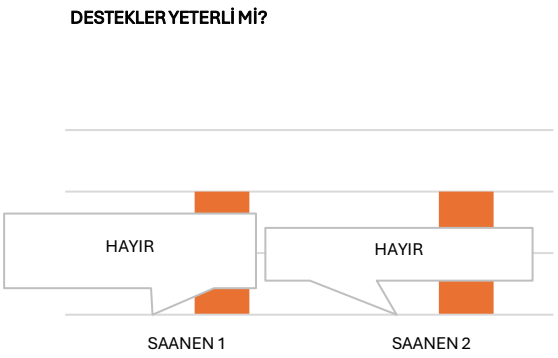


Şekil 58. Üreticinin eğitim ve bilgi talebi var mı?

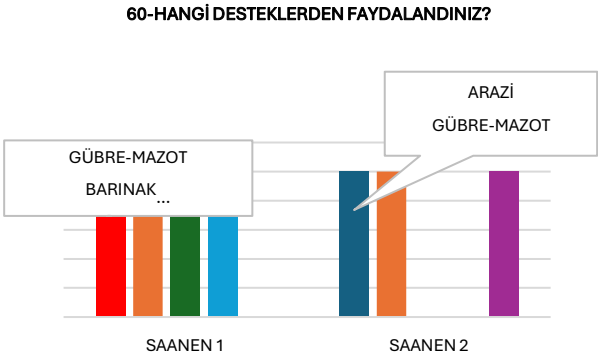


Şekil 59. Desteklerden faydalanma

Birinci işletme yetiştirme ve besleme konusunda ilgili kişi ve kuruluşlardan eğitim ve bilgi talebinin olduğunu bildirirken ikinci işletmenin böyle bir talebinin olmadığını ifade etmiştir. Her iki işletme de devletin verdiği desteklerden yararlandıklarını ifade etmiştir.

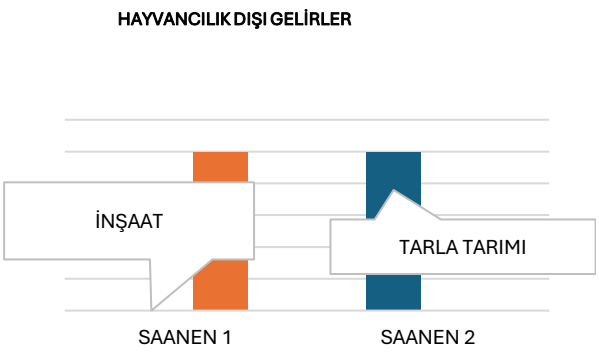


Şekil 60. Destek yeterli görülüyor mu?

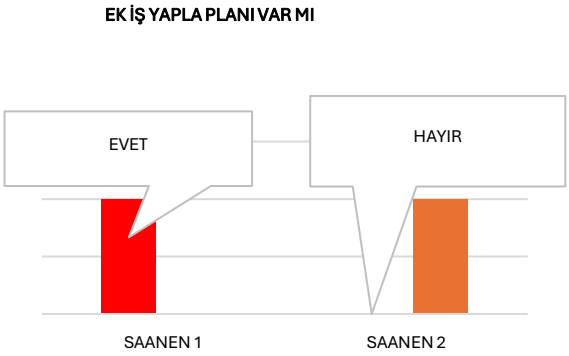


Şekil 61. Faydalanılan destek türleri

İşletmelerin her ikisi de devlet desteklerinin yetersiz olduğunu bildirirken, birinci işleteme; gübre, mazot, barınak ve alet-ekipman desteği, ikinci işletme ise gübre, mazot ve arazi desteği aldığını bildirmiştir.



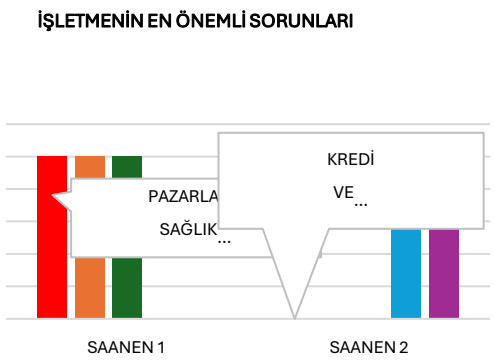
Şekil 62. Hayvancılık dışı gelirler



Şekil 63. Ek iş yapma planı var mı?

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

İşletmelerden birincisinin hayvancılık dışında inşaat işlerinden, ikincisinin ise tarla tarımından gelirlerinin olduğunu bildirirken birinci işletme hayvancılık, inşaat dışında başka bir işe (ek iş) girme planının olduğunu, ikinci işletmenin ise mevcut işlerinden başka bir ek iş yapma planının olmadığını bildirmiştir.



Şekil 64. İşletmenin en önemli sorunları

İşletmelerin faaliyet sırasında karşılaştıkları en önemli sorunları şöyle ifade etmişlerdir: Birinci işletme pazarlama, hayvan sağlığı ve yem/besleme; ikinci işletme ise kredi ve desteklemelerin kendileri için en önemli sorun olduğunu bildirmiştir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada incelenen iki farklı Saanen keçisi işletmesi, Türkiye'de küçük ölçekli süt keçiciliği üretim modellerinin farklı üretim hedefleri, yönetim uygulamaları, yemleme stratejileri, teknik bilgiye erişim düzeyleri ve üretim sonuçları bakımından ne kadar çeşitli olabileceğini göstermektedir. Bulgular, Türkiye'de Saanen keçisi yetiştiriciliğinin mevcut potansiyelinin altında kaldığını ve üretici profili, bakım koşulları ve organizasyon yapısının verimlilik üzerinde önemli rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Her iki işletme de Saanen keçisini yüksek süt verimi nedeniyle tercih ettiğini belirtmiş, ancak verim kayıtlarının tutulmaması, hayvan performansının izlenememesine neden olmuştur. Bu durum, literatürde Türkiye'deki küçük işletmelerin çoğunda gözlenen sistematik kayıt eksikliği ile uyumludur (Yılmaz et al., 2013). Verim kaydı eksikliği sadece genetik seleksiyonun yapılamamasına değil, işletme içi verim analizlerinin de yapılamamasına neden olmaktadır (Yılmaz et al., 2013).

İşletmeler arasında süt verimi açısından da belirgin farklar gözlenmiştir. Birinci işletmede hayvan başına yıllık ortalama süt verimi 500 litre iken, ikinci işletmede bu değer 400 litre olarak belirlenmiştir. Bu verimler, Haenlein (2004) tarafından bildirilen 700–1000 litrelik genetik potansiyele göre oldukça düşüktür. Ayrıca, birinci işletmede günlük süt verimi 2–3 litre aralığında iken, ikinci işletmede 1–2 litreye kadar düşmektedir. Bu fark, yemleme düzeyi, işletme ölçeği ve teknik bilginin kullanımı gibi çok sayıda faktöre bağlı olabilir. Örneğin birinci işletme karma yem ve fabrika yemi kullanırken, ikinci işletme yalnızca arpa ile yoğun yemleme yapmakta ve dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla tüm yemini kendisi üretmektedir. Ancak bu uygulamanın rasyon dengesini etkileyerek süt verimini sınırladığı düşünülmektedir (Dinçel 2019; Gökdai & Sakarya, 2020; Khaskheli et al., 2020).

İşletmelerin ölçek farkı da verimlilik üzerinde belirleyici olmuştur. Birinci işletmede 140, ikinci işletmede sadece 13 keçi bulunmaktadır. Ayrıca birinci işletmede iki çoban ve bir aile bireyinden oluşan üç kişilik bir iş gücü varken, ikinci işletmede sadece iki aile bireyi çalışmaktadır. Bu fark, birinci işletmenin daha profesyonel ve ticari amaçlı üretim yaptığını; ikinci işletmenin ise hobi amaçlı ve öz

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

tüketime yönelik üretim gerçekleştirdiğini göstermektedir. Dolayısıyla işletme ölçeği ve iş gücü planlaması, Saanen keçilerinden alınan ekonomik verimliliği doğrudan etkilemektedir.

Doğum oranları ve oğlak kayıpları da işletmelerin bakım-yönetim düzeylerini yansıtmaktadır. İkinci işletmede 13 hayvandan 12'si doğum yapmış ve sadece bir oğlak kaybı yaşanmıştır. Buna karşın, birinci işletmede doğumlar henüz tamamlanmamış olmakla birlikte yalnızca %10 oranında doğum gerçekleşmiş ve beş oğlak ölümü rapor edilmiştir. Ayrıca, oğlak ölümleri ikinci işletmede sütten kesim döneminde; birinci işletmede ise doğum sonrası dönemde meydana gelmiştir. Bu bulgu, doğum sonrası bakım uygulamaları ve barınak koşullarının yetersizliğini düşündürmektedir. Literatürde, doğum sonrası dönemin hijyen, beslenme ve stres açısından en hassas dönem olduğu ve oğlak sağ kalımını doğrudan etkilediği belirtilmektedir (Atag, 2022; El-Raghi et al., 2022).

İşletmelerin üreme yönetimi incelendiğinde her ikisinde de serbest aşım yönteminin kullanıldığı, damızlık teke kullanım yaşının birinci işletmede 2 yıl, ikinci işletmede ise 1 yıl olduğu görülmüştür. Damızlıkta tutma kriteri açısından da birinci işletme verim odaklı seçim yaparken, ikinci işletme herhangi bir kriter kullanmamaktadır. Bu farklılık, hayvan materyalinin kalitesinin zamanla nasıl yönlendirileceğini belirleyen önemli bir göstergedir. Literatür, damızlık seçiminde üretim verilerine dayalı kararların genetik ilerlemenin temelini oluşturduğunu vurgulamaktadır (Kandemir, 2018; Gipson, 2019; Garip & Arslan, 2021; Tesema et al., 2025).

Canlı ağırlık değerlerine bakıldığında, her iki işletmede dişi keçilerin 18–33 kg, tekelerin ise 25–60 kg arasında değiştiği görülmektedir. Teke ağırlıklarının ikinci işletmede daha düşük olması, genç yaşta damızlıkta kullanılmalarına ve belki de yeterli besleme sağlanmamasına bağlı olabilir. Karkas ağırlıklarının sırasıyla 22,5 kg ve 19 kg olması ise verim düzeyine paralel bir sonuçtur (Pesmen, & Yardimci, 2008). İşletmelerin çoğu yapısal unsurda da farklılaştığı gözlenmiştir. Birinci işletmede kiralık mera kullanımı sadece iki ayla sınırlı kalırken, ikinci işletme altı aylık bir mera döneminden yararlanmaktadır. Aynı zamanda, birinci işletme süt satışına yönelmişken, ikinci işletme yalnızca öz tüketim yapmaktadır. Bu bulgular, iklimsel ve coğrafi farklılıkların meraya dayalı yetiştiriciliği etkilediğini ve süt pazarına erişimin işletmenin hedefini şekillendirdiğini ortaya koymaktadır (Yılmaz & Altınel, 2014).

Eğitim ve teknik destek boyutunda da iki işletme arasında belirgin farklar bulunmaktadır. Birinci işletme veteriner hekimlerden düzenli olarak bilgi alırken, ikinci işletme ziraat mühendislerinden danışmanlık almakta ancak eğitim seminerlerine katılmamaktadır. Her iki işletme de devlet desteklerinden yararlanmakla birlikte bu destekleri yetersiz bulmuştur. Özellikle birinci işletme pazarlama, hayvan sağlığı ve yem temini gibi konuları başlıca sorunlar olarak belirtmiştir. Bu durum, kırsal üreticilerin yapısal destek ihtiyacının devam ettiğini ve politika yapıcıların bu talepleri göz önünde bulundurarak üretim sistemlerine daha hedefli müdahalelerde bulunması gerektiğini göstermektedir (Acosta, 2018).

Bu çalışma, Türkiye'de farklı ölçek ve amaçlarla faaliyet gösteren iki Saanen keçisi işletmesi üzerinden, Saanen keçisi yetiştiriciliğinin pratikte nasıl yürütüldüğünü ve karşılaşılan yapısal sorunları gözler önüne sermektedir. Elde edilen bulgular, hem üretim kapasitesi hem de organizasyonel yapı bakımından işletmeler arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır.

Her iki işletme de Saanen keçisini yüksek süt verimi nedeniyle tercih etmiş olsa da, süt verim düzeyleri genetik potansiyelin altında kalmaktadır. Bu durum, verim kayıtlarının tutulmaması, yetersiz yemleme stratejileri, sınırlı teknik destek ve düşük ölçekli üretim yapılarının bir sonucu olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca oğlak kayıpları, doğum sonrası bakım eksiklikleri ve damızlık seçiminde sistematik kriter eksikliği, hayvan refahı ve üretim verimliliğini olumsuz etkilemektedir.

Özellikle küçük ölçekli işletmelerin, ticari amaçtan çok hobi veya öz tüketim temelli faaliyet göstermesi; teknik kapasite ve verimlilik açısından ciddi sınırlamalara yol açmaktadır. Mera kullanımı, yem temini, pazarlama erişimi ve danışmanlık hizmetleri gibi konular, işletme başarısını doğrudan

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

etkilemektedir. Örneğin işletmelerin teknik bilgi kaynağı olarak veteriner hekim veya ziraat danışmanlarından destek almaları olumlu bir adım olmakla birlikte, bu bilginin üretim sistemine entegrasyonu sınırlı kalmaktadır.

Türkiye genelinde Saanen keçisi yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi ve verim potansiyelinin etkin şekilde kullanılabilmesi için aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

İşletmelerin süt verimi, döl verimi ve sağlık verilerini düzenli olarak kayıt altına almaları için dijital ve pratik sistemler geliştirilmelidir. Bu kayıtlar, damızlık seçimi ve üretim planlamasında temel referans olacaktır. Tarım danışmanlığı hizmetleri sahaya daha etkin şekilde ulaştırılmalı, küçük üreticilere yönelik uygulamalı eğitim programları artırılmalıdır. Özellikle doğum yönetimi, oğlak sağkalımı ve rasyon planlaması gibi kritik alanlara odaklanılmalıdır. İşletmelerin yem tedarikindeki dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla yem bitkileri üretimi desteklenmeli, yem karması hazırlama konusunda eğitimler verilmelidir. Rasyonlar, protein ve enerji açısından dengeli biçimde hazırlanmalıdır. Özellikle kiralık mera kullanan işletmelere yönelik mera planlaması yapılmalı, rotasyonel otlatma ve yem takviyesi yöntemleri konusunda bilinçlendirme çalışmaları yürütülmelidir. Damızlık olarak kullanılacak teke ve dişilerin verim kayıtlarına ve sağlık geçmişine göre seçilmesi teşvik edilmelidir. Bu bağlamda devlet destekleri, verim kriterlerine göre farklılaştırılabilir. Oğlak ölümleri doğum sonrası dönemde yoğunlaştığı için, bu dönemde hijyen, barınak koşulları ve kolostrum uygulamaları konusunda üreticilere özel rehberler sunulmalıdır. Süt ve yan ürünlerin pazara ulaşmasında yaşanan sorunlar, üretici birlikleri veya kooperatif yapılarıyla aşılmalıdır. Ortak pazarlama, girdi temini ve eğitim gibi konularda iş birliği teşvik edilmelidir. Halihazırda var olan desteklerin kapsamı genişletilmeli ve bu desteklerin üretim kalitesini artıracak şekilde koşullara bağlanması sağlanmalıdır. Özellikle barınak modernizasyonu, sağım hijyeni ve soğuk zincir altyapısına yönelik yatırımlar desteklenmelidir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Saanen keçisi gibi genetik potansiyeli yüksek bir ırkın Türkiye koşullarında daha verimli hale getirilebilmesi; yalnızca biyolojik verim değil, aynı zamanda sosyoekonomik ve teknik destek unsurlarının da sistemli şekilde ele alınmasını gerektirmektedir. Bu önerilerin sahaya uygulanabilirliği, hem küçük üreticilerin gelir düzeyini hem de kırsal kalkınma potansiyelini artıracaktır.

KAYNAKÇA

Acosta, A. (2018). World livestock: transforming the livestock sector through the sustainable development goals. In *World livestock: transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations

Akar, Y. (2013). Reproductive performance of saanen goats under rural or intensive management systems in Elazığ region, Turkey. *Pakistan Veterinary Journal* 33(1).

Atag, F. E. (2022). Environmental factors affecting pre-weaning mortality of Turkish Saanen kids. *South African Journal of Animal Science*, *52*(4), 521-529.

Capote, J. (2015). Environments and goats around the world: importance of genetic and management factors. *Sustainable Goat Breeding and Goat Farming in Central and Eastern European Countries. S. Kukovics, Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy*, 1-6.

Ceyhan, A., & Karadağ, O. (2009). Marmara Hayvancılık Araştırma Enstitüsünde yetiştirilen Saanen keçilerin bazı tanımlayıcı özellikleri. *Journal of Agricultural Sciences*, *15*(02), 196-203.

de Souza, P. T., Salles, M. G. F., da Costa, A. N. L., Carneiro, H. A. V., de Souza, L. P., Rondina, D., & de Araújo, A. A. (2013). Physiological and production response of dairy goats bred in a tropical climate. *International Journal of Biometeorology*, *58*(7), 1559-1567.

Deniskova, T. E., Dotsev, A. V., Fornara, M. S., Sermyagin, A. A., Reyer, H., Wimmers, K., ... & Zinovieva, N. A. (2020). The genomic architecture of the Russian population of Saanen goats

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
in comparison with worldwide Saanen gene pool from five countries. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, *55*(2), 285-294.

Dinçel, D., Ardicli, S., Samli, H., Ogan, M. M., & Balci, F. (2019). The effect of some environmental factors on growth performance and reproductive traits in Saanen goats. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *7*(10), 1541-1547.

Devendra, C., & Burns, M. (1983). *Goat Production in the Tropics*. Commonwealth Agricultural Bureaux.

Devendra, C. & Haenlein, G.F.W. (2011). *Animals that Produce Dairy Foods | Goat Breeds*. Encyclopedia of Dairy Sciences, 310-324

Dinçel, D., Ardicli, S., Samli, H., Ogan, M. M., & Balci, F. (2019). The effect of some environmental factors on growth performance and reproductive traits in Saanen goats. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *7*(10), 1541-1547.

Dubeuf, J. P., Morand-Fehr, P., & Rubino, R. (2004). Situation, changes and future of goat industry around the world. *Small Ruminant Research*, 51(2), 165–173. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.08.009

El-Raghi, A. A., & Hashem, N. M. (2022). Maternal, postnatal, and management-related factors involved in daily weight gain and survivability of suckling Zaraibi goat kids in Egypt. *Animals*, *12*(20), 2785.

Erduran, H. (2021). Crossbreeding of Hair goats with Alpine and Saanen bucks: Production and reproduction traits of Native Hair goats in supplementary feeding in different physiological stage in natural pasture-based system. *Small Ruminant Research*, *203*, 106494.

Gökdai, A., Sakarya, E., Contiero, B., & Gottardo, F. (2020). Milking characteristics, hygiene and management practices in Saanen goat farms: A case of Canakkale province, Turkey. *Italian Journal of Animal Science*, *19*(1), 213-221.

Gökdai, A., & Sakarya, E. (2020). Socio-economic structure and current problems of Saanen goat farms in Çanakkale province. *Eurasian Journal of Veterinary Sciences*, 36: (2): 72-79.

Gall, C. (1981). *Goat breeding*. In C. Gall (Ed.), Goat production (pp. 419–440). Academic Press.

Garip, M., & Arslan, A. G. E. (2021). KOP Bölgesine Uygun koyun-keçi ırklarının özellikleri ve damızlık seçimi kriterleri. *Koyun Keçi Sağlığı ve Yetiştiriciliği*, 15.

Gipson, T. A. (2019). Recent advances in breeding and genetics for dairy goats. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, *32*(8 Suppl), 1275.

Gore, D. L. M., Muasya, T. K., Okeno, T. O., & Mburu, J. N. (2020). Comparative reproductive performance of Saanen and Toggenburg bucks raised under tropical environment. *Tropical Animal Health and Production*, *52*(5), 2653-2658.

Haenlein, G. F. W. (2004). Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Research*, 51(2), 155–163.

Kandemir, Ç. (2018). Saanen Keçilerinin entansif koşullarda bazı verim özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Journal of Animal Production*, *59*(1), 41-49.

Kaygısız, A., Kahveci, H., Çokaklı, B., & Baş, S. (2024). Kahramanmaraş İlinde Yetiştirilen Halep, Saanen, Şami ve Saanen Halep Melezi Keçilerinin Döl Verim Özellikleri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, *14*(1), 501-507.

Kaymakçı, M., & Engindeniz, S. (2010). Türkiye'de keçi yetiştiriciliği: sorunlar ve çözümler. *Ulusal Keçicilik Kongresi 24–26 Haziran 2010*, 1-25.

Khaskheli, A. A., Khaskheli, M. I., Khaskheli, A. J., & Khaskheli, A. A. (2020). Significance of feeding practices for small ruminants: A reveiw. *Agricultural Reviews*, *41*(3), 285-290.

Kesenkaş, H., Dinkçi, N., Kınık, Ö., Gönç, S., & Ender, G. (2010). Saanen keçisi sütünün genel özellikleri. *Akademik Gıda*, *8*(2), 45-49.

Koşum N, Kandemir Ç, Taşkın T. (2016). Fertility and milk yield characteristics of Saanen goats raised in İzmir province intensive conditions. IGA 2016 12th International Conference on Goats, 25-30 September, Antalya.

Koyuncu E, Pala A. (2008). Effects of short period frequent milking on milk yield and udder health in Turkish Saanen goats. Animal Science Journal, 79:111- 115.

Lima, A. R. C., Silveira, R. M. F., Castro, M. S. M., De Vecchi, L. B., da Rocha Fernandes, M. H. M., & de Resende, K. T. (2022). Relationship between thermal environment, thermoregulatory

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
responses and energy metabolism in goats: A comprehensive review. *Journal of Thermal Biology*, *109*, 103324.

Vasconcelos, A. M. de, Osterno, J. J., Rogério, M. C. P., Façanha, D. A. E., Landim, A. V., Pinheiro, A. A., Silveira, R. M. F., & Ferreira, J. B. (2019). Adaptive profile of Saanen goats in tropical conditions. Biological Rhythm Research. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1603691

Mawussi, E. B., Assah, A. K., & Kulo, E. A. (2024). Reproduction and milk production performance of Saanen dairy goat in Southern Togo (West Africa). *Adv. Anim. Vet. Sci*, *12*(6), 1028-1033.

Morales, F. D. A. R., Genís, J. M. C., & Guerrero, Y. M. (2019). Current status, challenges and the way forward for dairy goat production in Europe. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, *32*(8 Suppl), 1256.

Morand-Fehr, P., Fedele, V., Decandia, M., & Le Frileux, Y. (2007). Influence of farming and feeding systems on composition and quality of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, *68*(1-2), 20-34.

Özkaya, A., Ertürk, A. S., Sucak, M. G., Ağyar, O., & Yılmaz, E. (2017). Saanen Keçi Sütünün Bazı Biyokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Iğdır Univ. Journal of the Institute of Science and Technology*, *7*(4), 123-129.

Pesmen, G., & Yardimci, M. (2008). Estimating the live weight using some body measurements in Saanen goats. *Archiva zootechnica*, *11*(4), 30-40.

Rout, P. K., & Behera, B. K. (2021). Goat and sheep farming. In *Sustainability in ruminant livestock: Management and marketing* (pp. 33-76). Singapore: Springer Singapore.

Souza, P. T., Salles, M. G. F., Costa, A. N. L., Carneiro, H. A., Souza, L. P., Rocha, D. R., & Araújo, A. A. (2015). Perfil hematológico de cabras Saanen e mestiças (1/2 Saanen e 1/2 Anglo-nubiana) criadas em clima tropical do Ceará. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, *35*, 99-104.

Şimşek, Ü. G. (2005). Kıl keçisi ve Saanen x Kıl keçisi (F1) melezlerinde büyüme, besi performansı ve karkas özelliklerinin araştırılması. *Fırat Üniv. Sağ. Bil. Enst. Zootekni ABD, Doktora Tezi*.

Teissier, M., Brito, L. F., Schenkel, F. S., Bruni, G., Fresi, P., Bapst, B., ... & Larroque, H. (2024). Genetic parameters for milk production and type traits in North American and European Alpine and Saanen dairy goat populations. *JDS communications*, *5*(1), 28-32.

Tesema, Z., Deribe, B., Tilahun, M., Kefale, A., Lakew, M., Getachew, T., ... & Gizaw, S. (2025). Selection index for economically important traits in Boer crossbred goats using principal component analysis. *PloS one*, *20*(4), e0310841

Tölü, C. (2023). Kocaeli'de Sürdürülebilir Hayvan Tarımı Modelleri Önerileri. *Şura Akademi*, (4), 41-49.

Tüfekci, H. (2012). *Saanen X Kıl Keçi Melezi (G1) Çebiçlerin Erken (7-8 Aylık)Yaşta Damızlıkta Kullanılabilme İmkanları.* (Yüksek Lisans Tezi) Zootekni Anabilim Dalı. T.C. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, Türkiye.

Varlyakov, I., Slavov, T., Radev, V., Nedeva, I., & Nikolov, G. (2018). Milking behaviour of saanen goats. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 24 (1); 109-118.

Yaralı, E., Özuğur, A. K., Atay, O., Gökdal, Ö., & Eren, V. (2018). Saanen ve Alpin Oğlaklarda Besi Performansı, Kesim ve Karkas Özelliklerinin Tanımlanması. *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi*, *7*(2), 7-14.

Yilmaz O, Kucuk M, Bolacalı M, Cak B. 2013. Investigation of survival rate, growth performance and some body measurements of Saanen x hair goat F1 crossbred and pure hair goat kids raised in semi-intensive conditions. Bulg J Agrıc Scı 19(4): 835-840.

Yilmaz M, Bardakcioglu HE, Altin T. 2016. Comparison of Some Body Measurements for Saanen goats. Scientific Papers-Animal Science Series: Lucrări Ştiinţifice -Seria Zootehnie, 65: 134-137.

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). Sage Publications.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

BADEM AĞAÇLARINDA ZARAR YAPAN BÖCEK VE BİTKİ PARAZİTİ NEMATOD TÜRLERİ

Doç. Dr., Doğancan KAHYA

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, kahyadogancan@gmail.com- 0000-0002-8996-3393

Doç. Dr. Refik BOZBUĞA

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, refikbozbuga@gmail.com- 0000-0001-9201-5725

ÖZET

Türkiye, coğrafi özellikleri bakımından kültüre alınmış birçok meyve türünün yetiştiriciliğine elverişli bir konumda bulunmakta olup bazı türlerin de anavatanı durumundadır. Badem Rosaceae familyasına bağlı *Prunus* cinsi içerisinde yer alan önemli bir türdür. Yüksek besin değeri sayesinde insan beslenmesinde önemli bir yere sahip olan badem, dünyanın birçok bölgesinde yetiştirilebilmektedir. İçerdiği yüksek orandaki yağ bileşenleri ile zengin mineral ve vitamin içeriği nedeniyle hem insan sağlığı açısından değer görmekte hem de üretim ve tüketimi her geçen gün artış göstermektedir. İç tüketim açısından önemli bir tür olan bademde, birbirinden bağımsız veya birlikte zarar oluşturabilen çok sayıda hastalık, zararlı ve yabancı ot bulunmaktadır. Daha fazla ve kaliteli ürün elde edilebilmesi için bu etmenlerle etkin ve doğru şekilde mücadele edilmesi büyük önem taşımaktadır. Ancak bilinçsiz pestisit kullanımı doğal dengenin bozulmasına, insan sağlığının olumsuz etkilenmesine ve çevre kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Yapılan bu derleme çalışmasının amacı badem ağaçlarında zarar yapan böcek türleri ve bitki paraziti nematodlar hakkında bilgi sahibi olmak ve ileride yapılacak çalışmalar için kaynak oluşturması düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler : Badem, Zararlı Böcek, Bitki Parazititi Nematodlar

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

INSECT PESTS AND PLANT-PARASITIC NEMATODE SPECIES AFFECTING ALMOND TREES

Assoc. Prof Dr. Doğancan KAHYA
Eskişehir Osmangazi University, kahyadogancan@gmail.com- 0000-0002-8996-3393

Assoc. Prof Dr. Refik BOZBUĞA
Eskişehir Osmangazi University, refikbozbuga@gmail.com- 0000-0001-9201-5725

ABSTRACT

Turkiye, owing to its geographical characteristics, provides a highly suitable environment for the cultivation of numerous domesticated fruit species, and it also represents the centre of origin for certain taxa. Almond, an important species within the genus *Prunus* of the family Rosaceae (order Rosales), holds a prominent position in this context. Owing to its high nutritional value, almonds occupy a significant role in human diets and can be cultivated across many regions worldwide. Their high lipid content, along with a rich profile of minerals and vitamins, not only contributes to human health but also underpins the steadily increasing production and consumption of this crop. Almond trees, which are of considerable importance for domestic consumption, are susceptible to a wide range of diseases, pests, and weeds, either individually or in combination. Effective and appropriate management of these biotic stressors is therefore crucial to achieving higher yields and improved crop quality. However, indiscriminate use of pesticides can disrupt ecological balance, adversely affect human health, and exacerbate environmental pollution. The present review aims to consolidate current knowledge on insect pests and plant-parasitic nematodes affecting almond trees and to provide a foundational resource for future research in this area.

Key words: Almond, Insect Pest, Plant Parasitic Nematodes

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCTION

Almond (*Prunus amygdalus* L., synonym *Amygdalus communis* L.) belongs to the genus *Prunus* within the family Rosaceae, order Rosales. The subgenus *Amygdalus* comprises approximately 40 almond species, of which 12 are naturally distributed in Turkiye (Soylu, 2003). In Turkiye, almond cultivation can be successfully carried out across nearly all regions, with the exception of the coastal zones and high plateaus of the Black Sea Region, where climatic conditions are less favourable (Küden et al., 2014). As an early-flowering fruit species, the almond is highly susceptible to spring frosts, which can severely damage its blossoms. Consequently, the inability to obtain a consistent yield from almond trees has been a major factor hindering the development of commercial almond production (Küden & Küden, 2000). Moreover, owing to its high nutritional value, the almond holds a significant place in human nutrition and can be cultivated in nearly all regions of the world (Şimşek, 2011). For this reason, the production and consumption of almonds renowned for their numerous health benefits and rich content of oils, minerals, and vitamins have been steadily increasing over recent years (Beyhan et al., 2011; Gülsoy & Balta, 2014).

As in other fruit species cultivated in Turkiye, almond orchards also face numerous plant health challenges in addition to general cultivation problems. Several faunistic studies have been conducted in the country to identify the pest species present in almond-growing areas (Karaat et al. 2021). A range of insect pests including the Almond Blossom Weevil (*Anthonomus amygdali* Hust.), Mulberry Scale (*Pseudaulacaspis pentagona* Targ.), Peach White Scale (*Nilotaspis halli* Green), Small Bud Moth (*Recurvaria nanella* Hb.), Carob Moth (*Ectomyelois ceratoniae* Zell.), Peach Twig Borer (*Anarsia lineatella* Zell.), Lackey Moth (*Malacosoma neustria* L.), and Almond Engraver Beetle (*Scolytus amygdali* Guer.) are known to affect almond production. Among these, the Almond Seed Wasp (*Eurytoma amygdali* Enderlein) is considered one of the most destructive pests (Barut, 2007).

Numerous studies have been conducted worldwide on pests and diseases affecting almond cultivation (Russo et al., 1993; Adaskaveg et al., 1998; Dicenta et al., 2003). In Turkiye, several investigations have likewise addressed the insect pest species that reduce yield in economically important almond production (Bolu & Çınar, 2005; Bolu & Özgen, 2007; Bolu & Özgen, 2010).

2. EFFECTS OF SOME IMPORTANT INSECT PEST IN ALMOND CULTIVATION

Numerous studies conducted worldwide have reported *Eurytoma amygdali* Enderlein (Hymenoptera: Eurytomidae), commonly known as the almond seed wasp, as the principal pest in almond-growing areas (Anonymous, 2008). Nizamlıoğlu (1961) observed that the this pest caused significant damage in almond orchards in the province of Antalya. Similarly, Ekici and Günaydın (1969) found that the pest was widespread in the provinces of Elazığ, Mardin, Bingöl, and Tunceli, with infestation rates exceeding 50%. The most significant damage caused by the almond seed wasp occurs in the fruit (Anonymous, 2008).

The larvae are responsible for the primary injury; by feeding within the developing nut, they consume the entire kernel, leaving only the seed coat intact; *Eurytoma amygdali* is therefore

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

regarded as one of the most destructive pests of almond production, and several studies have been conducted in Turkiye focusing on its biology, distribution, and impact (Anonymous, 2008).

Another important pest, the almond blossom weevil (*Anthonomus amygdali* Hust.), causes damage primarily through its larvae, which develop inside the buds and consequently destroy the flowers, preventing fruit set (Anonymous, 2008). In addition, the adults feed on young leaves, shoots, and tender twigs, leading to further injury (Anonymous, 2008). In Turkey, this pest has been reported from numerous provinces across the Southwestern and Southeastern Anatolian regions (Anonymous, 2008; Karaat et al., 2021).

A range of insect pests including Mulberry Scale (*Pseudaulacaspis pentagona* Targ.), Peach White Scale (*Nilotaspis halli* Green), Small Bud Moth (*Recurvaria nanella* Hb.), Carob Moth (*Ectomyelois ceratoniae* Zell.), Peach Twig Borer (*Anarsia lineatella* Zell.), Lackey Moth (*Malacosoma neustria* L.), and Almond Engraver Beetle (*Scolytus amygdali* Guer.) are known to affect almond production. Among these, is considered one of the most destructive pests in almond cultivation (Barut, 2007; Anonymous, 2023).

3. THE EFFECTS OF PLANT PARASITIC NEMATODES IN ALMOND CULTIVATION

Soil samples collected from almond orchards in Sirjan city are analysed using morphological, morphometric, and molecular approaches, leading to the identification of four plant-parasitic nematode species such as *Criconema mutabile*, *Pratylenchus thornei*, *Zygotylenchus guevarai*, and *Longidorus africanus (*Rostami and Jahanshahi, 2025). Plant-parasitic nematodes associated with almond seedlings in Kalat district, Balochistan, identifying *Paratylenchus nainianus*, *Scutylenchus rugosus*, *Pratylenchus zeae*, *Zygotylenchus guevarai* and *Meloidogyne javanica*, with generally high similarity observed among nematode assemblages across surveyed nurseries (Khan & Shaukat, 2016). Surveyed plant-parasitic nematodes in almond (*Prunus dolcis*) and walnut (*Juglans regia*) orchards of Adıyaman Province using morphological and taxonomic methods, identifying members of Tylenchida, Aphelenchida and Dorylaimida; the most frequent species are *Helicotylenchus digonicus*, *Ditylenchus myceliophagus* and *Aphelenchus avenae* in almond, and *Helicotylenchus digonicus*, *Pratylenchus neglectus* and *Merlinius brevidens* in walnut (Tan ve ark., 2018).

Free-living nematode diversity in five almond (*Prunus dolcis*) orchards in central Iran, identifying seven species from 15 soil samples, with *Cephalobus persegnis*, *Butlerius butleri*, and *Panagrolaimus rigidus* as dominant taxa, revealing distinct associations with soil physicochemical properties and higher nematode diversity in organically managed orchards, highlighting their ecological role in soil processes and nutrient cycling (Aminisarteshnizi, 2022). A study evaluated growth traits and root-knot nematode resistance of almond seedlings, showing genotype-specific differences in germination and morphology, with Genotype 54 excelling in germination and root length, Genotype 9 in plant height, and resistance assessments

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

indicating Genotypes 9 and 31 as tolerant to *Meloidogyne javanica* and Genotype 54 as resistant to *M. incognita* based on gall index classification (Kızıltan ve ark., 2016).

4. CONCLUSION

The findings presented in this review indicate that insect pests and plant-parasitic nematodes constitute major limiting factors in almond production, adversely affecting both yield and long-term orchard sustainability. Pests active during flowering and fruit development stages cause direct crop losses, while soil-borne organisms weaken the root system, suppress plant growth, and compromise tree health over time. In contrast, free-living nematodes play beneficial roles in soil ecosystems by contributing to nutrient cycling and microbial balance. In addition, clear differences among almond genotypes were observed with respect to germination performance, seedling growth, and responses to soil-borne pests, highlighting the potential of resistant or tolerant plant material. These findings underscore the importance of regular monitoring, effective utilisation of genetic resources, and the adoption of integrated management strategies for sustainable almond cultivation, which is of considerable importance for maintaining productivity and orchard health.

REFERENCES

Adaskaveg, J.E., Förster, H., Hartin, R. J., Teviotdale, B., Connell, J.H., & Duncan, R. *Almond Research Article Anthracnose in California a New Pre and Postharvest Fungal Disease Outbreak.* Acta Horticulture 470, 553-561, 1998

Aminisarteshnizi, M. *Free-living nematode associated with almond (Prunus Dolcis Mill.) orchards and the effect of soil chemical properties on their diversity*. *Transylvanian Review*, *30*(2), 2022

Anonymous, (2008). Zirai Mücadele Teknik Talimatları, Cilt 4, Tarımsal AraĢtırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Ankara.Anonymous, (2007).Tarım Kütüphanesi 2007’’, http:// www.tarimkutuphanesi.com / Badem_Yetistiriciligi_ 00009. html, (Accessed date: 15.12.2025)

Anonymous, (2023). https: //www.tarimorman.gov.tr/ TAGEM/Belgeler/Entegre/Badem%20Entegre%20M%C3%BCcadele%20Teknik%20Talimat %C4%B1%20(1).pdf. (Accessed date: 15.12.2025)

Barut, G.B., *Kahramanmaraş koşullarında bademlerde zararlı Badem İçkurdu, (Eurytoma amygdali Enderlein (Hymenoptera: Eurytomidae)'nun bazı biyolojik özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar*. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Yüksek Lisans Tezi, s. 25, 2007.

Beyhan Ö, Aktaş M, Yılmaz N, Şimşek N, Gerçekcioğlu R, *Determination of Fatty Acid Composition in Seed Oils of Some Important Almond (Prunus amygdalus L.) Genotypes*

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Growing in Tokat Province and Eagean Region ,Turkey, Journal of Medicinal Plants Research (ISI) , Vol 5 (19), 49074911, 2011

Bolu, H., & Özgen, İ.. B*adem İçkurdu (Eurytoma amygdali Enderlein) (Hymenoptera: Eurytoma) Yayılış Alanları, Bulaşma Oranları ve Parazitoitleri*. Harran Üniversitesi Fakültesi Dergisi 11(3), 59-65, 2007

Bolu, H., & Özgen, İ. D*iyarbakır, Elazığ ve Mardin İlleri Badem Ağaçlarında Zararlı Agrilus roscidus Kiesenwetter, 1857 (Coleoptera: Buprestidae)'un Ergin Popülasyon Değişiminin Belirlenmesi.* Bitki Koruma Bülteni 50(1), 1-11, 2010

Bolu, H., Özgen, İ., & M, Çınar.. *Dominancy of Insect Families and Species Recorded in Almond Orchards of Turkey*. Acta Phytopathologica Et Entomologica Hungarica 40(1-2), 145-157, 2005

Dicenta, F., Martinez, P., Pato, E., & Gradziel, T. M.. *Screening for Aspergillus flavus Resistance in Almond*. Hort Science 38(2), 266-268, 2003

Ekici, V., & Günaydın, T. *Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da (Eurytoma amygdali Enderlein) Üzerinde Araştırmalar*. Bölge Zirai Mücadele Araştırma Enstitüsü Bitki Koruma Bülteni 1, 1-28, 1969

Gülsoy E, Balta F,. *Aydın ili Yenipazar, Bozdoğan ve Karacasu İlçelerinden Selekte Edilen Badem (Prunus amygdalus Batch) Genotiplerinin Protein, Yağ ve Yağ Asidi Bileşimlerinin Belirlenmesi.* Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(1): 9-14, 2014

Karaat, Ş., İslamoğlu, M., Çağlar, Ö., & Atay, M.. *Adıyaman ili badem bahçelerinde saptanan zararlı türler*.Adyutayam Dergisi,*9*(1), 47-60, 2021

Khan, A., & Shaukat, S. S.. P*lant nematodes associated with almond seedlings in Kalat District, Balochistan*. Pakistan Journal of Zoology,*48*(5), 2016

Kızıltan, M. F., Yıldırım, A. N., & Söğüt, M. A. *The Determination of Nematode Tolerance and Seedling Performance of The Selected Almond (Prunus amygdalus L.) Genotypes in Isparta Province.* Erwerbs-Obstbau,*58*(4), 233-239, 2016

Küden A. B. ve Küden, A.. *Badem Yetiştiriciliği*. TÜBİTAK, TARP, Türkiye Tarımsal Araştırma Projesi Yayınları. Adana, 18 s., 2000

Küden, A. B., Küden, A., Bayazit, S., Çömlekçioğlu, Ç., İmrak, B., & Rehber, Y. *Badem Yetiştiriciliği*. Tagep Proje no: 5.2.3.1, 18 sy., 2014

Nizamlıoğlu, K. *Türkiye meyve ağacı zararlıları ve mücadelesi*. Koruma Tarım İlaçları AŞ Neşriyatı, 5, 134-146, 1961

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Rostami M., Jahanshahi F. P*lant-parasitic nematodes associated with almond trees in Sirjan city*. Journal of Applied Researches in Nuts. 14 – 25, Doi:10.71869/jarn.2025.1191549, 2025

Russo. A., Siscaro, G., Spampinato, R. G., & Barbera, G. *Almond Pests in Sicily*. First International Congress on Almond, Agrigento. Italy, May 17-19. Acta Horti Culture 373, 309-315, 1993

Şimşek M, *Çınar İlçesinde Badem Seleksiyonu*. Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1(1): 32-36, 2011

Soylu A. *Ilıman İklim Meyveleri* II. U.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Notları. No: 72. Bursa, 2003

Tan, A. N., Ocal, A., Ozturk, L., & Elekcioglu, I. H. *Plant parasitic nematodes associated with almond (Prunus dolcis Mill.) and walnut (Juglans regia L.) orchards in Adiyaman province, Turkey*. International Journal of Molecular Biology,3, 295-300, 2018

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

MERCİMEK ALANLARINDA ZARAR YAPAN BÖCEK VE BİTKİ PARAZİTİ NEMATOD TÜRLERİ

Doç. Dr., Doğancan KAHYA

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, kahyadogancan@gmail.com- 0000-0002-8996-3393

Doç. Dr. Refik BOZBUĞA

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, refikbozbuga@gmail.com- 0000-0001-9201-5725

ÖZET

Mercimek, hem tane hem de saman formuyla yüksek pazar değerine sahip bir üründür. Bunun yanında iyi bir toprak koruyucu özelliğe sahip olup, toprak işlemesiz tarım sistemlerinde ikinci ürün için uygun bir ön bitkidir. Yağış miktarının giderek azaldığı bahar aylarında erkenci gelişim göstermesi ve kurak iklim koşullarına yüksek uyum sağlaması nedeniyle de önemli bir tarla bitkisi olarak değerlendirilmektedir. Mercimek (*Lens culinaris*), Türkiye'de temel baklagil ürünleri arasında yer almakta olup, ülkemiz dünya mercimek üretiminde ön sıralarda bulunmaktadır. Ülkemizde mercimek üretim alanlarında verimliliği sınırlayan başlıca abiyotik faktörler arasında kuraklık, düşük ve yüksek sıcaklık stresleri, bitki besin maddesi yetersizlikleri, toprak tuzluluğu ve yüksek kireç içerikleri yer almaktadır. Mercimek üretim alanlarında verim kayıplarına yol açan birçok biyotik ve abiyotik etmen bulunmaktadır. Bu etmenler arasında zararlı böcekler, bitki paraziti nematodlar, çeşitli hastalık etmenleri ve yabancı otlar önemli yer tutmaktadır. Bu derleme çalışması ile mercimek ekim alanlarında zarar oluşturan zararlı böcek türleri ve bitki paraziti nematodlara ilişkin mevcut bilgilerin derlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, çalışmanın gelecekte mercimekte görülen zararlı türler ve bitki paraziti nematodlar üzerine yürütülecek araştırmalar için bilimsel bir kaynak niteliği taşıması

Anahtar Kelimeler : Mercimek, Zararlı Böcek, Bitki Parazititi Nematodlar

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

INSECT PESTS AND PLANT-PARASITIC NEMATODE SPECIES IN LENTIL FIELDS

Assoc. Prof Dr. Doğancan KAHYA

Eskişehir Osmangazi University, kahyadogancan@gmail.com- 0000-0002-8996-3393

Assoc. Prof Dr. Refik BOZBUĞA

Eskişehir Osmangazi University, refikbozbuga@gmail.com- 0000-0001-9201-5725

ABSTRACT

Lentil, valued both for its grain and straw, commands a high market price. In addition, it functions as an effective soil protector and serves as a suitable preceding crop for second-season cultivation in no-till farming systems. Its early development during the increasingly dry spring months, coupled with its high adaptability to arid climatic conditions, further underscores its significance as an important field crop. Lentil (*Lens culinaris*) ranks among the principal legume crops in Turkey, with the country occupying a leading position in global lentil production. The major abiotic factors limiting lentil productivity in Turkish cultivation areas include drought, low and high temperature stress, deficiencies in plant nutrients, soil salinity, and high lime content. Lentil production fields are also affected by numerous biotic and abiotic stressors that contribute to yield losses. Among these, insect pests, plant-parasitic nematodes, various pathogens, and weeds play particularly significant roles. The present review aims to consolidate current knowledge on the insect pests and plant-parasitic nematodes that cause damage in lentil cultivation areas. Furthermore, this review is intended to serve as a scientific reference for future research on pest species and plant-parasitic nematodes affecting lentil.

Key words: Lentil, Insect Pest, Plant Parasitic Nematodes

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCYION

Edible grain legumes, which constitute major agricultural commodities worldwide and play a key role in the farming systems of many countries, are also among the traditional crops of Turkish agriculture (Anonymous, 2015). Owing to their contribution to rural employment and their high export potential, they represent an economically significant crop group for the national economy and lentil, in particular, continues to maintain its importance as a major source of plant-based protein for the population (Anonymous, 2015). Today, owing to their high protein content, legumes constitute an essential food source for low-income populations in many developing countries (Gülaç, 2022). Within this group, lentils stand out not only as a rich source of protein but also for their considerable vitamin (particularly B-complex) and mineral content (Gülaç, 2022).

Another major agricultural advantage of legumes is their positive contribution to soil organic matter. While many cultivated plant species tend to deplete soil organic content, legumes enhance it through the extensive root systems they develop below ground (İslamoğlu, 2024). In addition, legumes form symbiotic associations with *Rhizobium* bacteria, which adhere to their roots and induce the formation of nodules. Within these nodules, the bacteria convert atmospheric nitrogen molecules into simple organic nitrogen compounds, thereby enriching the soil with biologically available nitrogen (İslamoğlu, 2024).

Numerous diseases, insect pests, and weed species occur in red lentil cultivation areas, causing significant losses despite the crop's importance in both domestic consumption and export markets. Effective management of these diseases, pests, and weeds is therefore crucial for achieving high grain yields and maintaining product quality in lentil production (Anonymous, 2017).

2. EFFECTS OF SOME IMPORTANT INSECT PEST IN LENTIL CULTIVATION

It has been reported that the chalky spot damage observed in lentil seeds is caused by *Dolycoris baccarum* (L.) and *Piezodorus lituratus* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae) (Mutlu et al., 2016). This form of damage leads to noticeable physical deformities such as seed wrinkling, crater-like depressions, and shrinkage (Arslan, 2007). Furthermore, the development of a floury, white layer beneath the seed coat adversely affects both the quality and quantity of the product, creating a major obstacle for producers in lentil export markets (Arslan, 2007).

Recent studies have reported that the damage caused by *Piezodorus lituratus* and *Dolycoris baccarum* has increased substantially in recent years, reaching levels of 15–29%, thereby resulting in significant economic losses (Akkaya, 2004; Özberk & Tanrıkulu, 2014).

Bruchus ervi Fröhl. and *Bruchus lentis* Fröhl. (Coleoptera: Bruchidae) inflict direct damage on lentil seeds, and the presence of perforated seeds results in reduced nutritional value, lowered germination rates, and decreased marketability both domestically and internationally (Anonymous, 2017).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Studies have reported that lentils grown in the Aegean Region exhibit a 60–80% infestation rate by seed beetles, with an average field infection level of approximately 15% and a consequent 95% reduction in germination capacity (Karman et al., 1970). Moreover, *Callosobruchus maculatus* F. can proliferate during storage and cause losses reaching 100% (Karman et al., 1970).

3. THE EFFECTS OF PLANT PARASITIC NEMATODES IN LENTIL CULTIVATION

In Mediterranean conditions, conservation agriculture systems are assessed for the prevalence of soilborne and foliar diseases, including cyst nematodes, in chickpea and lentil, showing that tillage and sowing time can influence cyst nematode incidence, that genotypes are resistant to *Fusarium* wilt, and that continuous monitoring of diseases and nematodes is essential for sustainable production (Ahmed et al., 2012). In the Mediterranean region, numerous endoparasitic nematodes occur on legumes, with the most common being *Pratylenchus mediterraneus*, *P. penetrans* and *P. thornei*, which, despite mild symptoms, can cause up to 50% yield loss in chickpea; the root-knot nematode *Meloidogyne artiellia* is associated with severe yield losses in chickpea in Syria, Spain and Italy, *M. incognita* and *M. javanica* damage French bean and cowpea in sandy soils, *Heterodera goettingiana* and *H. ciceri* cause economic losses in chickpea, lentil and pea, and *Ditylenchus dipsaci* induces severe decline in broad bean during wet years, representing major agricultural problems throughout
Mediterranean production systems (Greco & Di Vito, 1994). In Idaho, under dryland conditions, stunted, chlorotic and wilting symptoms appeared extensively in pea and lentil fields, resulting in 75–90% and ~40% yield losses, respectively; *Pratylenchus neglectus*, *P. thornei* and *Paratylenchus hamatus* are isolated from roots and rhizosphere soil of affected plants, field surveys showed high densities of lesion nematodes in roots and pin nematodes in soil, and greenhouse inoculation assays confirmed that these nematodes reduced plant height by 50–70% and were responsible for growth and yield losses in these crops (Riga et al., 2008). A Brazilian germplasm collection of pulse crops, including pea, chickpea and lentil, was screened under glasshouse conditions against the root-knot nematode *Meloidogyne enterolobii*; 23 genotypes were inoculated with 5,000 eggs and second-stage juveniles and evaluated 65 days later, showing that all genotypes were susceptible and that the pea genotype ‘Itapuã’ was intolerant to infection, highlighting the critical importance of identifying genetic resistance for sustainable legume production (Pinto et al., 2024).

Surveys conducted in Turkiye revealed that the most common plant-parasitic nematodes associated with chickpea and lentil were root-lesion nematodes, with *Pratylenchus thornei*, *P. penetrans* and *P. mediterraneus* widespread across the country and suspected to reduce yields, *P. alleni* and *P. zeae* present in a few fields, *Pratylenchoides leiocauda* widespread among other lesion nematodes, *P. alkani*, *P. erzurumensis* and *Zygotylenchus guevarai* detected only occasionally, *Heterodera ciceri* causing notable damage on chickpea, *Meloidogyne artiellia* observed in a single field, and *Ditylenchus dipsaci* along with various other nematode species detected in soil samples (Di Vito et al., 1994).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

4. CONCLUSION

In conclusion, this review highlights that in lentil production, both seed pests and plant-parasitic nematodes cause significant yield losses, with seed pests reducing germination capacity and adversely affecting product quality. Root and foliar diseases, together with nematodes, substantially decrease plant growth and yield, with their incidence varying according to sowing time and soil management practices. The review emphasises that for sustainable lentil production, the development of genetically resistant cultivars, continuous monitoring of diseases and nematodes, and the implementation of integrated pest management strategies are of critical importance, as these approaches help to maintain yield and quality while enhancing the crop's economic and nutritional value.

REFERENCES

Ahmed, S., Piggin, C., Haddad, A., Kumar, S., Khalil, Y., & Geletu, B. *Nematode and fungal diseases of food legumes under conservation cropping systems in northern Syria*. Soil and Tillage Research, 121, 68-73, 2012

Akkaya, A. *The studies of chalky spot factors causing yield and quality loss on red lentil and their control possibilities in South-eastern Anatolia Region (Unpublished final research report).* Plant Protection Research Institute, 2004, Diyarbakir, Turkey, 2004

Anonymous, (2015). https://biruni.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul. (Accessed date: 14.12.2025)

Anonoymous, (2017). https: // www.tarimorman.gov.tr / TAGEM/Belgeler/yayin/Mercimek %20 Entegre-14.10.2017.pdf. (Accessed date: 14.12.2025)

Arslan, M. (2007). http // bahcesel.net/ anasayfa/bahceselozel-haber/ 1593-kirmizi-mercimekte-tebesirlesmeihracativurdu.html. (Accessed date: 14.12.2025)

Di Vito, M., Greco, N., Ores, G., Saxena, M. C., Singh, K. B., & Kusmenoglu, I. *Plant parasitic nematodes of legumes in Turkey*. Nematologia mediterranea, 245-251, 1994

Greco, N., & Di Vito, M. *Nematodes of food legumes in the Mediterranean Basin* 1. Eppo Bulletin,24(2), 393-398, 1994.

Gülaç, N., Z., *Mercimek Ürün Raporu*, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, Ankara, 2022

İslamoğlu, M. *Adıyaman İlinde Mercimek Hortumlu Böceği (Sitona spp. Herbst.) (Coleoptera: Curculionidae)'Nın Zarar Durumu.* Adyutayam Dergisi, *12*(2), 98-107, 2024

Karman, M., S.Erakay ve O.Kaya,. *Nohut sineği ve Baklagil Tohumböcekleri* .T.B.Zir.Müc. ve Zir Kar.Gn.Md.Mes.Neş.Serisi. No:53, 1970

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Mutlu, Ç., Karaca, V., Eren, S., Büyük, M., Gözüaçık, C., Duman, M., Bayram, Y., Bolu, H., Kütük, H.,. *Chalky spot damage caused by stink bugs on red lentil seeds in Southeast Anatolia Region, Turkey*. Legume Research, 39 (4): 623-629, 2016.

Özberk, I., Tanrikulu, Ö.F. *A Study on some grading factors affecting marketing price of red lentil*. Journal of Field Crops Central Research Institute, 23:1-6, 2014.

Pinto, T. J., Cunha, D. F., Silva, G. O., Pinheiro, J. B., Correia, V. R., Ragassi, C. F., & Cares, J. E. *Reaction of Brazilian genotypes of pulses (pea, chickpea and lentil) to the root-knot nematode Meloidogyne enterolobii*. Nematology, 26(3), 299-307, 2024.

Riga, E., Porter, L. D., Mojtahedi, H., & Erickson, D. *Pratylenchus neglectus, P. thornei, and Pratylenchus hamatus nematodes causing yield reduction to dryland peas and lentils in Idaho.* Plant Disease, 92(6), 979-979, 2008.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KİŞİSEL BAKIM ÜRÜNLERİNİN AKUATİK CANLILARIN FİZYOLOJİSİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Prof. Dr. Arzu UÇAR[1]
[1]Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, arzuucar@atauni.edu.tr
0000-0001-5675-9401
Prof. Dr. Gonca ALAK[2]
[2]Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü,
galak@atauni.edu.tr,
0000-0002-7539-1152
Doç. Dr. Veysel PARLAK[3],
[3]Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü,
veysel.parlak@atauni.edu.tr,
0000-0002-3459-7963
Prof. Dr. Muhammed ATAMANALP [1]
[4] Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, mataman@atauni.edu.tr,
0000-0002-2038-3921

ÖZET

İlaçlar ve kişisel bakım ürünleri, yeni ortaya çıkan kirleticiler olarak kabul edilmekte olup, su sistemlerindeki varlıkları, bunlara maruz kalan hedef olmayan organizmaları olumsuz etkileyebileceğinden, akuatik ekosistem için risk oluşturmaktadır. Önemli bir kısmı hijyen amaçlı kullanılan bu ürünler, atıksu sistemine ulaşmakta, konvansiyonel arıtma tesislerinde yeterince parçalanmadıkları için nehir, göl ve kıyı ekosistemlerine taşınmaktadır. Kişisel bakım ürünlerinin (PCP'ler), sürekli birikimi atık su, atmosfer ve taşınma yoluyla dünya çapındaki su kaynaklarını farklı şekillerde etkileyen bileşikler içerir. Bu nedenle, akuatik canlılar kaçınılmaz olarak kirliliğe maruz kalmaktadır. Kirliliğe maruz kalmayla birlikte biyomagnifikasyon riski de artar; yani, canlı organizmalarda toksik maddelerin birikimi, besin zincirinde bir sonraki trofik seviyeye çıkıldıkça artar, böylece kirleticilerin konsantrasyonu avcıda avdan daha yüksek düzeye ulaşır. Çalışmalar, balıklarda üreme işlev bozukluğundan antimikrobiyal ilaçlara karşı direnç seçiliminin çevresel bileşenini tetiklemeye kadar su ekosistemleri üzerinde çok sayıda olumsuz etki bulmuştur. Triklosan, parabenler, ftalatlar, UV filtreleri ve yüzey aktif maddeler gibi maddelerin sucul organizmalarda oksidatif hasar, endokrin bozucu etki, davranışsal değişiklikler ve gelişimsel bozukluklar oluşturduğu çok sayıda çalışma tarafından ortaya konmuştur. Hem ekolojik sağlık hem de insan gıda güvenliği için KBP kaynaklı kirliliğin izlenmesi, düzenlenmesi ve alternatif çevre dostu ürünlerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu inceleme, PCP'lerin akuatik ortamdaki varlığını, ekosistemleri nasıl etkileyebileceğini ve canlıların fizyolojisi üzerindeki toksisitelerini vurgulamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akuatik ortam, balık, kişisel bakım ürünleri.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

İlaç ve kişisel bakım ürünleri (PPCP'ler), günlük yaşamdaki uygulamaları ve su ortamındaki varlıkları nedeniyle dünya çapında dikkat çeken önemli yeni kirleticiler olarak kabul edilmektedir [1]. PPCP'ler, dünya çapındaki yoğun üretim ve kullanımları nedeniyle son zamanlarda yüzey ve yeraltı sularında, ayrıca balık ve bitki dokularında da tespit edilmiştir. İnsanlarda ve hayvanlarda hedef organlardaki belirli yollar ve süreçlerle etkileşime girmek üzere tasarlanmış biyolojik olarak aktif olan bileşiklerin çevredeki potansiyel etkileri, halk sağlığı, biyoçeşitlilik ve ekosistem bileşenleri konusunda endişeler dile getirilmiştir [2]. Çok sayıda çalışma, yüzey suları, yeraltı suları ve içme suları da dahil olmak üzere farklı su kütlelerinde PPCP'lerin varlığına odaklanmıştır. Bu bileşikler kalıcıdır ve sonuç olarak su organizmalarında biyolojik olarak birikerek, hem su ekosistemi hem de insan sağlığı için potansiyel bir tehdit oluşturmaktadır [1].
Kozmetik formülasyonlar; kişisel temizlik ürünleri, cilt ve saç bakım ürünleri, kozmetik ürünler, koruyucu ürünler, düzeltici ürünler, bakım ürünleri ve aktif maddeli ürünlerden oluşur. Küresel kozmetik pazarı 2017 yılında 500 milyar ABD dolarına ulaşmış olup, yıllık yaklaşık %7'lik bir büyüme oranıyla 2024 yılına kadar 800 milyar ABD dolarını aşmıştır [3]. Önemli bir kısmı hijyen amaçlı kullanılan bu ürünler, atıksu sistemine ulaşmakta, konvansiyonel arıtma tesislerinde yeterince parçalanmadıkları için nehir, göl ve kıyı ekosistemlerine taşınmaktadır. Birçok KBP bileşiği kalıcı, yarı uçucu, lipofilik özelliklere sahiptir. Bu nedenle sucul organizmalarda birikme, kronik toksisite ve endokrin bozucu etkilere neden olabilmektedir. Bu kimyasalların bazıları insan kullanımında güvenli kabul edilse bile akuatik canlıların fizyolojisi ile uyumlu olmayabilir ve düşük konsantrasyonlarda dahi biyolojik stres yanıtlarını tetikleyebilir. Canlı organizmalarda kimyasal birikimi, emilim, dağıtım, metabolizma (biyotransformasyon) ve atılım süreçlerinin net bir sonucu olarak gerçekleşir. Yüksek omurgalılar hariç, ekolojik alıcılardaki bu süreçlere ilişkin mevcut anlayış, balıklar ve bitkiler için fazladır; ancak kavramsal olarak benzer süreçlerin, sucul ve karasal omurgasızlar da dahil olmak üzere diğer taksonlar için de geçerli olması beklenebilir [4]. Bu nedenle, akuatik canlılar kaçınılmaz olarak kirliliğe maruz kalamaktadır. Kirliliğe maruz kalmayla birlikte biyomagnifikasyon riski de artar; yani, canlı organizmalarda toksik maddelerin birikimi, besin zincirinde bir sonraki trofik seviyeye çıkıldıkça artar, böylece kirleticilerin konsantrasyonu avcıda avdan daha yüksek düzeye ulaşır [5]. Birleşmiş Milletler Küresel Kalkınma Stratejisi'nin 6. Hedefi olan "Temiz Su ve Sanitasyon", suyun hem bir kaynak hem de sağlık ve refah için potansiyel bir risk olarak önemini vurgulamaktadır. Son 30 yılda, sucul ortamda birçok ilaç ve kişisel bakım ürünü (PCP) tespit edilmiştir. Çalışmalar, balıklarda üreme işlev bozukluğundan antimikrobiyal ilaçlara karşı direnç seçiliminin çevresel bileşenini tetiklemeye kadar su ekosistemleri üzerinde çok sayıda olumsuz etki bulmuştur. Son araştırmalar, bunların hem oluşumlarının hem de etkilerinin su ortamında iklimsel ve sosyoekonomik etkenlerle bağlantılı küresel sorunlar olduğunu göstermektedir [6].

2. AKUATİK CANLILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLER

Atıksu arıtma tesislerinde tam olarak giderilememeleri nedeniyle, bu bileşikler su sistemlerine ulaşarak çeşitli su organizmalarını olumsuz etkileyebilir. Bu olumsuz etkiler arasında genotoksik hasar, nörotoksisite, fotosensitif etkiler ve oksidatif stres yer almaktadır. Bazı araştırmalar, PCP'lerin, seks hormonlarının sentezi ve metabolizmasında rol oynayan Cyp izoformlarının enzimatik aktivitesine müdahale ettiğini ve dolayısıyla üreme aktivitesini olumsuz etkilediğini ortaya koymuştur. Cinsel olgunlaşma ve üreme, kur yapma davranışını

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
uyarmak için hormonların düzenlenmesine ve performansına bağlıdır. Bu nedenle, koku maddelerinde bulunan bu bileşiklerin etkileri, balıkların üreme başarısını olumsuz etkileyerek yaşam alanlarını da etkileyebilir [7].
Kişisel bakım ürünlerinin başlıca kimyasal bileşenlerinden olan Triklosan [(TCS) (Antibakteriyel sabun, diş macunu ve deodorantlarda yaygın)], sucul ortamlarda UV ışığıyla dönüşerek dioksin türevleri oluşturabilir. Balıklarda, oksidatif stres, tiroid hormon dengesinde bozulma, gelişimsel anormallikler ve biyobirikime neden olduğu rapor edilmiştir [8]. Triklosan, parabenler ve UV filtreleri gibi bileşiklerin balıklarda reaktif oksijen türlerinin oluşumunu artırarak DNA hasarı ve lipid peroksidasyonuna yol açtığı çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur [9]. UV Filtreleri (Güneş kremleri ve kozmetiklerde yaygın) mercanlarda DNA hasarı ve larval gelişim bozuklukları [10] oluştururken kozmetikte koruyucu olarak kullanılan parabenlerin balıklarda östrojen reseptörlerine bağlanarak endokrin ve üreme işlevlerinin bozma ve gonad dokusunda histopatolojik değişimlere neden olduğu bildirilmiştir [11]. Parabenler, ftalatlar ve UV filtrelerinin östrojenik aktivite gösterdiği ve erkek balıklarda vitellogenin düzeyinde artış, üreme başarısında azalma gibi sonuçlara yol açtığı bildirilmektedir [12]. Parfümler ve kozmetiklerde çözücü olarak kullanılan Fitalatlar sucul canlılarda, karaciğer hasarı, lipid metabolizmasında bozulma ve embriyonik gelişim gecikmesi gibi olumsuz etkiler neden olduğu kaydedilmiştir [13]. Yüzey aktif maddeler (Deterjan, şampuan ve sabunların temel bileşenleri) balıkların solungaçlarında tıkanıklık, mukus salgısında artış, oksijen alımında azalma gibi toksik etkiler oluştururken, alglerde fotosentez inhibisyonuna neden olmuştur [14]. Balıklarda yüzme aktivitesinde azalma, yem alımının düşmesi ve avcıdan kaçma tepkilerinde bozulma gibi davranışsal etkiler de rapor edilmiştir [9]. Kişisel bakım ürünlerine karşı oldukça duyarlı olan zooplanktonlar, kabuklular ve midyeler gibi omurgasızların büyüme hızında düşüş olduğu, UV filtrelerinin ise larval gelişimi olumsuz etkilediği belirtilmiştir [15]. Yüzey aktif maddeler ve UV filtrelerinin fitoplanktonda fotosentetik pigmentleri baskılayarak klorofil düzeyini düşürdüğü ve çoğalmayı engellediği bulunmuştur. Kişisel bakım ürünlerinin içerdiği bileşiklerin ekosistem seviyesinde; tür çeşitliliğinde azalma, besin zincirinde bozulma, popülasyon dengesinin değişmesi ve trofik seviyelerde birikim gibi geniş ölçekli ekosistem etkilerine yol açtığı bildirilmektedir [16].

2.1 ENDOKRİN SİSTEM ÜZERİNE ETKİLER

Kişisel bakım ürünlerinin (PCP'ler) önemli bir bölümü, organizmalarda hormonal dengeyi bozan endokrin bozucu kimyasallar (endocrine disrupting chemicals, EDC'ler) olarak sınıflandırılmaktadır. Parabenler, triklosan, sentetik miskler ve ultraviyole (UV) filtreleri gibi yaygın PCP bileşenleri; hormonların sentezi, salınımı, taşınması, metabolizması ve hedef reseptörlerle etkileşimini değiştirerek endokrin sistemin normal işleyişini olumsuz yönde etkilemektedir [17]. Bu bileşiklerin birçoğu, östrojen (ER) ve androjen (AR) reseptörlerine agonist veya antagonist olarak bağlanabilmekte ve steroidogenez yolaklarında görev alan anahtar enzimlerin (örneğin aromataz, 17β-hidroksisteroid dehidrogenaz) aktivitesini modüle edebilmektedir [18]. Özellikle UV filtreleri ve parabenlerin, balıklarda östrojenik aktivite göstererek vitellogenin (Vtg) sentezini indüklediği, hatta erkek bireylerde dahi anormal Vtg ekspresyonuna yol açtığı rapor edilmiştir [19]. Endokrin bozucu etkilere maruz kalan balıklarda gonadal histopatolojik değişimler, germ hücre gelişiminde bozulmalar, cinsiyet oranlarında sapmalar ve interseks bireylerin ortaya çıkışı sıkça gözlenen sonuçlar arasındadır. Bu fizyolojik bozulmalar, gamet kalitesinde düşüşe ve döllenme başarısının azalmasına neden olarak populasyon düzeyinde üreme başarısını olumsuz etkilemektedir [20]. Ayrıca, bazı PCP bileşenlerinin tiroid hormon homeostazını bozarak büyüme, gelişim ve metabolik süreçler üzerinde dolaylı ancak uzun vadeli etkiler oluşturduğu bildirilmektedir. Kronik ve düşük doz PCP maruziyetinin, özellikle embriyonik ve larval gelişim dönemlerinde endokrin sistem

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

üzerinde daha belirgin etkiler oluşturduğu ve bu etkilerin bireylerin yaşam boyu fizyolojik performansını ve stres toleransını azalttığı gösterilmiştir. Bu bağlamda, PCP kaynaklı endokrin bozulmalar yalnızca bireysel düzeyde değil, akuatik populasyonların sürekliliği ve ekosistem fonksiyonları açısından da önemli bir çevresel risk unsuru olarak değerlendirilmektedir [21].

2.2 OKSİDATİF STRES VE HÜCRESEL HASAR

Kişisel bakım ürünlerine (PCP'ler) maruziyet, akuatik organizmalarda hücresel redoks dengesini bozarak reaktif oksijen türlerinin (reactive oxygen species, ROS) aşırı üretimine neden olmaktadır. PCP bileşenleri, mitokondriyal elektron taşıma zincirinde aksamalara yol açarak süperoksit anyonu (O_2^-), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali (•OH) gibi ROS oluşumunu artırmaktadır. Bu durum, hücresel antioksidan savunma sistemlerinin kapasitesini aşarak oksidatif stres yanıtlarını tetiklemektedir. Akuatik canlılarda PCP kaynaklı oksidatif stresin değerlendirilmesinde süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GPx) gibi antioksidan enzimler temel biyobelirteçler olarak kullanılmaktadır. Çok sayıda çalışmada, düşük ve orta düzeyde PCP maruziyetinin bu enzimlerin aktivitelerinde artışa neden olduğu, ancak kronik ve yüksek doz maruziyetlerde enzim aktivitelerinin baskılandığı bildirilmiştir. Bu durum, organizmaların başlangıçta telafi edici bir savunma yanıtı geliştirdiğini, ancak uzun süreli maruziyetlerde antioksidan sistemlerin yetersiz kaldığını göstermektedir [22].

2.3 NÖROTOKSİK ETKİLER

Kişisel bakım ürünlerinde (PCP'ler) yaygın olarak bulunan sentetik miskler, koruyucu maddeler ve yüzey aktif bileşenler, atık su arıtma tesislerinde tam olarak uzaklaştırılamayarak sucul ortamlara taşınmakta ve akuatik canlıların sinir sistemi üzerinde nörotoksik etkilere yol açabilmektedir [23]. Bu bileşiklerin başlıca etki mekanizmalarından biri, sinaptik boşlukta nörotransmitter asetilkolinin hidrolizinden sorumlu olan asetilkolinesteraz (AChE) enziminin inhibisyonudur. AChE aktivitesinin baskılanması, asetilkolinin sinaptik aralıkta birikmesine neden olarak nöronal uyarının uzamasına ve sinir iletiminin düzensizleşmesine yol açmaktadır [24]. PCP kaynaklı AChE inhibisyonunun, akuatik organizmalarda hem merkezi hem de periferik sinir sistemi fonksiyonlarını olumsuz etkilediği bildirilmektedir. Balıklarda yürütülen deneysel çalışmalarda, sentetik miskler ve bazı koruyucu maddelere maruziyetin AChE aktivitesinde anlamlı düşüşlere neden olduğu, bunun ise motor koordinasyon bozukluklarıyla ilişkili olduğu ortaya konmuştur [25]. Bu biyokimyasal değişimler; yüzme hızında azalma, yönelim kaybı, sürü davranışında bozulma ve anormal yüzme paternleri gibi davranışsal etkilerle kendini göstermektedir. Nörotoksik etkiler yalnızca motor fonksiyonlarla sınırlı kalmayıp, duyusal algı ve bilişsel süreçleri de etkilemektedir. PCP maruziyetinin balıklarda avlanma başarısını azalttığı, besin arama davranışını zayıflattığı ve yırtıcılardan kaçış reflekslerini geciktirdiği bildirilmektedir [26]. Bu durum, bireylerin hayatta kalma olasılığını azaltarak populasyon dinamikleri üzerinde dolaylı ancak ekolojik açıdan önemli etkiler yaratmaktadır. Özellikle erken yaşam evrelerinde sinir sistemi gelişiminin son derece hassas olması, PCP'lerin nörogelişimsel toksisite potansiyelini artırmaktadır [27]. Bunun yanı sıra, bazı PCP bileşenlerinin nörotransmitter metabolizması, iyon kanalları ve sinaptik proteinlerin ekspresyonu üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir. Glutamaterjik ve GABAerjik sinyal yollarındaki bozulmalar, sinirsel uyarılabilirliğin dengesizleşmesine ve stres yanıtlarının şiddetlenmesine neden olabilmektedir [28]. Bu moleküler ve hücresel düzeydeki değişimlerin, davranışsal bozuklukların kalıcı hale gelmesine zemin hazırladığı düşünülmektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2.4 METABOLİK VE ENERJİ DENGESİ BOZUKLUKLARI

Kişisel bakım ürünlerine (PCP'ler) maruziyet, akuatik canlılarda enerji metabolizması ve fizyolojik homeostazın bozulmasına neden olabilir. PCP'ler ve diğer antropojenik kirleticiler, sucul ortamlarda metabolik yolları etkileyerek organizmanın stres yanıtını tetikler ve kortizol gibi glukokortikoid hormonlarının salınımını artırır. Kortizol, teleost balıklarında ana stres hormonu olarak kabul edilir ve stres yanıtının bir bileşeni olarak artış gösterir; bu da kan glikoz ve laktat düzeylerinde değişiklikler gibi sekonder fizyolojik tepkilere yol açar [29]. PCP'lere veya atıksu kaynaklı kontaminantlara maruz kalan balıklarda yapılan çalışmalar, kan plazmasında artmış kortizol, glikoz ve laktat seviyeleri olduğunu göstermiştir; bu parametreler metabolik stresin hassas biyobelirteçleri olarak kullanılmaktadır. Kortizol yükselmesi, glikojen depolarının glikoz üretimini artırarak enerji sağlama mekanizmalarını harekete geçirir, ancak kronik maruziyet durumunda glikoz metabolizmasının düzensizleşmesine ve enerji dengesinin bozulmasına neden olabilir [29]. Ayrıca stres fizyolojisindeki bu değişimler, anaerobik metabolizmanın artmasına bağlı olarak laktat üretiminde yükselmeye yol açar; bu, organizmanın hızlı enerji talebini karşılamak için oksijen bağımlı yollar yerine daha az verimli anaerobik yolları kullanmasının bir göstergesidir [29]. Bu durum sadece energetik kaynakların optimal kullanımını engellemekle kalmaz, aynı zamanda hücresel asit-baz dengesini bozarak fizyolojik performansı ve davranışsal fonksiyonları da olumsuz etkileyebilir. Metabolik ve enerji dengesindeki bozulmalar, organizmanın sınırlı enerji rezervlerinin büyüme, üreme ve bağışıklık gibi yaşamsal süreçler arasında yeniden tahsis edilmesine yol açar. Enerjinin stres yanıtı için yönlendirilmesi, somatik büyümede gerileme, bağışıklık yanıtında zayıflama ve üreme performansında azalma ile sonuçlanabilir; bu da populasyon sağlığı ve bireysel hayatta kalma olasılığı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir.

4.SONUÇ

Kişisel bakım ürünleri modern yaşam için gerekli olsa da içerdiği kimyasallar sucul ekosistemler için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Bu bileşikler sucul canlılarda oksidatif stres, üreme bozuklukları, davranış değişiklikleri ve gelişimsel toksisite gibi geniş bir etki spektrumu yaratmaktadır. Hem ekolojik sağlık hem de insan gıda güvenliği için KBP kaynaklı kirliliğin izlenmesi, düzenlenmesi ve alternatif çevre dostu ürünlerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Probiyotiklerin, bitki özlerinin ve yenilikçi fermantasyon tekniklerinin entegrasyonundaki önemli gelişmeler sayesinde kozmetik ve tıbbi ürünlerin geleceği umut verici görünüyor. Bu kombinasyonların, aktif bileşikleri verimli bir şekilde iletmede, sinerjik etkiler yoluyla kullanılabilirliklerini ve aktivitelerini artırmada son derece etkili olduğu kanıtlanmıştır. Bu bileşenler arasındaki etkileşim, genellikle bireysel bileşenlerinin toplamından daha büyük faydalar sağlayan formülasyonlarla sonuçlanır. Bu gelişme, artırılmış antioksidan özellikler, çevresel hasara karşı daha iyi koruma ve gelişmiş yaşlanma karşıtı faydalar sunan ürünlere yol açmıştır.

KAYNAKÇA

[1]Yao, W., Qi, Y., Han, Y., Ge, J., Dong, Y., Wang, J., ... & Fu, P. (2024). Seasonal variation and dissolved organic matter influence on the distribution, transformation, and environmental risk of pharmaceuticals and personal care products in coastal zone: A case study of Tianjin, China. Water Research, 249, 120881.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[2]Boxall, A. B., & Brooks, B. W. (2024). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: What progress has been made in addressing the big research questions?. Environmental toxicology and chemistry, 43(3), 481-487.
[3]Bikiaris, N., Nikolaidis, N. F., & Barmpalexis, P. (2024). Microplastics (MPs) in cosmetics: a review on their presence in personal-care, cosmetic, and cleaning products (PCCPs) and sustainable alternatives from biobased and biodegradable polymers. Cosmetics, 11(5), 145.
[4]Carter, L. J., Armitage, J. M., Brooks, B. W., Nichols, J. W., & Trapp, S. (2024). Predicting the accumulation of ionizable pharmaceuticals and personal care products in aquatic and terrestrial organisms. Environmental Toxicology and Chemistry, 43(3), 502-512.
[5]Yuan, M., Faggio, C., Perugini, M., Aliko, V., & Wang, Y. (2023). Pharmaceuticals, personal care products and endocrine disrupting chemicals: The physiological consequences of exposure to pollutants in aquatic animals. Frontiers in Physiology, 14, 1145052.
[6] Wilkinson, J. L., Thornhill, I., Oldenkamp, R., Gachanja, A., & Busquets, R. (2024). Pharmaceuticals and personal care products in the aquatic environment: how can regions at risk be identified in the future?. Environmental toxicology and chemistry, 43(3), 575-588.
[7]Multisanti, C. R., Zicarelli, G., Caferro, A., Filice, M., Blahova, J., Vazzana, I., ... & Impellitteri, F. (2025). Personal care products as a potential source of aquatic pollution: Effect of polyvinyl alcohol on physiological and antioxidant responses in Mytilus galloprovincialis. Ecotoxicology and Environmental Safety, 298, 118336.
[8]Kumar, V., et al. (2019). Degradation of personal care products in wastewater. Journal of Environmental Chemical Engineering, 7, 103313.
[9]Abreu, M. S., et al. (2016). Effects of triclosan on behavioral and physiological parameters in zebrafish. Environmental Pollution, 219, 575–582.
[10]Downs, C. A., et al. (2016). Toxicopathological effects of oxybenzone on coral planulae. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 70(2), 265–288.
[11]Chen, X., Yu, S., & Yang, X. (2018). Occurrence and ecological risks of parabens in surface water. Environmental Pollution, 237, 352–362.
[12]Saaristo, M., et al. (2017). Endocrine disrupting chemicals alter fish behavior. Environmental Science & Technology, 51(2), 1083–1089.
[13]Dewalque, L., Pirard, C., & Charlier, C. (2014). Exposure to phthalates in humans and aquatic organisms. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 217, 269–279.
[14]Lara-Martín, P. A., et al. (2010). Environmental fate of synthetic surfactants. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 206, 95–145.
[15]Brausch, J. M., & Rand, G. M. (2011). A review of personal care products in the aquatic environment. Chemosphere, 82(11), 1518–1532.
[16]Wilkinson, J. L., Thornhill, I., Oldenkamp, R., Gachanja, A., & Busquets, R. (2024). Pharmaceuticals and personal care products in the aquatic environment: how can regions at risk be identified in the future?. Environmental toxicology and chemistry, 43(3), 575-588.
[17]. Brausch, J. M., & Rand, G. M. (2011). A review of personal care products in the aquatic environment: Environmental concentrations and toxicity. *Chemosphere, 82*(11), 1518–1532. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.11.018.
[18]. Kunz, P. Y., & Fent, K. (2006). Estrogenic activity of UV filter mixtures. *Toxicological Sciences, 90*(2), 349–361. https://doi.org/10.1093/toxsci/kfj082.
[19]. Schlumpf, M., et al. (2004). Endocrine activity and developmental toxicity of cosmetic UV filters. *Toxicology, 205*(1–2), 113–122. https://doi.org/10.1016/j.tox.2004.06.043.
[20]. Tyler, C. R., Jobling, S., & Sumpter, J. P. (2008). Endocrine disruption in wildlife: A critical review of the evidence. *Critical Reviews in Toxicology, 38*(5), 319–361. https://doi.org/10.1080/10408440701546450.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[21]. Sumpter, J. P., & Johnson, A. C. (2008). Reflections on endocrine disruption in the aquatic environment. *Environmental Toxicology and Chemistry, 27*(12), 2493–2498. https://doi.org/10.1897/08-389.1
[22], Prokkola, J. M., & Nikinmaa, M. (2018). Stress and stress coping in fish: The roles of glucose and lactate as indicators of stress physiology. *Journal of Fish Biology.*
[23]. Brausch, J. M., & Rand, G. M. (2011). A review of personal care products in the aquatic environment: Environmental concentrations and toxicity. *Chemosphere, 82*(11), 1518–1532. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.11.018
[24]. Schmid, S., Blümel, K., & Oehlmann, J. (2008). Acetylcholinesterase inhibition in aquatic organisms exposed to organic contaminants: Implications for neurotoxicity assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, *27*(7), 1594–1602. https://doi.org/10.1897/07-550.1
[25]. Sánchez-Argüello, P., Aparicio, N., Fernández, C., & Tarazona, J. V. (2019). Neurobehavioral effects of environmentally relevant concentrations of emerging contaminants in fish. *Environmental Pollution*, *252*, 893–902. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.039
[26]. Vieira, L. R., Gravato, C., Soares, A. M. V. M., Morgado, F., & Guilhermino, L. (2022). Effects of pharmaceuticals and personal care products on fish behavior and neurophysiology: A review. *Science of the Total Environment*, *806*, 150604. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150604
[27]. Chen, X., Li, J., Zhang, H., Wang, W., & Zhang, X. (2020). Developmental neurotoxicity of environmental contaminants in aquatic organisms: Behavioral and molecular responses. *Aquatic Toxicology*, *224*, 105502. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105502
[28]. Xu, H., Yang, J., Wang, Y., Jiang, Q., & Chen, J. (2021). Disruption of GABAergic and glutamatergic signaling pathways induced by emerging contaminants in aquatic organisms. *Environmental Research*, *197*, 111024. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111024
[29]. Madenjian, C. P., et al. (2023). Cortisol as a stress indicator in fish: Sampling methods, analytical techniques, and responses to organic pollutants. *Frontiers in Endocrinology.*

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

MİROPLASTİKLERİN BOZUNUMU: BİR İNCELEME

Prof. Dr. Arzu UÇAR[1]
[1]Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, arzuucar@atauni.edu.tr
0000-0001-5675-9401
Prof. Dr. Gonca ALAK[2]
[2]Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü,
galak@atauni.edu.tr,
0000-0002-7539-1152
Doç. Dr. Veysel PARLAK[3],
[3]Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü,
veysel.parlak@atauni.edu.tr,
0000-0002-3459-7963
Prof. Dr. Muhammed ATAMANALP [1]
[4] Atatürk Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, mataman@atauni.edu.tr,
0000-0002-2038-3921

ÖZET

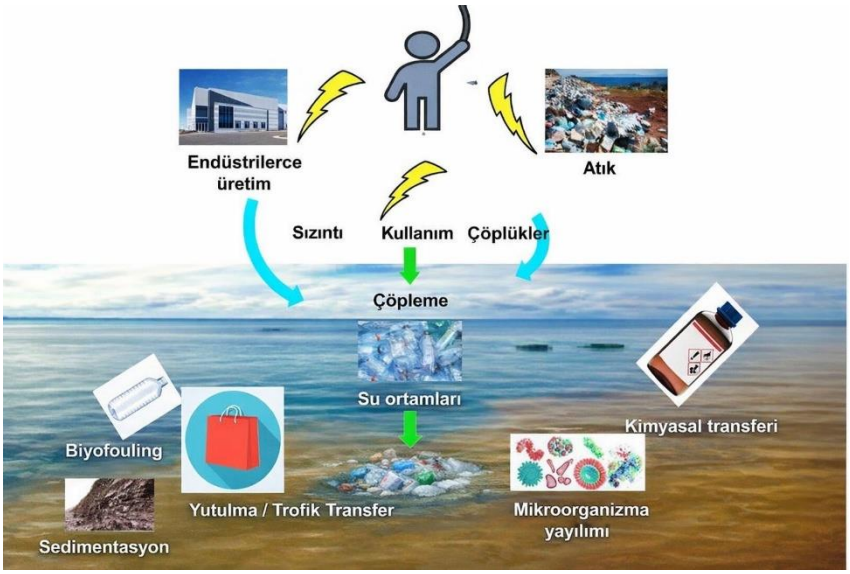
Akuatik sistemlerde diğer kirlilik çeşitlerine göre oldukça yeni olan ve küresel çapta dikkat çeken mikroplastikler (MP'ler), önemli ölçüde ilgi gören küresel bir çevre sorunu olarak görülmektedir. Mikroplastik parçacıkların varlığı, okyanus ekosisteminin önemli derinliklerine kadar uzanan çeşitli deniz, karasal ve tatlı su ortamlarında belgelenmiştir. Plastik malzemelerin daha küçük parçacıklara ayrılması, malzemenin zamanla kademeli olarak bozulması ve çevresel faktörlere tepki olarak meydana gelen doğal bir olgudur Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar, MP'lerin sucul ekosistemlerde kalıcı olması ve küresel üretimleri nedeniyle çoğu politika senaryosunda artacağı öngörülmektedir. Plastikler çevreye girdiğinde çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler (ışık, ısı, biyolojik aktivite, rüzgâr ve su akımlarına maruz kalma) sonucunda kademeli olarak mikro ve hatta nano ölçekli boyutlara parçalanabilir. Genellikle 5 mm'den küçük parçacıklar MP olarak kabul edilse de, kesin boyut sınırı konusunda henüz bir fikir birliği yoktur. Özgül ağırlıklarına bağlı olarak, bu parçacıklar su yüzeyinde, su sütununda veya tortuda bir araya gelme eğilimindedir. MP'lerin orijinal hallerine göre onların göçlerini, çevresel kaderlerini, ekolojik etkilerini ve ekosistem (su, toprak ve havadaki) toksisitelerini etkileyen faktörler; yüzey özellikleri, moleküler ağırlıkları, termal özellikleri, ıslanabilirlikleri, zeta potansiyelleri ve kristaliniteleri gibi önemli değişimlere uğramalarından kaynaklanır. Bu nedenle, MP fizikokimyasal özelliklerindeki dönüşüm mekanizmalarını ve değişiklikleri araştırmak, oluşum süreçlerini ve çevresel davranışlarını anlamak adına önemli bir aşamadır Bu sebeple akuatik ortamlar için en önemli risklerden biri olan MP degregasyonunda etkili olan unsur ve mekanizmalar araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, mikroplastik, , kirlilik

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Plastikler çevreye girdiğinde çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler (ışık, ısı, biyolojik aktivite, rüzgâr ve su akımlarına maruz kalma) sonucunda kademeli olarak mikro ve hatta nano ölçekli boyutlara parçalanabilir [1]. Mikroplastiklerin orijinal hallerine göre onların göçlerini, çevresel kaderlerini, ekolojik etkilerini ve ekosistem (su, toprak ve havadaki) toksisitelerini etkileyen faktörler; yüzey özellikleri, moleküler ağırlıkları, termal özellikleri, ıslanabilirlikleri, zeta potansiyelleri ve kristaliniteleri gibi önemli değişimlere uğramalarından kaynaklanır. Bu nedenle, MP fizikokimyasal özelliklerindeki dönüşüm mekanizmalarını ve değişiklikleri araştırmak, oluşum süreçlerini ve çevresel davranışlarını anlamak adına önemli bir aşamadır (Şekil 1).



Şekil 1. Sucul ekosistemlerde MP etkileri (Yousafzai et al., 2025)

Mikroplastikler, makroplastik atıklardan daha büyük bir yüzey-hacim oranına sahip olduklarından, aynı mekanizmalarla daha hızlı bozunurlar. Bu bozunmalarda dikkate alınan üç temel kategori; Mekanik (abiyotik), kimyasal (abiyotik) ve biyolojik (biyotik) bozunma olarak öne çıkar ve çoğu durumda, bu süreçler birbirine bağlı olarak meydana gelir (Şekil 2) [2]. Literatürde fotodegradasyon ve mikrobiyal aktivite gibi öncelikli iki mekanizma yoluyla plastik bozunmasının meydana geldiği bildirilmektedir [3-4-5-6].

1.1. MEKANİK BOZUNMA

Bu aşınma türünde MP'ler, yüksek enerji koşullarında veya uzun geçiş mesafelerinde tekrarlanan aşınmaya maruz kalan doğal tortu tanelerinin morfolojisine benzeyen kenarlara sahip parçacıklara dönüşür. Son araştırmalar, foto-yaşlanma ve mekanik karıştırmanın plastik parçalanması üzerindeki kümülatif etkilerinin olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, mekanik bozunmanın çevrede mikroplastik üretiminde baskın bir yol olarak önemini vurgulamaktadır. Mekanik parçalanmanın oranlarını ve mekanizmalarını nicelleştirmek, plastik atıkların çevresel kaderini değerlendirmek ve etkili azaltma stratejileri tasarlamak için çok önemlidir [2].

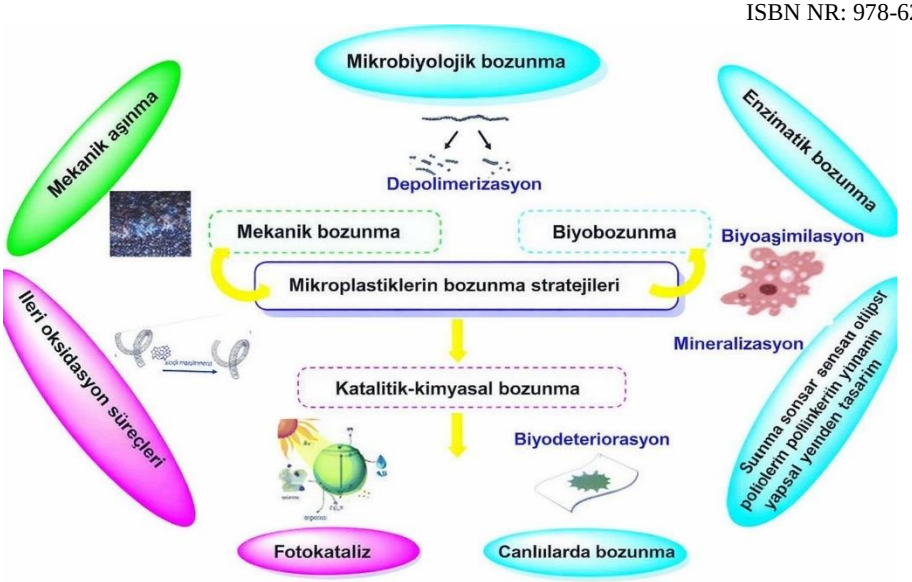
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1.2. KİMYASAL BOZUNMA

MP'lerin kimyasal bozunma derecesi, polimerin türüne, katkı maddelerinin (UV stabilizatörleri) varlığına ve birikim ortamına bağlı olarak değişir [7-8]. MP'lerin fiziksel özellikleri zamanla dalgalanarak renk değişimlerine, yüzey çatlaklarına ve kırılganlığa neden olan mekanik özellik kaybına ve moleküler ağırlık dalgalanmalarına yol açar. Bununla birlikte polimerde bulunan fenolik kimyasalların aşırı oksidasyonu sararma veya renk bozulmasına neden olur.

Fotodegradasyon mekanizması: Plastik bozunmayı başlatan en yaygın yaşlanma süreci olarak kabul edilmekle birlikte doğrudan ve dolaylı fotoyaşlanma olarak iki alt bölümde değerlendirilmektedir [3]. Genel olarak, MP'lerin fotodegradasyonu uzun süren bir süreçtir ve reaksiyon hızı, MP polimer türü, MP parçacıkların boyutu ve şekli gibi çok sayıda faktörden etkilenir. Mikroplastiklerin maruz kaldığı ultraviyole (UV) ışığın miktarı ve yoğunluğu çok önemlidir, çünkü UV ışığı fotodegradasyonu başlatmada en etkili ışıktır ve polimer radikallerine, oksidasyona, hidrojen ekstraksiyonuna ve zincir kopmasına veya çapraz bağlanmaya neden olur. Bilindiği üzere sentetik polimerler ve diğer plastik polimerler C–H, C–C, C–O, C–Cl ve C–N bağları içerir. Doğrudan fotoyıpranma, 290-400 nm dalga boylu UV ışığa maruz kaldıktan sonra daha düşük bağlanma enerjilerine sahip yüzey moleküller arası bağların koptuğu süreçtir. Bu kimyasal yapıların bağ enerjileri 100–290 nm'de UV ışığının enerjisinden daha düşük olduğundan, UV radyasyonla kırılabilirler. Dolaylı fotoyaşlanma, esas olarak C–H bağlarını kırmak için ışık altında fotonları emmek üzere polimerlerdeki kromoforları (veya kromofor kısımlarını) kullanan serbest radikal duyarlı fotoyaşlanma olarak tanımlanır. Plastik polimerlerin UV kaynaklı oksidasyonu tipik olarak zincir başlatma, zincir yayılımı ve zincir sonlanması olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir. Zincir başlatma aşamasında, UV ışığı, C-H bağının alkil radikalleri (Ri·) üretmesine neden olur. Bu alkil radikalleri (Ri·), alkil peroksil radikalleri (RiOO·) oluşturmak üzere O_2 ile reaksiyona girer. Alkil peroksil radikalleri (RiOO·) daha sonra hidrojen radikalleri (·H) ile birleşerek hidroperoksitler (RiOOH) oluşturur. RiO-OH'nin düşük ayrışma enerjisi nedeniyle, kolayca 4 alkoksil radikaline (RiO·) ve hidroksil radikaline (·OH) ayrılır. Reaktif oksijen türleri (ROS) ayrıca, UV ışığına maruz kalmanın neden olduğu fotoliz ve hümik maddeler gibi doğal fotosensitizörler altında polimer parçalanmasını kolaylaştırarak MP'lerin fotodegradasyonunda önemli bir rol oynar, hidroksil radikalleri (·OH), singlet oksijen ($1O_2$) ve süperoksit anyonları (O_2^-·) gibi ROS üretir, bunlar polimer zincirlerini oksitler ve parçalar. UV ışınımının MP'lerden çözünmüş organik maddelerin salınımında bir artışa neden olduğu ele alınmıştır. Eş zamanlı olarak, yaşlandırılmış MP'lerin yüzeyinde oluşan gözenekler ve çatlaklar, katkı maddelerinin sızmasını ve/veya fotodegradasyonunu teşvik eder. Örneğin, yıpranma, sırasıyla PVC ve PE salınan fitalatların (PAE'ler) ve TiO2 miktarını artırabilir ve PE'deki PAE'lerin bozunmasını daha da hızlandırabilir [3-8-9-10]. Dolaylı fotoyaşlanma, esas olarak C–H bağlarını kırmak için ışık altında fotonları emmek üzere polimerlerdeki kromoforları (veya kromofor kısımlarını) kullanan serbest radikal duyarlı fotoyaşlanma olarak tanımlanır [3].

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Şekil 2: Mikroplastiklerin enzimatik biyolojik bozunmasının aerobik ve anaerobik yolları [2]

1.3. BİYOLOJİK BOZUNMA MEKANİZMASI

Biyolojik bozunma, plastik atıkların mikroorganizmalar tarafından sindirilerek daha küçük parçalanması süreci olup, bu süreci gerçekleştirmek için şu işlemler kullanılır: kolonizasyon, biyolojik parçalanma, asimilasyon ve mineralizasyon. Bir mikroplastik parçacığın yüzeyi ortam suyuyla temas ettiğinde, parçanın üzerinde bir şartlandırma filmi oluşur; bu film, biyofilmlerin oluşması için gereklidir. Asimilasyon, orijinal plastik parçacık, moleküllerin mikroorganizmaların hücre duvarlarından geçebileceği kadar küçük parçalara ayrıldıktan sonra başlayabilir. Asimilasyon gerçekleştikten sonra moleküller enerji ve karbon kaynağı olarak kullanılabilir. Mineralizasyon adı verilen bu son aşama, CO_2, H_2 ve CH_4 üretimiyle sonuçlanır. Ayrıca, bu son aşama karbon biyokimyasal döngüsünü tamamlar. Karbondioksit, H_2O ve CH_4 sırasıyla aerobik veya anaerobik biyolojik bozunma sırasında üretilebilir. İklim, tuzluluk, ışık miktarı ve atmosferik kirleticiler de dahil olmak üzere çevresel faktörler, aerobik koşullar mevcut olduğunda biyolojik bozunmayı etkileyebilir [2].

Sıcaklık, plastiklerin yaşlanma süreci üzerinde önemli bir etkiye sahip olup özellikle yüksek sıcaklıklar, enzim aktivitesini uyararak biyolojik bozunmanın verimliliğini artırabilir. Mikrobiyal enzimlerin katalizlediği oksidasyon süreci sırasında oksijen, elektron alıcısı olarak görev yaparak plastiklerin biyolojik olarak parçalanmasında temel bir rol üstlenir. Daha yüksek oksijen konsantrasyonları bu süreci hızlandırır ve parçalanma hızında pH'da aktif rol alır. Bilindiği gibi bakteri popülasyonu ve enzimlerin özellikleri, özellikle pH ve sıcaklık olmak üzere çevresel koşullardan etkilenir. pH'daki küçük sapmaların (1,0'dan az) bile bakteri topluluklarında değişikliklere neden olduğu gözlemlenmiştir. Plastik yaşlanması sırasında ikincil plastik parçacıklar oluştukça, plastik yüzeyden ayrılarak boşluk yapıları oluştururlar. Bu süreç, yüzey pürüzlülüğünün artmasına, parçacık boyutunun küçülmesine ve adsorpsiyon kapasitesinin artmasına yol açarak, çevredeki organik ve inorganik maddelerin plastiğe yapışmasını sağlar. Sonuç olarak, plastik yüzey mikrobiyal büyüme ve üremeye elverişli hale gelir. Çevredeki mikroorganizmalar plastik yüzeyi kolonize etmeye başlar. Toprak veya sudan gelen öncü mikroorganizmalar plastiği kolonize ettikten sonra, pürüzlülük, hidrofilisite, yüzey potansiyeli ve özgül yüzey alanı gibi özelliklerini daha da değiştirirler. Bu değişiklikler, ototrofik ve heterotrofik mikroorganizmaların daha sonra kolonize olmasını kolaylaştırır. Mikroorganizmaların çeşitliliği ve bolluğu arttıkça, MP yüzeyindeki mikrobiyal ekosistem daha karmaşık hale gelir. Doğal çevresel seçilim, gen mutasyonları ve mikroorganizmalar

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
arasındaki genetik değişim yoluyla, bu mikro ekosistemler plastikleri karbon kaynağı olarak kullanabilen olgun mikrobiyal sistemlere dönüşür. MP'ler biyolojik bozunma oranları, polimer türüne, çevre koşullarına ve mikrobiyal aktiviteye bağlı olarak büyük ölçüde değişiklik gösterir. Deniz ortamlarında PS yılda % 0,05-0,08 oranında bozunurken, PET ihmal edilebilir bir bozunma gösterir (yılda % 0,001'den az). Bununla birlikte tatlı suda, PE yılda yaklaşık % 0,01 oranında bozunurken polivinil alkol (PVA) aerobik koşullar altında 30 gün içinde tamamen bozunur. Bozunma sırasında MP'ler, 1 µm' den daha küçük parçacıklar olarak tanımlanan NP'lere parçalanabilir. NP'ler, daha yüksek yüzey alanı-hacim oranları, artan reaktivite ve gelişmiş hareketlilik gibi belirgin özellikler sergiler ve bu da onların çevresel bileşenlerle daha kolay etkileşime girmelerini sağlar. Küçük boyutları, biyolojik zarlara nüfuz etmelerine olanak tanır ve bu da suda ve karada yaşayan organizmalarda biyolojik birikime ve potansiyel toksisiteye yol açar. Ayrıca NP'ler, ağır metaller ve hidrofobik organik bileşikler gibi kirleticileri adsorbe ederek ekosistemlerde kirletici taşınması için vektör görevi görebilir [7-8].

3. SONUÇ

Sonuç olarak, MP bozunması, polimer türü, parçacıkların boyutu / şekli ve çevresel koşullar da dâhil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenen karmaşık bir süreçtir. Bu parçacıkların tamamen bozunumları çok uzun yıllar sürebileceği ve çevrede daha da uzun süre kalabileceği bilinen bir gerçektir. Özellikle bu bozunumlarda gelecekteki perspektifler, bu parçacıkları daha hızlı ve verimli bir şekilde parçalamak için yeni teknolojilerin ve yöntemlerin geliştirilmesini içermelidir. Uygulanacak stratejilerde, malzeme bilimi, moleküler biyoloji, toksikoloji, çevre ve su ürünleri mühendisliğini birleştiren çok disiplinli bir yaklaşım benimsemelidir.
İlaç ve kişisel bakım ürünleri (PPCP'ler), günlük yaşamdaki uygulamaları ve su ortamındaki varlıkları nedeniyle dünya çapında dikkat çeken önemli yeni kirleticiler olarak kabul edilmektedir [1]. PPCP'ler, dünya çapındaki yoğun üretim ve kullanımları nedeniyle son zamanlarda yüzey ve yeraltı sularında, ayrıca balık ve bitki dokularında da tespit edilmiştir. İnsanlarda ve hayvanlarda hedef organlardaki belirli yollar ve süreçlerle etkileşime girmek üzere tasarlanmış biyolojik olarak aktif olan bileşiklerin çevredeki potansiyel etkileri, halk sağlığı, biyoçeşitlilik ve ekosistem bileşenleri konusunda endişeler dile getirilmiştir [2]. Çok sayıda çalışma, yüzey suları, yeraltı suları ve içme suları da dâhil olmak üzere farklı su kütlelerinde PPCP'lerin varlığına odaklanmıştır. Bu bileşikler kalıcıdır ve sonuç olarak su organizmalarında biyolojik olarak birikerek, hem su ekosistemi hem de insan sağlığı için potansiyel bir tehdit oluşturmaktadır [1].
Kozmetik formülasyonlar; kişisel temizlik ürünleri, cilt ve saç bakım ürünleri, kozmetik ürünler, koruyucu ürünler, düzeltici ürünler, bakım ürünleri ve aktif maddeli ürünlerden oluşur. Küresel kozmetik pazarı 2017 yılında 500 milyar ABD dolarına ulaşmış olup, yıllık yaklaşık %7'lik bir büyüme oranıyla 2024 yılına kadar 800 milyar ABD dolarını aşmıştır [3]. Önemli bir kısmı hijyen amaçlı kullanılan bu ürünler, atıksu sistemine ulaşmakta, konvansiyonel arıtma tesislerinde yeterince parçalanmadıkları için nehir, göl ve kıyı ekosistemlerine taşınmaktadır. Birçok KBP bileşiği kalıcı, yarı uçucu, lipofilik özelliklere sahiptir. Bu nedenle sucul organizmalarda birikme, kronik toksisite ve endokrin bozucu etkilere neden olabilmektedir. Bu kimyasalların bazıları insan kullanımında güvenli kabul edilse bile akuatik canlıların fizyolojisi ile uyumlu olmayabilir ve düşük konsantrasyonlarda dahi biyolojik stres yanıtlarını tetikleyebilir. Canlı organizmalarda kimyasal birikimi, emilim, dağıtım, metabolizma (biyotransformasyon) ve atılım süreçlerinin net bir sonucu olarak gerçekleşir. Yüksek omurgalılar hariç, ekolojik alıcılardaki bu süreçlere ilişkin mevcut anlayış, balıklar ve bitkiler için fazladır; ancak kavramsal olarak benzer süreçlerin, sucul ve karasal omurgasızlar da dahil olmak üzere diğer taksonlar için de geçerli olması beklenebilir [4]. Bu nedenle, akuatik canlılar kaçınılmaz olarak kirliliğe maruz kalamaktadır. Kirliliğe maruz kalmayla birlikte

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

biyomagnifikasyon riski de artar; yani, canlı organizmalarda toksik maddelerin birikimi, besin zincirinde bir sonraki trofik seviyeye çıkıldıkça artar, böylece kirleticilerin konsantrasyonu avcıda avdan daha yüksek düzeye ulaşır [5]. Birleşmiş Milletler Küresel Kalkınma Stratejisi'nin 6. Hedefi olan "Temiz Su ve Sanitasyon", suyun hem bir kaynak hem de sağlık ve refah için potansiyel bir risk olarak önemini vurgulamaktadır. Son 30 yılda, sucul ortamda birçok ilaç ve kişisel bakım ürünü (PCP) tespit edilmiştir. Çalışmalar, balıklarda üreme işlev bozukluğundan antimikrobiyal ilaçlara karşı direnç seçiliminin çevresel bileşenini tetiklemeye kadar su ekosistemleri üzerinde çok sayıda olumsuz etki bulmuştur. Son araştırmalar, bunların hem oluşumlarının hem de etkilerinin su ortamında iklimsel ve sosyoekonomik etkenlerle bağlantılı küresel sorunlar olduğunu göstermektedir [6].

KAYNAKÇA

S. M. Metev and V. P. Veiko, *Laser Assisted Microtechnology*, 2nd ed., R. M. Osgood, Jr., Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1998.

J. Breckling, Ed., *The Analysis of Directional Time Series: Applications to Wind Speed and Direction*, ser. Lecture Notes in Statistics. Berlin, Germany: Springer, 1989, vol. 61.

S. Zhang, C. Zhu, J. K. O. Sin, and P. K. T. Mok, "A novel ultrathin elevated channel low-temperature poly-Si TFT," *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 20, pp. 569–571, Nov. 1999.

M. Wegmuller, J. P. von der Weid, P. Oberson, and N. Gisin, "High resolution fiber distributed measurements with coherent OFDR," in *Proc. ECOC'00*, 2000, paper 11.3.4, p. 109.

R. E. Sorace, V. S. Reinhardt, and S. A. Vaughn, "High-speed digital-to-RF converter," U.S. Patent 5 668 842, Sept. 16, 1997.

(2002) The IEEE website. [Online]. Available: http://www.ieee.org/

M. Shell. (2002) IEEEtran homepage on CTAN. [Online]. Available: http://www.ctan.org/tex-archive/macros/latex/contrib/supported/IEEEtran/

FLEXChip Signal Processor (MC68175/D), Motorola, 1996.

"PDCA12-70 data sheet," Opto Speed SA, Mezzovico, Switzerland.

A. Karnik, "Performance of TCP congestion control with rate feedback: TCP/ABR and rate adaptive TCP/IP," M. Eng. thesis, Indian Institute of Science, Bangalore, India, Jan. 1999.

J. Padhye, V. Firoiu, and D. Towsley, "A stochastic model of TCP Reno congestion avoidance and control," Univ. of Massachusetts, Amherst, MA, CMPSCI Tech. Rep. 99-02, 1999.

Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, IEEE Std. 802.11, 1997.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

LESEPSİYEN BALIK TÜRÜ *TERAPON PUTA*'NIN KARATAŞ (ADANA) KIYILARINDAN İLK KAYDI

(FIRST RECORD OF THE LESSEPSIAN FISH *THERAPON PUTA* FROM THE COAST OF KARATAŞ (ADANA))

Prof. Dr. NURİ BAŞUSTA

Fırat Üniversitesi/Su Ürünleri Fakültesi, nbasusta@firat.edu.tr - 0000-0002-4260-4772

Prof. Dr. ASİYE BAŞUSTA

Fırat Üniversitesi/Su Ürünleri Fakültesi, agirgin@firat.edu.tr - 0000-0002-9903-1418

ÖZET

Küçük pullu terapon balığı ya da gargur balığı olarak isimlendirilmiş olan *Terapon puta* Cuvier, 1829, Akdeniz'e Kızıldeniz'den Süveyş Kanalı yoluyla girmiştir. Genellikle 30 metre derinliğe kadar açık kumlu zeminlerde yaşar. İskenderun Körfezi'nde *Pelates quadrilineatus* ve *Terapon puta* ile birlikte iki türle temsil edilirler. Uluslararası Doğa Koruma Birliği tarafından *T. puta* türünün statüsü henüz değerlendirilmemiştir. *T. puta*'ya ait iki birey 27 Eylül 2025 tarihinde yaklaşık 15-25 m derinlikte Karataş Karagöçer kıyılarında (Adana) amatör balıkçıdan elde edilmiştir. Aynı bölgeden yalancı ısparoz (*Pomadasys stridens*) türü ile birlikte bulunmuştur. Balık bireyleri incelenmek üzere buz içerisinde Fırat üniversitesi, Balıkçılık Biyolojisi laboratuvarına getirilmiş ve derin dondurucu içinde muhafaza edilmiştir. Tür tanımı, morfolojik özellikler ve metrik ölçümler yardımıyla tamamlanmıştır. Balık bireylerinin morfometrik ölçümleri, meristik sayımları kaydedilmiş ve fotoğrafı alınmıştır. Elde edilen balık bireylerinin toplam boyları ve ağırlıkları sırasıyla 10.9-13.1cm ve 14.41-26.16 g olarak bulunmuştur. Bu çalışma ile *T. puta* türünün Karataş (Adana) kıyılarından ilk kaydı ve bazı morfometrik ve meristik özellikleri verilmiştir. Bu kayıt aynı zamanda türün Türkiye denizlerindeki ikinci kaydıdır.

Anahtar Kelimeler: Gargur Balığı, *Terapon puta*, Lesepsiyen Tür, İskenderun Körfezi,

ABSTRACT

The small-scaled terapon, *Terapon puta* Cuvier, 1829, entered the Mediterranean Sea from the Red Sea via the Suez Canal. This species generally lives on open sandy bottoms up to a depth of 30 meters. In the Gulf of Iskenderun, it is represented by two species, *Pelates quadrilineatus* and *Terapon puta*. The status of *T. puta* has not yet been evaluated by the International Union for Conservation of Nature. Two individuals of *T. puta* were obtained by an recreational fisherman on September 27, 2025, at a depth of approximately 15-25 m off the coast of Karataş Karagöçer (Adana). They were found together with the false sparid (*Pomadasys stridens*) in the same area. The fish individuals were brought to the Fisheries Biology Laboratory of Fırat University in ice for examination and preserved in a deep freezer. Species description was completed using morphological characteristics and metric measurements. Morphometric measurements and meristic counts of fish individuals were recorded, and photographs were taken. The total lengths and weights of the obtained fish individuals were found to be 10.9-13.1 cm and 14.41-26.16 g, respectively. This study provides the first record of *T. puta* species from

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
the Karataş (Adana) coast and some of its morphometric and meristic characteristics. This is also the second record of the species in Turkish seas.
Kew words: Small-scaled terapon, *Terapon puta*, Lessepsian species, İskenderun Bay

1. GİRİŞ

Küçük pullu terapon ya da gargur balığı *Terapon puta* Cuvier, 1829, Teraponidae familyasının Akdenizde bulunan dört türünden birisidir. Diğer türlerle birlikte (*Terapon theraps*, *Terapon jarbua*, ve *Pelates quadrilineatus* Akdeniz'in çeşitli bölgelerinden kaydedilmiştir (Golani vd. 2017). Yaklaşık 30 m derinliğe kadar açık kumlu zeminlerde yaşarlar. Geniş tuzluluk aralığına uyum sağlar, haliçlere girer ve hatta tatlı suda yaşadığı gözlemlenmiştir. Hint-Pasifik bölgesinde yayılış göstermiştir, Süveyş Kanalı üzerinden Akdeniz'e girmiştir (Golani vd. 2006). Bu tür, Akdeniz'de ilk olarak Ben-Tuvia (1976) tarafından Mısır'daki Bardawil Lagünü'nden kaydedilmiş ve El-Aiatt ve Shalloof (2019) tarafından bu türün biyolojisi çalışılmıştır. Daha sonra Lübnan (Mouneimne 1977), Mısır (El-Haweet 2001; Bakhoum 2019), Suriye (Saad 2005), İsrail (Zenetos vd. 2017), Lübnan (Bariche ve Fricke, 2020) sularından bildirilmiştir. Türkiye denizlerinden sadece Yumurtalık Koyu'ndan (İskenderun Körfezi) türün ilk kaydı verilmiş (Manasırlı ve Mavruk, 2021), balık bireyine ait bazı morfometrik ve meristik karakterler kaydedilmiştir. *T. puta* türünün orta Akdeniz'den (İtalya, Adriyatik Denizi) ilk kaydı ise AlienFish projesi kapsamında sosyal medyadan grubunda yayınlanan bir dizi fotoğrafa dayanarak Trilango vd. (2022) tarafından verilmiş ancak herhangi bir morfometrik ve meristik özellikler tanımlanmamıştır. Bu çalışma *T. puta* türünün Karataş (Adana) kıyılarından ilk kaydını ve Türkiye denizlerinden ikinci kaydını oluşturmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

Terapon puta balık örneklerine ait bireyler Karataş Karagöçer (Adana) kıyılarından amatör balıkçıdan elde edilmiştir (Görsel 1).

Görsel 1. Karataş-Karagöçer kıyıları (İskenderun Körfezi) *Terapon puta* bireylerinin yakalanma alanı

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Balık bireyleri incelenmek üzere buz içerisinde Fırat üniversitesi, Balıkçılık Biyolojisi laboratuvarına getirilmiş ve derin dondurucu içinde muhafaza edilmiştir. Küçük pullu terapon balıklarının boyları 0.1 cm cetvelde, ağırlıkları ise 0.01 g duyarlı hassas terazide alınmıştır (Görsel 3).

T. puta bireylerinin tüm tanımlayıcı özellikleri Fischer ve Bianchi (1984) ye göre yapılmıştır. Balık bireylerinin morfometrik ölçümleri, meristik sayımları kaydedilmiş ve fotoğrafı alınmıştır (Görsel 2). Diğer türlerin ayırt edici özelliklerine bakıldığında *Terapon puta,* uzunlamasına çizgilerin şekliyle diğer akrabalarından ayırt edilebilmektedir. *T. puta*'da çizgiler dar ve düz iken, *T. jarbua*'da kavislidir (Manasirli & Mavruk, 2021). Diğer tür *T. therapes*'te çizgilerin genişliği aralarındaki boşluklara eşitken, *T. puta'*da belirgin şekilde daha dardır (Golani ve Appelbaum-Golani 2010). Ayrıca, *T. puta*'da pullar daha küçüktür. *T. puta*'da yanal çizginin üzerinde 10 ila 17 sıra pul bulunurken, *T. therapes*'te 6 ila 8 sıra pul bulunmaktadır (Fischer ve Bianchi 1984).

.

Görsel 2. Karataş kıyılarında yakalanan küçük pullu terapon (*Terapon puta*) balıkları

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Elde edilen balık bireylerinin morfometrik ölçümleri sırasıyla; toplam boylar 109-131 mm, çatal boylar 106-129 mm, standart boylar 92-113 mm, baş boyları 26-34 mm, vücut yükseklikleri 25-31 mm, kuyruk sapı yükseklikleri 8-10 mm, göz çapları 6-7 mm, ağırlıkları 14.41-26.16 g olarak tartılmıştır. Balıklara ait meristik özellikler ise Dorsal yüzgeç XI + 10; Anal yüzgeç III + 9; Pektoral yüzgeç 13-14; Ventral yüzgeç I + 5; yan çizgideki pul sayısı ise

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

85-89 olarak bulunmuştur. Bu bulgular Manaşırlı ve Mavruk (2021) tarafından bildirilen bulgularla benzerlik göstermektedir.

4.TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Terapon puta türünün Karataş Karagöçer (Adana) kıyılarında bulunması bu balığın İskenderun Körfezi'nde yerleştiğinin göstergesidir. Daha önce Yumurtalık Koyu'ndan bildirilen bu türün birbirine yakın bölgelerde bulunması bu bulguyu doğrulamaktadır. Bu çalışma *T. puta*'nın Türkiye kıyılarından ikinci kaydını ve en batı ucunu oluşturmaktadır. Bununla birlikte Doğu Akdeniz'deki yerleşik bir popülasyon olmasına rağmen, kıyılarımızda ilk olarak 2021 yılında görülmesi bu lesepsiyen türün habitatının kıyısal alan olması nedeniyle ticari avcılığın olmaması ve balıkçıların gözünden kaçmış olabileceği düşünülmektedir.

Diğer yandan, Trilango vd. (2022) ye göre Venedik Lagünü'nde *T. puta*'nın varlığı, balast suyu yoluyla ikincil bir girişin olabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle, bu türlerin Akdeniz'e girişleri ve yayılımları daha ayrıntılı olarak incelenmelidir.

KAYNAKÇA

Ben-Tuvia, A. Occurrence of Red Sea fishes *Herklotsichthys punctatus, Autisthes puta* and *Rhonciscus stridens* in the eastern Mediterranean. Israel Journal of Zoology 25: 212-213, 1976.

Bariche, M., Fricke, R., The marine ichthyofauna of Lebanon: An annotated checklist, history, biogeography, and conservation status. Zootaxa 4775(1): 1-157, 2020.

Golani, D., Öztürk, B., Başusta, N., *Fishes of the Eastern Mediterranean*, Turkish Marine Research Foundation, Publication no. 24, Istanbul, 259 pp., 2006.

Golani, D., Appelbaum-Golani, B., First record of the Indo-Pacific fish the Jarbua terapon (*Terapon jarbua*) (Osteichthyes: Terapontidae) in the Mediterranean with remarks on the wide geographical distribution of this species. Sci Mar 74: 717-720, 2010.

Golani, D., Massutí, E., Quignard, J.-P., Dulčić, J., Azzurro, E. *CIESM Atlas of Exotic Fishes in the Mediterranean*, (2017. Available at: http://www.ciesm.org/atlas/appendix1.html. (accessed 1 Dec. 2025).

El-Aiatt, A.A.O., Shalloof, K.A.S., Study on the biology of the small scaled terapon *Terapon puta* (Cuvier, 1829) from Bardawil Lagoon, North Sinai, Egypt. Egypt J Aquat Biol Fish 23: 95-107, 2019.

El-Haweet, A., Catch composition and management of daytime purse seine fishery on the southern Mediterranean Sea coast, Abu Qir Bay, Egypt. Medit Mar Sci 2: 119-126, 2001.

Fischer, W., Bianchi, G., Species identification sheets for fishery purposes. Western Indian Ocean. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes,1984.

Manasırlı, M. Mavruk. S. First record of small scaled terapon, *Terapon puta* Cuvier, 1829, in Turkey. Journal of Black Sea/ Mediterranean Environment 27 (1): 98-103.2021.

Mouneimne, N., Liste des poissons de la côte du Liban (Méditerranée orientale). Cybium 1: 37-66, 1977.

Saad, A., Check-list of bony fish collected from the coast of Syria. Turkish J Fish Aquat Sci 5: 99-106, 2005.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Tiralongo, F., Akyol, O., Al-Mabruk, S.A., Battaglia, P., Beton, D., Bitlis, B., Borg, J.A., Bouchoucha, M., Çınar, M.E., Crocetta, F., Dragicevic, B., Dulcic, J., Evangelopoulos, A., Evans, J., Fortic, A., Gauff, R.P.M., Georgiadis, C.G., Gökoğlu, M., Grech, D., et al., New alien Mediterranean biodiversity records (August 2022). Medit. Mar. Sci. 23:725–747, 2022.

Zenetos, A., Çinar, M.E., Crocetta, F., Golani, D., Rosso, A., Servello, G., Shenkar, N., Turon, X., Verlaque, M., Uncertainties and validation of alien species catalogues: The Mediterranean as an example. Estuar Coast Shelf Sci 191: 171-187, 2017.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

DENİZKEDİSİNİN (*CHIMAERA MONSTROSA*) HATAY-SAMANDAĞ AÇIKLARINDAN (DOĞU AKDENİZ) GÖRÜNÜRLÜĞÜ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

(A STUDY ON THE OCCURENCE OF THE RABBITFISH (*CHIMAERA MONSTROSA*) OFF THE COAST OF SAMANDAĞ-HATAY (EASTERN MEDITERRANEAN SEA))

Prof. Dr. NURİ BAŞUSTA

Fırat Üniversitesi/Su Ürünleri Fakültesi, nbasusta@firat.edu.tr - 0000-0002-4260-4772

ÖZET

Denizkedisi ya da tavşan balığı olarak bilinen *Chimaera monstrosa*, Linnaeus 1758, genellikle 200-1000 m derinlikte görülen derin deniz kıkırdaklı balıklarındandır. *C. monstrosa* türü Uluslararası Doğa Koruma Birliği tarafından statüsü savunmasız (VU) olarak belirlenmiştir. Kuzeydoğu Akdeniz'de tek türle temsil edilirler. 20 Kasım 2025 tarihinde yaklaşık 550-600 m derinlikte Samandağ (Hatay) açıklarında yapılan ticari dip trolü ile yapılan avcılıkta hedef dışı balık olarak *C. monstrosa* bireyi yakalanmıştır. *C. monstrosa* bireyi incelenmek üzere buz içerisinde Fırat üniversitesi, Balıkçılık Biyolojisi laboratuvarına getirilmiş ve türe ait morfometrik ölçümler ve cinsiyet kaydedilmiştir. Tür tanımı, morfolojik özellikler yardımıyla tamamlanmıştır. Balık örneği derin dondurucu içinde muhafaza edilmiş ve Müze Katalog numarası verilmiştir. Elde edilen balık bireyinin dişi bireyden oluştuğu belirlenmiştir. *C. monstrosa* bireyine ait toplam boy ve ağırlık ise 45.6 cm ve 202.34 g olarak bulunmuştur. Bu çalışma ile *C. monstrosa* türünün Samandağ açıklarından kaydı ve bazı morfometrik özellikleri verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Denizkedisi, *Chimaera monstrosa*, Kıkırdaklı Balıklar, Holocephali

ABSTRACT

Chimaera monstrosa, Linnaeus 1758, also known as chimaera or rabbitfish, is a deep-sea cartilaginous fish typically found at depths of 200–1000 m. *C. monstrosa* species is classified as vulnerable (VU) by the International Union for Conservation of Nature. They are represented by a single species in the northeastern Mediterranean. On November 20, 2025, a *C. monstrosa* individual was caught as a bycatch during a commercial bottom trawling operation at approximately 550–600 m depth off Samandağ (Hatay). *C. monstrosa* individual was transported in ice to the Fisheries Biology Laboratory at Fırat University for examination, and morphometric measurements and sex determination were performed. Species identification was completed with the help of morphological characteristics. The fish specimen was preserved in a deep freezer and given a Museum Catalog number. It was determined that the obtained fish individual was a female. The total length and weight of the *C. monstrosa* individual were found to be 45.6 cm and 202.34 g. This study provides a record of the *C. monstrosa* species from off the coast of Samandağ and some of its morphometric characteristics.

Kew words: Rabbit fish, *Chimaera monstrosa*, Cartilaginous fishes, Holocephali

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Denizkedisi ya da tavşan balığı olarak bilinen *Chimaera monstrosa*, Linnaeus 1758, derin denizlerde yaşayan kıkırdaklı bir balık türüdür. Genellikle 200-1000 metre derinliklerde, dipte yaşayan bentopelajik balıklardır (Moura et al., 2005). Erkeklerin başlarında, çiftleşme sırasında dişiyi kavramak için kullandıkları boynuz benzeri bir "kıskaç" bulunur. Karın yüzgecinin arka kenarında iki gerçek kıskaç yer alır. Çok büyük ve ince yumurtaları vardır. Derin deniz trol ağlarıyla nadiren yakalanırlar. Norveç ve İzlanda'dan Fas'a kadar Atlantik-Akdeniz bölgesinde yaşarlar ve Güney Afrika'dan da bazı şüpheli kayıtları mevcuttur (Golani vd., 2006). Denizkedileri derin denizdeki en gizemli gruplardan biri olarak kabul edilir ve haklarında çok az veri mevcuttur. Uzun zamandır bilinen bir tür olmasına rağmen, ekolojisi, davranışı ve popülasyon yapısı hakkındaki hala yeterli bilgi bulunmamaktadır (Catarino vd. 2017). Önceleri dünya okyanusları ve denizleri genelinde görüldüğü bildirilen bu balık, şu anda yalnızca Kuzeydoğu Atlantik Okyanusu ve Akdeniz'de dağılım göstermekte ve hedef dışı avlanma sonucu yüksek ölüm oranları yaşamaktadır (Carugati vd. 2024).

Doğu Akdeniz'den Mısır'ın derin sularından *C. monstrosa* ve diğer tür *Hydrolagus mirabilis* bildirilmesine rağmen denizlerimizde sadece *C. monstrosa* türü ile temsil edilmektedir. Denizkedisinin Marmara Denizi'nden kaydı Dalyan (2010) tarafından rapor edilmiştir. Türe ait morfometrik özellikler ise Kuzey Kıbrıs derin sularından Çiftçi vd. (2019) ve Kuzey Ege Denizi'nden Dalyan vd. (2021) ve Gökçeada'dan Cabbar vd. (2022) tarafından verilmiştir. Diğer yandan Bayhan vd. (2018) Mersin Körfezi'nden 68 cm boyunda tek bir birey elde etmişlerdir. Türle ilgili ilk biyolojik çalışma Ege Denizi'nde Sığacık Körfezi açıklarında Eronat (2016), boy-ağırlık ilişkileri ise Filiz ve Bilge (2004) tarafından yapılmıştır. Bu çalışma denizkedisinin Samandağ açıklarından kaydını ve morfometrik özelliklerini vermek amacıyla yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışma materyali denizkedisi Samandağ (Hatay) açıklarında 20 Kasım 2025 tarihinde yaklaşık 550-600 m derinlikte yapılan ticari dip trolü ile yapılan avcılıkta hedef dışı yakalanmıştır. *C. monstrosa* bireyi (Görsel 1) incelenmek üzere buz içerisinde Fırat üniversitesi, Balıkçılık Biyolojisi laboratuvarına getirilmiş ve derin dondurucu içinde muhafaza edilmiştir. Türe ait morfometrik ölçümler ve cinsiyet kaydedilmiştir. Balık bireyinin tanımlayıcı fotoğrafları alınmış ve Müze Katalog numarası verilmiştir. Tür tanımı Golani vd. (2006)'ye göre

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

yapılmıştır. Denizkedisinin boyu 0.1 cm cetvelde (Görsel 3), ağırlığı ise 0.01 g duyarlı hassas terazide alınmıştır.

Görsel 1. Samandağ (Hatay) Açıkları *Chimaera monstrosa* bireyinin avlanma bölgesi

Türün ayırt edici özelliklerine bakıldığında *Hydrolagus mirabilis* ve *C. mostrosa* birbirlerine çok benzerler. Ancak *C. monstrosa*, anal yüzgecinin mızrak şeklinde kuyruk yüzgecinden belirgin şekilde ayrı olmasıyla ayırt edilebilir. İkinci sırt yüzgeci uzundur ve orta kısmında belirgin bir çukurluk yoktur. Sırtı ve yanları yeşilimsi-gümüş rengindedir. Kahverengi lekeler uzunlamasına dağılmıştır; yüzgeçler grimsi olup, sırt, anal ve kuyruk yüzgeçlerinde siyah bir kenar bulunur (Farrag, 2016).

Görsel 2. Samandağ (Hatay) açıklarında yakalanan denizkedisi (*Chimaera monstrosa*)

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

C. monstrosa bireyine ait FSM 64 müze numarası verilmiştir. morfometrik ölçümler de toplam boy 456 mm, Kuyruk yüzgeci öncesi uzunluk 293 mm, vücut yüksekliği 59 mm, burun ucu anüs uzunluğu 154 mm, baş uzunluğu 68 mm, baş yüksekliği 49 mm göz önü uzunluğu 37 mm göz genişliği 18 mm, göz yüksekliği 16 mm, burun ucu birinci dorsal uzunluk 76 mm, burun ucu ikinci dorsal uzunluk 122 mm ve ağırlık ise 202.34 g olarak bulunmuştur.Bu morfometrik ölçümler Çiftçi vd. (2019) ve Cabbar vd. (2022) tarafından bildirilen bulgularla benzerlik göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

4.TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Samandağ açıklarında yakalanan denizkedisi bireyi incelenmiştir. Önceki çalışmalardaki *C. monstrosa*'ya ait morfometrik verilere bakıldığında mevcut bulgularla kısmen benzerlik görülmektedir. Bu farklılık toplam boy kullanılmasından kaynaklanabilir. Bu türe ait morfometrik çalışmalarda burun ucundan kuyruk yüzgecinin ön ucuna kadar ölçülmesi gereklidir (kuyruk yüzgeci öncesi uzunluk). Bu türde kuyruk uçlarının kopması yaygın bir durumdur. Literatürde bu türün bildirilen maksimum toplam uzunluğu 150 cm, eşeysel olgunluk boyu ise yaklaşık 45,9 cm'dir (Moura vd., 2004). Bu çalışmada incelenen örneğin toplam boyu 45.6 cm olduğundan, örneğimizin eşeysel olgunluğa henüz ulaştığını söyleyebiliriz.

Denizkedileri ile ilgili çalışmaların son derece yetersiz olması ve türün bulunma ortamının genellikle uluslararası sularda yasadışı, bildirilmemiş ve düzenlenmemiş (IUU) balıkçılık alanlarında olması balıkçılık yönetimi açısından türün korunmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle bu türün diğer ülkelerle uzlaşı sağlanarak bölgesel yönetim modelleri ile koruma altına alınması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Akyol, O., Çoker, T. & Perçin, F., The very rare and little-known fishes along the coasts of Izmir (Aegean Sea, Turkey) in the past 40 years (1969–2008). Journal of Applied Ichthyology, 27, 1337–1345, 2011.

Bayhan, Y.K., Ergüden, D., Cartes, J.E., Deep Sea Fisheries in Mersin Bay, Turkey, Eastern Mediterranean: Diversity and Abundance of Shrimps and Benthic Fish Fauna. Acta zool. bulg., 70 (2), 259-268, 2018.

Cabbar, K., Yığın, C.C., Daba, İ.B., Occurrence and Detailed Morphometric Measurements of Rabbitfish (*Chimaera monstrosa* Linnaeus, 1758) from The Gökçeada Island (North Aegean Sea). EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences.6;23, 659-663, 2022.

Carugati, L., Cappelletti, A., Melis, R., Di Crescenzo, S., Bellodi, A., Soler-Membrives, A., Follesa, M.C. and Cannas, R., On the genetic diversity of *Chimaera monstrosa* Linnaeus, 1758 (Chordata, Chondrichthyes, Holocephali) in the Mediterranean Sea. Front. Fish Sci. 2:1354791, 2024.

Catarino, D., Stankovic, D., Menezes, G., Stefanni, S., Insights into the genetic structure of the rabbit fish *Chimaera monstrosa* (Holocephali) across the Atlantic-Mediterranean transition zone. J Fish Biol., 91:1109–1122, 2017.

Çiftçi, N., Akbora, H.D., Ayas, D., Bakan, M., Occurrence of the rabbitfish (*Chimaera monstrosa* Linnaeus, 1758) in the deep seas of Northern Cyprus, Mediterranean Sea. Marine Science and Technology Bulletin, 8(2): 46–49, 2019.

Dalyan, C., Deniz biyoçeşitliliği. Bilim ve Teknik 516: 56–59, 2010.

Dalyan, C., Gönülal, O., Kesici, N. B., Eryılmaz, L., Tunçer, S., and Öztekin, A. New and confirmed records and rare occurrences of some deep sea fishes in the Turkish waters of the northern Aegean Sea (Mediterranean Sea). FishTaxa, 21, 1-18, 2021.

Farrag, M.M., Deep-sea ichthyofauna from Eastern Mediterranean Sea, Egypt: Update and new records. The Egyptian Journal of Aquatic Research 42(4): 479-489, 2016.

Filiz, H., & Bilge, G., Length-weight relationships of 24 fish species from the North Aegean Sea, Turkey. Journal of Applied Ichthyology, 20, 431–432, 2004.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Golani, D., Öztürk, B., Başusta, N., *Fishes of the Eastern Mediterranean*, Turkish Marine Research Foundation, Publication no. 24, Istanbul, 259 pp., 2006.

Moura, T., Figueiredo, I., Machado, P. B. & Gordo, L. S., Growth pattern and reproductive strategy of the holocephalan *Chimaera monstrosa* along the Portuguese continental slope. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 84(4): 801–804, 2004.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

RAMSAR ALANI ULUABAT GÖLÜ (BURSA)'NDEKİ *Silurus glanis*' TE *Eustrongylides excisus* İLK KAYIT: PARAZİTOLOJİK VE ZOONOTİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. NURTEN NURLU AYDOGDU

[1]Balıkesir University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Hydrobiology, Balikesir, Türkiye. ✉aydogdunurten98@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-9926-166X

ÖZET

Bu çalışma, uluslararası öneme sahip bir sulak alan olan Ramsar statüsündeki Uluabat Gölü (Bursa)'nden elde edilen *Silurus glanis* (L., 1758) bireylerinde *Eustrongylides excisus* larvalarının varlığını ortaya koymak ve söz konusu parazitin zoonotik potansiyelini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında, Temmuz–Ağustos 2024 tarihleri arasında Uluabat Gölü'nden yakalanan toplam 13 adet *S. glanis* bireyi iktiyohelmintolojik açıdan incelenmiştir. Balıkların vücut boşluğu, visseral organları ve kas dokuları makroskobik ve mikroskobik yöntemlerle değerlendirilmiş; saptanan nematod larvaları izole edilmiştir. Parazitlerin tanımlanması, morfolojik özellikleri esas alınarak ve ilgili literatür doğrultusunda yapılmıştır. İncelenen yayın balıklarında toplam 102 adet *Eustrongylides* larvası tespit edilmiş olup, larvaların ağırlıklı olarak vücut boşluğunda lokalize olduğu belirlenmiştir. Saptanan parazitlerin morfolojik özelliklerinin, *Eustrongylides* cinsine özgü ayırt edici karakterlerle uyumlu olduğu görülmüş ve klasik taksonomik yöntemlere dayanarak tür düzeyinde *Eustrongylides excisus* olarak tanımlanmıştır. Araştırma sonucunda, incelenen 13 *S. glanis* bireyinin 8'inde enfeksiyon saptanmış; enfeksiyon yaygınlığı %61,54, ortalama yoğunluk 12,75 parazit/enfekte balık ve ortalama bolluk 7,85 parazit/balık olarak hesaplanmıştır. Bir bireyde kaydedilen en yüksek larva sayısı ise 22 olarak belirlenmiştir. Uluabat Gölü'nde *Eustrongylides* türlerinin varlığı daha önce farklı balık türlerinde rapor edilmiş olmakla birlikte, bu çalışma *Silurus glanis* bireylerinde *Eustrongylides excisus* enfeksiyonunu ortaya koyan ilk parazitolojik kayıt niteliğindedir. Larvaların genellikle balıkların karın boşluğu ve iç organlarında lokalize olduğu, ancak kas dokusunda da yerleşebildiği belirlenmiştir. Çiğ veya az pişmiş balık tüketimi yoluyla insanlara bulaşabilen *Eustrongylides* spp.'nin, insanlarda gastrit ve bağırsak travmalarına yol açabildiği bildirilmektedir. Bu kapsamda elde edilen bulgular, Uluabat Gölü'nde saptanan *Eustrongylides excisus*'un zoonotik potansiyele sahip bir nematod türü olduğunu ve yöresel mutfakta yaygın olarak tüketilen *S. glanis* aracılığıyla insan sağlığı açısından risk oluşturabileceğini düşündürmektedir. Bu yönüyle çalışma sonuçları, Uluabat Gölü ekosisteminde zoonotik potansiyele sahip *Eustrongylides* türlerinin One Health yaklaşımı çerçevesinde izlenmesi ve değerlendirilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Silurus glanis*, *Eustrongylides excisus*, Uluabat Gölü, Ramsar sulak alanı, zoonoz, One Health

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

FIRST RECORD OF *Eustrongylides excisus* IN *Silurus glanis* FROM THE RAMSAR SITE LAKE ULUABAT (BURSA): A PARASITOLOGICAL AND ZOONOTIC ASSESSMENT

Dr. NURTEN NURLU AYDOGDU

[1]Balıkesir University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Hydrobiology, Balikesir, Türkiye.

✉ aydogdunurten98@gmail.com **ORCID ID:** 0000-0002-9926-166X

ABSTRACT

This study was conducted to determine the presence of *Eustrongylides excisus* larvae in specimens of *Silurus glanis* (L., 1758) collected from Lake Uluabat (Bursa), a wetland of international importance designated as a Ramsar site, and to evaluate the zoonotic potential of this parasite. Within the scope of the study, a total of 13 *S. glanis* specimens captured from Lake Uluabat between July and August 2024 were examined from an ichthyohelminthological perspective. The body cavity, visceral organs, and muscle tissues of the fish were evaluated using macroscopic and microscopic methods, and the detected nematode larvae were isolated. Parasite identification was carried out based on morphological characteristics in accordance with the relevant literature. A total of 102 *Eustrongylides* larvae were detected in the examined catfish specimens, with the larvae predominantly localized in the body cavity. The morphological features of the detected parasites were found to be consistent with the diagnostic characteristics specific to the genus *Eustrongylides*, and based on classical taxonomic methods, they were identified at the species level as *Eustrongylides excisus*. As a result of the study, infection was recorded in 8 out of the 13 examined *S. glanis* specimens. The prevalence of infection was calculated as 61.54%, the mean intensity as 12.75 parasites per infected fish, and the mean abundance as 7.85 parasites per fish. The maximum number of larvae recorded in a single individual was 22. Although the presence of *Eustrongylides* species in Lake Uluabat has previously been reported in different fish species, this study represents the first parasitological record documenting *Eustrongylides excisus* infection in *Silurus glanis*. While the larvae were generally observed to be localized in the body cavity and internal organs of the fish, they were also found to be present in muscle tissue. It has been reported that *Eustrongylides* spp., which can be transmitted to humans through the consumption of raw or undercooked fish, may cause gastritis and intestinal trauma in humans. In this context, the findings obtained suggest that *Eustrongylides excisus* detected in Lake Uluabat is a nematode species with zoonotic potential and that *S. glanis*, which is widely consumed in the local cuisine, may pose a risk to human health. From this perspective, the results of the study highlight the necessity of monitoring and evaluating *Eustrongylides* species with zoonotic potential in the Lake Uluabat ecosystem within the framework of the One Health approach.

Keywords: *Silurus glanis*, *Eustrongylides excisus*, Lake Uluabat, Ramsar wetland, zoonosis, One Health

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

FIRSAT NOKTASI (OPPORTUNISTIC) YÖNTEMİYLE FOTOKAPAN ENVANTERİ

Mevlüt ZENBİLCİ, Dilek ARSLAN HİSARKAYA, Yasin ÜNAL,

Öğr.Gör. Mevlüt ZENBİLCİ

[1]Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Rektörlük, zenbilci1907@gmail.com- ORCİD ID 0000- 0002-9329-0419

Uzman Biyolog Dilek ARSLAN HİSARKAYA

2Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, D.Arslan-55@hotmail.com- Orcid:0000-0003-0489-8033

Doç. Dr. Yasin ÜNAL

[3]Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, yasinunal@isparta.edu.tr- ORCID ID 0000-0001-7180-133X

ÖZET

Yaban hayatının izlenmesi ve biyolojik çeşitliliğin ortaya konulması, özellikle gececil türler söz konusu olduğunda önemli yöntemsel zorluklar içermektedir. Fotokapanlar, bu zorlukların aşılmasında son yıllarda yaygın olarak kullanılan, invazif olmayan ve uzun süreli veri üretme kapasitesine sahip etkili araçlardır. Fotokapan çalışmalarında örnekleme tasarımı, elde edilen verinin güvenilirliği ve yorumlanabilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, Fırsat Noktası (opportunistic) yöntemi, sistematik örnekleme tasarımlarının uygulanmasının güç olduğu alanlarda alternatif bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

Fırsat noktası yöntemi, fotokapanların hayvanların geçiş ihtimalinin yüksek olduğu patika, su kaynağı, vadi tabanı, geçit noktası, sırt hattı ve iz yoğunluğu bulunan alanlara, ön bilgi ve saha deneyimine dayalı olarak yerleştirilmesini esas alır. Türkiye'de yapılan fotokapan envanter çalışmalarında bu yöntem, özellikle dağlık alanlar, orman içi mozaik habitatlar ve geniş korunan alanlarda sıkça tercih edilmektedir. Türkçe literatürde, fotokapan kullanımına ilişkin çalışmalar; orta ve büyük memeli türlerin varlığının belirlenmesi, tür zenginliği değerlendirmesi ve faunal envanter oluşturulması amacıyla fırsatçı yerleşim stratejilerinin pratik ve maliyet etkin bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, fırsat noktası yöntemi istatistiksel genelleme gücü bakımından sınırlılıklar içermektedir. Örnekleme birimlerinin rastgele olmaması, mutlak yoğunluk ve bolluk tahminlerinde yanlılığa neden olabilmektedir. Bu nedenle, fırsatçı fotokapan verilerinin daha çok tür varlığı, dağılım örüntüleri ve göreli bolluk indeksleri kapsamında değerlendirilmesi önerilmektedir. Sonuç olarak, fırsat noktası yöntemi, Türkiye koşullarında yaban hayatı envanteri ve izleme çalışmalarında önemli bir tamamlayıcı araç olup, sistematik tasarımlar ve diğer izleme yöntemleriyle birlikte kullanıldığında güçlü bir bilimsel altyapı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Yaban Hayatı, Fotokapan, Yaban hayatı envanteri

GİRİŞ

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Biyolojik çeşitliliğin korunması ve yaban hayatı popülasyonlarının sürdürülebilir biçimde yönetilmesi, günümüz ekoloji ve koruma biyolojisi çalışmalarının temel hedefleri arasında yer almaktadır. Küresel ölçekte artan habitat kaybı, parçalanma, iklim değişikliği ve insan kaynaklı baskılar, birçok yaban hayvanı türünün dağılım alanlarını daraltmakta ve popülasyon dinamiklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle, türlerin varlığı, dağılımı ve zamansal aktivite örüntülerinin doğru ve güvenilir biçimde izlenmesi, etkili koruma stratejilerinin geliştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Yaban hayatı araştırmalarında özellikle büyük memeliler ve gizli davranış sergileyen türler için veri toplama süreci önemli metodolojik zorluklar içermektedir. Bu türlerin çoğu gececil, insanlardan kaçınan ve geniş alanlar kullanan canlılar olup, doğrudan gözlem, iz sürme veya sayım gibi geleneksel yöntemlerle izlenmeleri çoğu zaman güçtür. Ayrıca yoğun orman örtüsü, engebeli topoğrafya ve erişim kısıtları, saha çalışmalarının etkinliğini sınırlayan temel faktörler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, invazif olmayan ve uzun süreli veri sağlayabilen izleme teknikleri, yaban hayatı ekolojisi çalışmalarında giderek daha fazla tercih edilmektedir.

Fotokapanlar, bu gereksinimlere yanıt veren en etkili araçlardan biri olarak kabul edilmektedir. Hareket ve ısı sensörleri yardımıyla çalışan bu sistemler, günün her saatinde, insan varlığına ihtiyaç duymadan veri toplayabilmekte; tür varlığı, tür zenginliği, aktivite düzenleri ve bazı durumlarda bireysel tanımlama gibi çok sayıda ekolojik bilginin elde edilmesine olanak tanımaktadır. Fotokapan temelli çalışmalar, son yirmi yılda küresel ölçekte yaygınlaşmış; tür envanteri oluşturma, göreli bolluk tahmini, işgal olasılığı analizleri ve insan-yaban hayatı etkileşimlerinin değerlendirilmesi gibi pek çok alanda standart yöntemlerden biri hâline gelmiştir (O'Connell et al., 2011).

Fotokapan verilerinin bilimsel geçerliliği büyük ölçüde örnekleme tasarımına bağlıdır. Literatürde, düzenli grid sistemleri, rastgele örnekleme ve fırsat noktası (opportunistic) yaklaşımı gibi farklı tasarımlar tanımlanmaktadır. Düzenli grid temelli örnekleme, istatistiksel açıdan güçlü ve karşılaştırılabilir sonuçlar sunmasına karşın; geniş alanlarda yüksek maliyet, yoğun iş gücü ve uzun süreli saha çalışmaları gerektirmektedir. Özellikle dağlık, ormanlık ve ulaşımı zor alanlarda bu tür sistematik tasarımların uygulanması pratikte çoğu zaman mümkün olmamaktadır.

Bu noktada, fırsat noktası (opportunistic) yöntemi, yaban hayatı araştırmalarında esnek ve uygulanabilir bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bu yaklaşımda fotokapanlar, önceden belirlenmiş bir grid sistemine bağlı kalınmaksızın; hayvanların kullanım olasılığının yüksek olduğu ekolojik açıdan anlamlı noktalara yerleştirilmektedir. Yaban hayvanı patikaları, su kaynakları, dar geçitler, sırt hatları, beslenme alanları ve doğal koridorlar, bu yöntemde sıklıkla tercih edilen alanlar arasında yer almaktadır. Böylece, kısa sürede yüksek sayıda tür kaydı elde edilmesi mümkün olmaktadır (Silveira et al., 2003).

Fırsat noktası yöntemi, özellikle ön envanter çalışmaları, koruma alanlarının biyolojik potansiyelinin hızlı değerlendirilmesi ve veri eksikliği bulunan bölgelerde tür varlığının ortaya konması amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, sınırlı bütçe ve zaman koşullarında çalışan araştırmacılar için önemli avantajlar sunmakta; saha çalışmalarının lojistik açıdan daha yönetilebilir hâle gelmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, yerel ekolojik bilgi ve saha deneyimiyle desteklendiğinde, nadir ve düşük yoğunluklu türlerin tespit edilme olasılığını artırabilmektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bununla birlikte, fırsat noktası yaklaşımı bazı yöntemsel sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Fotokapanların hayvan geçişlerinin yoğun olduğu alanlara yerleştirilmesi, örneklemenin rastgele olmamasına ve dolayısıyla örnekleme yanlılığına neden olabilmektedir. Bu durum, bazı türlerin aşırı temsil edilmesine, bazı türlerin ise yeterince kaydedilememesine yol açabilmektedir. Özellikle göreli bolluk indeksleri ve türler arası karşılaştırmalar yapılırken bu sınırlılığın dikkate alınması gerekmektedir (Sollmann et al., 2013).

Algılama olasılıklarının tür, habitat ve davranış özelliklerine göre değişkenlik göstermesi, fırsat noktası yöntemiyle elde edilen verilerin doğrudan popülasyon yoğunluğu ile ilişkilendirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, bu yöntemin daha çok tür varlığı, tür zenginliği ve aktivite örüntülerinin belirlenmesi gibi betimleyici amaçlarla kullanılması önerilmektedir. Bununla birlikte, yöntemsel şeffaflığın sağlanması ve kamera yerleşim kriterlerinin ayrıntılı biçimde raporlanması, elde edilen sonuçların bilimsel değerini artırmaktadır.

Türkiye, sahip olduğu topoğrafik çeşitlilik, iklimsel farklılıklar ve biyocoğrafik konumu nedeniyle zengin bir yaban hayatı potansiyeline sahiptir. Ancak bu çeşitlilik, aynı zamanda yaban hayatı izleme çalışmalarında önemli lojistik ve metodolojik zorluklar doğurmaktadır. Özellikle Toroslar gibi dağlık bölgelerde, düzenli örnekleme tasarımlarının uygulanması çoğu zaman güçleşmektedir. Bu bağlamda, fırsat noktası yöntemi, Türkiye'de yürütülen yaban hayatı envanterleri için pratik ve etkili bir yaklaşım sunmaktadır.

Bu bildirinin amacı, fırsat noktası (opportunistic) yöntemiyle gerçekleştirilen fotokapan envanterlerinin kuramsal altyapısını ve uygulama esaslarını ayrıntılı biçimde ele almak, yöntemin avantaj ve sınırlılıklarını güncel literatür ışığında tartışmak ve yaban hayatı izleme çalışmalarındaki kullanım potansiyelini ortaya koymaktır. Çalışma, özellikle korunan alanlar ve doğal habitatlarda yürütülen biyolojik çeşitlilik araştırmaları için yöntemsel bir çerçeve sunmayı hedeflemektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Konuya ilişkin daha önce yapılmış olan çalışmalar ulusal ve uluslararası veri tabanları (Dergipark, TRIndex, ULAKBİM, ERIC ve Web of Science) kullanılarak incelenmiştir. Araştırmada doküman analizi yöntemi kullanılmış olup ulaşılan makalelerden güncel olanlar çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmanın uygulamalı materyal kısmını ise, saha çalışmaları kapsamında farklı istasyonlara kurulan fotokapan cihazlarından elde edilen görsel veriler (fotoğraf ve video kayıtları) teşkil etmektedir. Literatür taramasından elde edilen teorik bilgiler ile fotokapan kayıtlarından gelen ampirik veriler harmanlanarak çalışma kapsamındaki bulgular derlenmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Şekil 1. Çalışmalarda kullanılan fotokapanlara ait görüntü

TARTIŞMA

Fırsat noktası yöntemiyle gerçekleştirilen fotokapan envanterleri, özellikle sınırlı zaman ve bütçe koşullarında yürütülen yaban hayatı çalışmalarında önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu yaklaşım, hayvanların doğal hareket örüntülerine dayalı olarak seçilen alanlarda veri toplanmasına imkân tanıdığı için kısa sürede yüksek tür tespit başarısı sunabilmektedir. Literatürde, bu yöntemin büyük ve orta boy memelilerin tespitinde etkili olduğu ve ön envanter çalışmalarında güvenilir tür listeleri oluşturulmasına katkı sağladığı vurgulanmaktadır (Tobler et al., 2008).

Bununla birlikte, fırsat noktası yönteminin temel sınırlılığı, örnekleme tasarımının rastgele olmamasından kaynaklanmaktadır. Fotokapanların hayvan geçişlerinin yoğun olduğu noktalara yerleştirilmesi, bazı türlerin aşırı temsil edilmesine, bazı türlerin ise göz ardı edilmesine yol açabilmektedir. Bu durum, özellikle göreli bolluk indeksleri ve türler arası karşılaştırmalar yapılırken dikkatli olunmasını gerektirir. Algılama olasılıklarının tür, habitat ve davranış özelliklerine bağlı olarak değişmesi, sonuçların doğrudan popülasyon yoğunluğu ile ilişkilendirilmesini güçleştirmektedir (Sollmann et al., 2013).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bu nedenle, fırsat noktası yöntemiyle elde edilen verilerin yorumlanmasında yöntemsel şeffaflık büyük önem taşımaktadır. Kamera yerleşim kriterlerinin ayrıntılı biçimde raporlanması, bağımsız kayıt tanımlarının açıkça belirtilmesi ve sonuçların yöntemsel sınırlılıklarla birlikte sunulması gerekmektedir. Ayrıca, mümkün olduğunda bu yöntemin düzenli grid temelli örnekleme veya işgal modelleri gibi tamamlayıcı yaklaşımlarla desteklenmesi önerilmektedir.

Türkiye'de yürütülen yaban hayatı araştırmalarında, özellikle dağlık ve ormanlık alanlarda fırsat noktası yöntemi pratik bir çözüm sunmaktadır. Milli parklar, yaban hayatı geliştirme sahaları ve korunan alanlarda yapılan çalışmalar için bu yöntem hem bilimsel bilgi üretimi hem de koruma planlaması açısından değerli veriler sağlamaktadır.

Şekil 2. Fırsat noktası yönteminde kullanılan fotokapana örnek

SONUÇ

Fırsat noktası (opportunistic) yöntemiyle gerçekleştirilen fotokapan envanterleri, yaban hayatı izleme çalışmalarında özellikle veri eksikliği bulunan, erişimi zor ve geniş alanlara sahip habitatlarda etkili ve uygulanabilir bir yaklaşım sunmaktadır (Burton et al., 2015; Steenweg et

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

al., 2017). Bu yöntem, hayvanların doğal hareket ve alan kullanım örüntülerine dayalı olarak belirlenen ekolojik açıdan anlamlı noktalarda veri toplanmasına olanak tanıyarak, kısa sürede yüksek tür tespit başarısı sağlamaktadır. Özellikle büyük ve orta boy memeliler ile gizli davranış sergileyen türlerin varlığının ortaya konmasında, ön envanter ve hızlı değerlendirme çalışmalarında önemli bir araç niteliği taşımaktadır (O'Brien et al., 2003; Kays et al., 2011).

Çalışma kapsamında değerlendirilen literatür ve saha verileri, fırsat noktası yönteminin tür varlığı, tür zenginliği ve zamansal aktivite örüntülerinin belirlenmesi gibi betimleyici amaçlar için güvenilir sonuçlar üretebildiğini göstermektedir (Cusack et al., 2015; Burton et al., 2015). Bununla birlikte, örneklemenin rastgele olmaması nedeniyle yöntemin örnekleme yanlılığı riski taşıdığı ve bu durumun özellikle göreli bolluk tahminleri ile türler arası karşılaştırmalarda sınırlılıklar doğurduğu bilinmektedir (Sollmann et al., 2013; Carbone et al., 2001). Bu nedenle, elde edilen verilerin popülasyon yoğunluğu veya mutlak bolluk göstergeleri olarak yorumlanmasından kaçınılmalı; sonuçlar yöntemin doğası gereği sunduğu çerçeve içinde değerlendirilmelidir (Rowcliffe et al., 2008).

Fırsat noktası yaklaşımının bilimsel değerinin artırılabilmesi için, kamera yerleşim kriterlerinin açık ve ayrıntılı biçimde raporlanması, bağımsız kayıt tanımlarının netleştirilmesi ve analizlerin yöntemsel kısıtlar dikkate alınarak yapılması büyük önem taşımaktadır (Meek et al., 2014; Burton et al., 2015). Ayrıca, olanaklar dâhilinde bu yöntemin düzenli grid temelli örnekleme tasarımları, işgal modelleri veya diğer nicel yaklaşımlarla desteklenmesi, elde edilen bulguların karşılaştırılabilirliğini ve yorum gücünü artıracaktır (MacKenzie et al., 2018; Steenweg et al., 2017).

Türkiye'nin karmaşık topoğrafik yapısı ve yüksek biyolojik çeşitliliği göz önünde bulundurulduğunda, fırsat noktası yöntemi fotokapan temelli yaban hayatı çalışmalarında pratik, maliyet etkin ve uygulanabilir bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Korunan alanlar, yaban hayatı geliştirme sahaları ve doğal ekosistemlerde yürütülecek biyolojik çeşitlilik envanterleri için bu yaklaşım, hem bilimsel veri üretimi hem de koruma ve yönetim planlarının oluşturulması açısından önemli katkılar sunmaktadır (O'Brien et al., 2003; Steenweg et al., 2017). Bu bağlamda, fırsat noktası yöntemi, sınırlılıkları açıkça tanımlanmış ve uygun biçimde yorumlanmış olmak kaydıyla, yaban hayatı izleme çalışmalarında tamamlayıcı ve değerli bir yöntem olarak değerlendirilmelidir (Sollmann et al., 2013).

KAYNAKÇA

Burton, A. C., Neilson, E., Moreira, D., Ladle, A., Steenweg, R., Fisher, J. T., Bayne, E., & Boutin, S. (2015). Wildlife camera trapping: A review and recommendations for linking surveys to ecological processes. *Journal of Applied Ecology, 52*(3), 675–685. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12432

Carbone, C., Christie, S., Conforti, K., Coulson, T., Franklin, N., Ginsberg, J. R., Griffiths, M., Holden, J., Kawanishi, K., Kinnaird, M., Laidlaw, R., Lynam, A.,

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Macdonald, D. W., Martyr, D., McDougal, C., Nath, L., O'Brien, T., Seidensticker, J., Smith, D. J. L., … Wan Shahruddin, W. N. (2001). The use of photographic rates to estimate densities of tigers and other cryptic mammals. *Animal Conservation, 4*(1), 75–79. https://doi.org/10.1017/S1367943001001081

Cusack, J. J., Dickman, A. J., Kalyahe, M., Rowcliffe, J. M., Carbone, C., Macdonald, D. W., & Coulson, T. (2015). Random versus game trail-based camera trap placement strategy for monitoring terrestrial mammal communities. *PLoS ONE, 10*(5), e0126373. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126373

Kays, R., Tilak, S., Kranstauber, B., Jansen, P. A., Carbone, C., Rowcliffe, M., Fountain, T., & Eggert, J. (2011). Camera traps as sensor networks for monitoring animal communities. *International Journal of Research and Reviews in Wireless Sensor Networks, 1*(2), 19–29.

MacKenzie, D. I., Nichols, J. D., Royle, J. A., Pollock, K. H., Bailey, L. L., & Hines, J. E. (2018). *Occupancy estimation and modeling: Inferring patterns and dynamics of species occurrence* (2nd ed.). Academic Press.

Meek, P. D., Ballard, G., Fleming, P., Schaefer, M., Williams, W., & Falzon, G. (2014). Camera traps can be heard and seen by animals. *PLoS ONE, 9*(10), e110832. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110832

O'Brien, T. G., Kinnaird, M. F., & Wibisono, H. T. (2003). Crouching tigers, hidden prey: Sumatran tiger and prey populations in a tropical forest landscape. *Animal Conservation, 6*(2), 131–139. https://doi.org/10.1017/S1367943003003172

Rowcliffe, J. M., Field, J., Turvey, S. T., & Carbone, C. (2008). Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. *Journal of Applied Ecology, 45*(4), 1228–1236. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01473.x

Sollmann, R., Mohamed, A., Samejima, H., & Wilting, A. (2013). Risky business or simple solution – Relative abundance indices from camera-trapping. *Biological Conservation, 159*, 405–412. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.12.025

Steenweg, R., Hebblewhite, M., Kays, R., Ahumada, J., Fisher, J. T., Burton, C., & Towns, V. (2017). Scaling-up camera traps: Monitoring the planet's biodiversity with networks of remote sensors. *Frontiers in Ecology and the Environment, 15*(1), 26–34. https://doi.org/10.1002/fee.1448

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

BEYDAĞLARI SAHİL MİLLİ PARKI BÜYÜK MEMELİ FAUNASI

Uzman Biyolog Dilek ARSLAN HİSARKAYA

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, D.Arslan-55@hotmail.com- Orcid:0000-0003-0489-8033

Öğr. Gör. Mevlüt ZENBİLCİ

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Rektörlük, zenbilci1907@gmail.com- ORCİD

ID 0000- 0002-9329-0419

Doç. Dr. Yasin ÜNAL

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, yasinunal@isparta.edu.tr- ORCID ID 0000-0001-7180-133X

ÖZET

Beydağları Sahil Milli Parkı, Antalya ilinde, Toros Dağları'nın Akdeniz kıyı kuşağında yer alan, topoğrafik, faunistik ve floristik çeşitliliğiyle öne çıkan önemli bir korunan alandır. Deniz seviyesinden 3000 metreye yaklaşan yükselti gradyanı, kızılçam (*Pinus brutia*) ormanları, sedir (*Cedrus libani*) ve ardıç (*Juniperus spp.*) formasyonları, maki ve alpin habitatlar gibi farklı ekosistemlerin bir arada yayılış gösterdiği ender milli parklardan bir tanesidir. Bu biyolojik ve ekolojik çeşitlilik, milli parkın büyük memeli fauna açısından yüksek tür zenginliğine sahip olmasını sağlamaktadır.

Milli parkta kaydedilen başlıca büyük memeli türleri arasında Yaban keçisi (*Capra aegagrus*), yaban domuzu (*Sus scrofa*), vaşak (*Lynx lynx*), karakulak (*Caracal caracal*), kurt (*Canis lupus*), çakal (*Canis aureus*) ve kızıl tilki (*Vulpes vulpes*) yer almaktadır. Yaban keçisi özellikle sarp kayalık alanlar ve yüksek rakımlı bölgelerde yoğunlaşarak parkın anahtar türlerinden biri konumundadır. vaşak (L. lynx) ve karakulak (C. caracal) ise, geniş alan gereksinimleri ve habitat bütünlüğüne yüksek duyarlılıkları nedeniyle, Beydağları Sahil Milli Parkı'nda şemsiye türler olarak değerlendirilmekte olup, bu türlere yönelik koruma yaklaşımları çok sayıda diğer memeli ve habitat tipinin eş zamanlı olarak korunmasına katkı sağlamaktadır.

Beydağları Sahil Milli Parkı'ndaki büyük memeli toplulukları, Akdeniz–Toros geçiş zonunun doğal ekolojik süreçlerini yansıtan önemli bir biyolojik miras niteliğindedir. Bu türlerin etkin korunması; habitat bütünlüğünün sürdürülmesi, insan–yaban hayatı etkileşimlerinin azaltılması ve fotokapan temelli uzun dönemli izleme çalışmalarının devamlılığı ile mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Milli Park, Yaban Hayatı, Fotokapan, Yaban hayatı envanteri

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. Giriş

Beydağları Sahil Milli Park(BSMP), ı, sahip olduğu doğal kaynak değerlerine, endemik ve nadir türleriyle ulusal ve uluslararası düzeyde korunma önceliğine sahip bir alandır. Parkın biyolojik çeşitliliği, özellikle büyük memeli türleri açısından zengin bir yapıya sahiptir. Ancak bu zenginliğin sürdürülebilirliğine, etkin bir koruma ve yönetim stratejisinin performansına bağlıdır. Büyük memelilerin korunması, yalnızca türlerin sürekliliği açısından değil, aynı zamanda ekosistemin sürdürülmesi ve insan refahının büyüme bakış açısına da kritik bir bakış açısına sahiptir.

Fotokapan temelli çalışmalar, büyük memelilerin özellikle yüksek rakımlı, kayalık ve ormanlık alanlarda yoğunlaştığını; kıyıya yakın kesimlerde ise insan faaliyetleri nedeniyle mekânsal kaçınma davranışları sergilediklerini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, Beydağları Sahil Milli Parkı'nın büyük memeli faunasının korunması için habitat sürekliliği ve insan baskısının yönetiminin kritik olduğunu göstermektedir.

BSMP Antalya il sınırları içinde, Akdeniz kıyısı boyunca uzanan yaklaşık 34.425 ha'lık bir alanı kapsayan IUCN Kategori II korunan alandır. BSMP, dağlık ve kıyı habitatlarının bir arada bulunması nedeniyle yüksek biyolojik çeşitliliğe sahip olmasıyla bilinir. Park, antik yerleşim yerleri, maki ve çam ormanları, kanyonlar ve kayaç yüzeyleri gibi çeşitli habitatları bünyesinde barındırır. Milli Parkı, buzul devirlerinin dondurucu soğuklarından korunmuş, denize inen ve kuzeye kapalı derin vadi ve kanyonlara sahip Antalya ilindeki önemli endemizm merkezlerindendir.

Türkiye'de vaşak (*Lynx lynx*), özellikle Karadeniz, Doğu Anadolu ve Toroslar boyunca uzanan ormanlık ve dağlık ekosistemlerde yayılış gösteren, biyolojik çeşitliliğin korunması açısından kritik öneme sahip bir üst yırtıcıdır. Beydağları–Toroslar kuşağında vaşak, özellikle sedir (*Cedrus libani*), ardıç (*Juniperus spp*.) ve kızılçam (*Pinus brutia*) ormanlarıyla karakterize, yüksek topoğrafik heterojenliğe sahip alanlarda varlık gösteren önemli bir üst yırtıcıdır. Beydağları Sahil Milli Parkı ve çevresini kapsayan Batı Toroslar'da vaşağın mekânsal kullanımı; dik yamaçlar, kayalık–orman mozaikleri ve karaca (*Capreolus capreolus*) ile yaban keçisi (*Capra aegagrus*) gibi av türlerinin mevcudiyetiyle yakından ilişkilidir. Fotokapan ve habitat uygunluk modellemelerine dayanan çalışmalar, türün bu bölgede düşük yoğunluklarda, geniş ve bağlantılı yaşam alanlarına gereksinim duyduğunu; orman yolları, turizm baskısı ve yasa dışı avcılığın ise habitat parçalanmasını artırarak vaşağın alan kullanımını sınırlandırdığını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda Beydağları–Toros Dağları ekosistemlerinde vaşağın korunması, orman sürekliliğinin sağlanması, yol etkilerinin azaltılması ve uzun dönemli fotokapan-temelli izleme programlarının uygulanmasıyla mümkündür (Ambarlı vd., 2016; Breitenmoser vd., 2015; Sunde vd., 2022).

Beydağları Sahil Milli Parkı ve çevresindeki Batı Toroslar, kurt'un Akdeniz iklim kuşağında varlığını sürdürdüğü önemli ekolojik geçiş alanlarından biridir. Bölgede kurt popülasyonları, yaban domuzu (*Sus scrofa*) ve yaban keçisi gibi türlere dayalı esnek bir beslenme stratejisi sergilemekte; bu durum trofik ilişkilerin düzenlenmesinde belirleyici rol oynamaktadır. Son yıllarda yapılan peyzaj ölçekli çalışmalar, kurdun Beydağları'nda özellikle insan baskısının görece düşük olduğu yüksek rakımlı ve orman–kayalık mozaik alanları tercih ettiğini, ancak

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

kırsal yerleşimlere yakın alanlarda insan–yaban hayatı çatışması riskinin arttığını göstermektedir. Bu bulgular, Batı Toroslar'da kurt'un korunmasının habitat bağlantılarının sürdürülmesine doğrudan bağlı olduğunu ortaya koymaktadır (van Eeden vd., 2021; Kuijper vd., 2022).

Yaban domuzu, Batı Toroslar'da yer alan Beydağları Sahil Milli Parkı ekosistemlerinde geniş yayılış gösteren, yüksek ekolojik esnekliğe sahip kilit bir omnivor türdür. Bölgedeki kızılçam, sedir ve maki formasyonları, yaban domuzu için hem besin çeşitliliği hem de barınma açısından elverişli koşullar sunmaktadır. Güncel çalışmalar, Beydağları'nda yaban domuzu yoğunluğunun meşe palamudu, yumru bitkiler ve tarımsal alanlara yakınlık gibi kaynaklarla yakından ilişkili olduğunu; türün toprak eşeleme davranışı yoluyla bitki örtüsü dinamikleri ve tohum yayılımı üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte yüksek popülasyon yoğunlukları, tarımsal zararlar ve insan–yaban hayatı çatışmasını artırmakta; bu durum, yaban domuzunun bölgede kurt ve vaşak gibi üst yırtıcılarla olan trofik ilişkilerinin ekosistem dengesi açısından önemini daha da belirgin hale getirmektedir. Beydağları–Batı Toroslar sisteminde yaban domuzunun etkin yönetimi, popülasyon izleme çalışmaları ile habitat–yırtıcı etkileşimlerinin bütüncül olarak ele alınmasını gerekli kılmaktadır (Massei vd., 2015; Melis vd., 2021; Santilli & Monaco, 2023).

Tilki (*Vulpes vulpes*), yüksek ekolojik esnekliği ve geniş besin yelpazesi sayesinde Batı Toroslar'daki Beydağları Sahil Milli Parkı ekosistemlerinde yaygın olarak gözlenen orta boyutlu bir karnivordur. Bölgede kızılçam ormanları, maki formasyonları ve açık alanlardan oluşan mozaik habitatları etkin biçimde kullanmakta; kemirgenler, küçük memeliler, sürüngenler, böcekler ve bitkisel materyallerden oluşan omnivor beslenme stratejisiyle farklı çevresel koşullara hızla uyum sağlayabilmektedir. Güncel çalışmalar, tilkinin Beydağları'nda özellikle insan varlığına yakın alanlarda alan kullanımını artırdığını ve bu özelliğiyle insan-dominant peyzajlarda "uyumlu tür" niteliği taşıdığını göstermektedir. Bununla birlikte tilkinin yüksek bolluğu, küçük memeli ve yer yuvalayan kuş türleri üzerinde baskı oluşturabilmekte; ayrıca kurt ve vaşak gibi üst yırtıcıların alan kullanımına bağlı olarak mekânsal ve zamansal kaçınma davranışları sergilediği bilinmektedir. Bu bağlamda Beydağları–Batı Toroslar ekosistemlerinde tilki, hem trofik ağların alt ve orta basamaklarında düzenleyici bir unsur hem de insan etkisinin biyolojik göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Newsome vd., 2017; Gompper vd., 2020; Díaz-Ruiz vd., 2023).

Yaban keçisi (*Capra aegagrus*), Batı Toroslar'da yer alan Beydağları Sahil Milli Parkı ekosistemlerinin karakteristik ve ekolojik açıdan kilit büyük memeli türlerinden biridir. Tür, Beydağları'nda özellikle dik ve sarp kayalık alanlar, uçurumlar ve bu alanlarla ilişkili ardıç, sedir ve kızılçam ormanlarının üst zonların da yayılış göstermektedir. Güncel saha çalışmaları ve mekânsal modellemeler, yaban keçisinin Beydağları'nda topoğrafik kaçış alanlarının varlığına güçlü biçimde bağımlı olduğunu; insan erişiminin arttığı alanlardan kaçınma davranışı sergilediğini ortaya koymaktadır. Popülasyon yoğunluğu ve alan kullanımı, mevsimsel olarak besin kaynakları ve su varlığıyla şekillenmekte; bu durum, türün bölgedeki kurt ve vaşak gibi üst yırtıcılar için temel av türlerinden biri olmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte yol açma faaliyetleri, rekreasyonel kullanım ve yasa dışı avcılık, Beydağları–Batı Toroslar sisteminde yaban keçisinin uzun vadeli korunmasını tehdit eden başlıca baskı unsurları arasında yer

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

almaktadır. Bu nedenle tür, Beydağları Sahil Milli Parkı'nda hem ekosistem sağlığının bir göstergesi hem de yırtıcı–av dinamiklerinin sürekliliği açısından öncelikli bir izleme türü olarak değerlendirilmektedir (Shackleton & IUCN SSC Caprinae Specialist Group, 2017; Lovari vd., 2020; Corlatti vd., 2022).

Yaban tavşanı (*Lepus europaeus*), Batı Toroslar'daki Beydağları Sahil Milli Parkı ekosistemlerinde açık alanlar, orman açıklıkları ve maki–tarım mozaikleri ile ilişkili olarak yayılış gösteren önemli bir küçük–orta boyutlu herbivordur. Tür, hızlı üreme potansiyeli ve mevsimsel besin esnekliği sayesinde değişken çevresel koşullara uyum sağlayabilmekte; bu özelliğiyle tilki, karakulak (*Caracal caracal*) ve vaşak gibi yırtıcı türler için temel av kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Güncel ekolojik çalışmalar, yaban tavşanının Beydağları'nda özellikle düşük–orta rakımlı, bitki örtüsünün seyrek olduğu alanları tercih ettiğini; yoğun ormanlaşma, tarımsal kimyasal kullanımı ve insan erişiminin artmasının popülasyon yoğunluğunu olumsuz etkilediğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda tür, Beydağları–Batı Toroslar sisteminde hem trofik ağların alt basamaklarında düzenleyici bir rol oynamakta hem de habitat değişimlerine duyarlı bir biyolojik gösterge olarak değerlendirilmektedir (Smith vd., 2018; Santilli vd., 2020; Petrovan vd., 2021).

Akdeniz biyocoğrafik bölgesinin karakteristik yırtıcılarından biri olan karakulak, Beydağları Sahil Milli Parkı sınırları içerisinde özellikle maki–orman geçiş zonlarında ve açık kayalık habitatlarda kayıt altına alınmaktadır. Türün Beydağları'ndaki varlığı, Akdeniz kuşağında biyolojik çeşitliliğin sürekliliği açısından önemli bir gösterge olarak değerlendirilmektedir. Güncel fotokapan ve dağılım modelleme çalışmaları, karakulağın vaşak ve kurt gibi daha büyük yırtıcılara kıyasla insan varlığına görece daha toleranslı olduğunu; ancak yoğun turizm faaliyetleri ve habitat daralmasının alan kullanımını sınırladığını ortaya koymuştur. Bu durum, Beydağları'nda karakulağın korunmasının, düşük rakımlı doğal habitatların bütünlüğünün korunmasına bağlı olduğunu göstermektedir (Farhadinia vd., 2020; Zemanová vd., 2023).

Porsuk (*Meles meles*), Batı Toroslar'da yer alan Beydağları Sahil Milli Parkı ekosistemlerinde orman–maki geçiş zonları, yumuşak topraklı yamaçlar ve insan baskısının görece düşük olduğu alanlarda yayılış gösteren orta boyutlu bir omnivor karnivordur. Tür, güçlü kazıcı morfolojisi sayesinde karmaşık yeraltı yuva sistemleri (setler) oluşturarak mikrohabitat çeşitliliğini artırmakta; toprak omurgasızları, küçük omurgalılar ve bitkisel materyallerden oluşan esnek beslenme stratejisiyle farklı çevresel koşullara uyum sağlayabilmektedir. Güncel ekolojik çalışmalar, porsukların Akdeniz dağ ekosistemlerinde özellikle toprak yapısı ve nem rejimine duyarlı olduğunu, yol yoğunluğu ve parçalanmanın ise gececil alan kullanımını sınırlandırdığını göstermektedir. (Roper, 2010; Rosalino vd., 2019; Huck vd., 2020).

Anadolu sincabı (*Sciurus anomalus*), Batı Toroslar'daki Beydağları Sahil Milli Parkı ekosistemlerinde özellikle kızılçam, sedir ve ardıç ormanlarıyla ilişkili olarak yayılış gösteren ağaçsıl bir kemirgendir. Tür, tohum ve meyve ağırlıklı beslenme stratejisi sayesinde orman ekosistemlerinde doğal yenilenme süreçlerine katkı sağlamakta; tohum saklama (scatter-hoarding) davranışı yoluyla bitki yayılışını ve genetik çeşitliliği desteklemektedir. Güncel çalışmalar, Anadolu sincabının Akdeniz dağ ekosistemlerinde orman yapısının sürekliliğine ve ağaç tür çeşitliliğine duyarlı olduğunu; yoğun ormancılık faaliyetleri, habitat parçalanması ve

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

rekreasyon baskısının yerel bolluk ve alan kullanımını olumsuz etkileyebildiğini ortaya koymaktadır. Beydağları–Batı Toroslar sisteminde Anadolu sincabı, hem üst yırtıcılar (örn. Vaşak, karakulak) için potansiyel av kaynağı olması hem de orman yenilenmesindeki işlevsel rolü nedeniyle ekosistem sağlığının önemli bir biyolojik göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Özkurt vd., 2019; Koprowski vd., 2020; Gómez vd., 2022).

Başıboş ve serbest dolaşan köpekler (*Canis lupus familiaris*), Batı Toroslar'daki Beydağları Sahil Milli Parkı ve çevresinde, insan yerleşimleriyle doğal alanlar arasındaki ekoton bölgelerde giderek artan bir ekolojik baskı unsuru olarak öne çıkmaktadır. Güncel çalışmalar, başıboş köpeklerin yaban keçisi, yaban tavşanı ve tilki gibi türler üzerinde doğrudan predasyon, kovalamaya bağlı stres ve alan kullanımını değiştirme yoluyla önemli olumsuz etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca köpekler, kurt. vaşak gibi doğal yırtıcılarla besin ve mekân rekabetine girerek trofik ilişkilerin bozulmasına neden olabilmektedir. Beydağları–Batı Toroslar sisteminde serbest dolaşan köpeklerin varlığı; zoonotik hastalıkların yayılması, genetik kirlilik (melezleşme riski) ve yaban hayatının davranışsal kaçınma tepkileri açısından da önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle korunan alan sınırları içinde ve çevresinde başıboş köpek popülasyonlarının etkin yönetimi, yaban hayatının korunması ve ekosistem işleyişinin sürdürülmesi açısından öncelikli bir koruma ve yönetim konusu olarak değerlendirilmektedir (Vanak & Gompper, 2010; Doherty vd., 2017; Hughes & Macdonald, 2013).

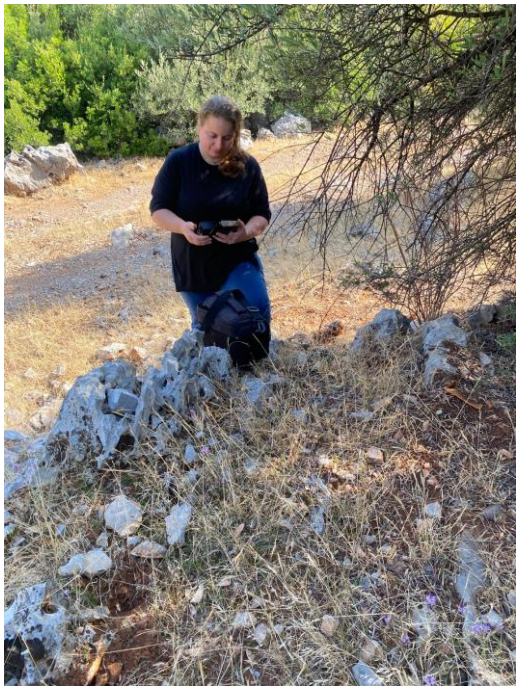
2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, Beydağları Sahil Milli Parkı sınırları içerisinde büyük memeli fauna varlığının ve aktivite örüntülerinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Arazi çalışmaları, farklı yükselti ve habitat tiplerini temsil edecek şekilde seçilen örnekleme noktalarında gerçekleştirilmiştir.

Veri toplama sürecinde fotokapan yöntemi kullanılmış, cihazlar hayvan geçişlerinin yoğun olduğu patika, sırt hattı ve vadi geçitlerine, yerden yaklaşık 40–50 cm yükseklikte yerleştirilmiştir. Fotokapanlar 24 saat aktif olacak şekilde ayarlanmış ve belirli aralıklarla kontrol edilerek veri sürekliliği sağlanmıştır. Aynı bireyin kısa zaman aralığında oluşturduğu tekrar kayıtlar, bağımsız kayıt kriterleri esas alınarak elenmiştir.

Elde edilen veriler tür bazında Addax Data Science (http://addax.ai/) Programı aracılığı ile sınıflandırılmış; aktivite zamanları saatlik ve günlük döngüler üzerinden değerlendirilmiştir. Türlerin aktivite desenleri döngüsel istatistik yöntemleri kullanılarak analiz edilmiş, insan faaliyetleri ve diğer büyük memeli türleri ile olan zamansal örtüşmeler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Analiz sonuçları, türlerin mekânsal kullanım tercihleri ve davranışsal stratejileri bağlamında yorumlanmıştır. Çalışmada kullanılmak üzere 50 adet farklı markalarda fotokapan kullanılmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Şekil 1. Fırsat noktası yönteminde kullanılan fotokapan örnek Uzman Biyolog Dilek A. HİSARKAYA

3. Bulgular

Vaşak (*Lynx lynx*)

Vaşak (*Lynx lynx*), Beydağları Sahil Milli Parkı'nda ağırlıklı olarak **gece ve alacakaranlık saatlerinde** aktivite göstermektedir. Gündüz döneminde aktivite kayıtları yok denecek düzeyde olup, türün **belirgin biçimde nokturnal** bir aktivite stratejisi izlediği görülmektedir. Bu desen, vaşağın insan faaliyetlerinden kaçınan, gizli davranış repertuarına sahip ve avlanma etkinliğini düşük insan baskısının bulunduğu zaman dilimlerine yoğunlaştıran bir üst yırtıcı olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, Beydağları'nda vaşağın alan kullanımının insan varlığına duyarlı olduğunu ve davranışsal düzeyde güçlü bir **zamansal kaçınma** sergilediğini ortaya koymaktadır. Vaşak (*Lynx lynx*) ile yaban tavşanı arasındaki zamansal örtüşme **yüksek düzeydedir (Δ ≈ 0.70–0.80).** Her iki tür de Beydağları Sahil Milli Parkı'nda aktivitesini ağırlıklı olarak **gece ve alacakaranlık** saatlerinde yoğunlaştırmaktadır. Aktivite piklerinin büyük ölçüde çakışması, yaban tavşanının vaşak için **temel av türlerinden biri** olduğunu ve iki tür arasında güçlü bir **av–yırtıcı senkronizasyonu** bulunduğunu göstermektedir.

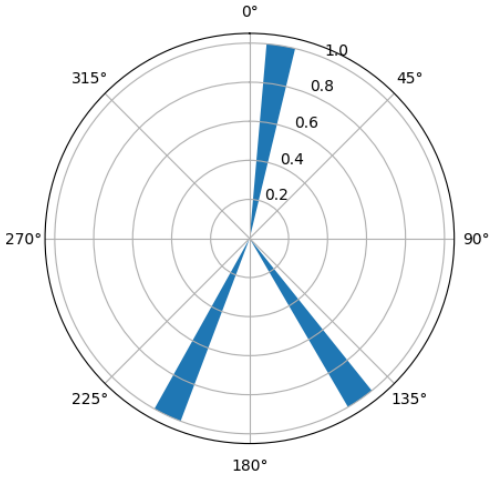
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Şekil 2. Vaşak Aktivite Deseni

Kurt (*Canis lupus*)

Kurt, Beydağları Sahil Milli Parkı'nda aktivitesini büyük ölçüde gece saatlerinde yoğunlaştırmaktadır. Gündüz döneminde aktivite kayıtları oldukça sınırlı olup, türün belirgin nokturnal bir aktivite deseni sergilediği görülmektedir. Alacakaranlık saatlerinde kısmi bir artış gözlenmekle birlikte, temel aktivite piki gece boyunca devam etmektedir. Bu desen, kurdun insan varlığının yüksek olduğu zaman dilimlerinden kaçınarak alan kullanımını ve avlanma faaliyetlerini daha güvenli zaman aralıklarına kaydırdığını göstermektedir. Bulgular, Beydağları'nda kurdun insan baskısına duyarlı bir davranış stratejisi geliştirdiğini ve üst yırtıcı olarak zamansal kaçınma yoluyla ekosistem içinde varlığını sürdürdüğünü ortaya koymaktadır. Kurt ile yaban domuzu arasındaki zamansal örtüşme **yüksek düzeydedir (Δ ≈ 0.70–0.80).** Her iki tür de Beydağları Sahil Milli Parkı'nda aktivitesini ağırlıklı olarak **gece ve alacakaranlık** saatlerinde yoğunlaştırmaktadır. Aktivite piklerinin büyük ölçüde çakışması, yaban domuzunun kurt için **önemli bir av kaynağı** olduğunu ve iki tür arasında güçlü bir zamansal senkronizasyon bulunduğunu ortaya koymaktadır. Kurt ile yaban keçisi arasındaki zamansal örtüşme **orta düzeydedir (Δ ≈ 0.45–0.55)**. Kurt aktivitesi ağırlıklı olarak **gece** saatlerinde yoğunlaşırken, yaban keçisi **gündüz ve alacakaranlık** dönemlerinde daha aktiftir. Bununla birlikte alacakaranlık saatlerinde kısmi bir örtüşme gözlenmektedir. Bu desen, yaban keçisinin görsel algıya ve topoğrafik kaçış alanlarına dayalı **diyurnal–krepüsküler** bir strateji izlediğini, kurdun ise avlanma etkinliğini insan baskısının daha düşük olduğu zaman dilimlerine kaydırdığını göstermektedir. Elde edilen bulgular, Beydağları'nda yaban keçisinin kurt için **fırsatçı bir av türü** olduğunu ve predasyon riskinin özellikle alacakaranlık saatlerinde arttığını düşündürmektedir.

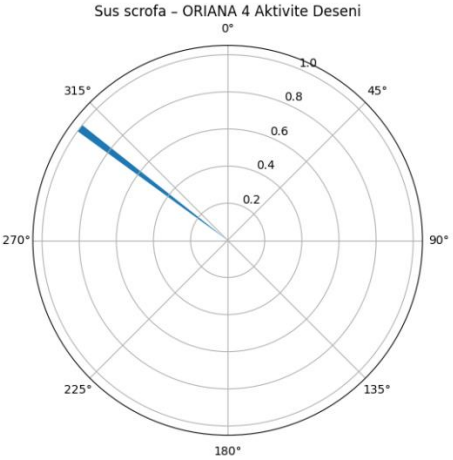
ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Şekil 3. Kurt Aktivite Deseni

Yaban Domuzu (*Sus scrofa*)

Yaban domuzu (Sus scrofa), Beydağları Sahil Milli Parkı'nda aktivitesini ağırlıklı olarak gece ve alacakaranlık saatlerinde yoğunlaştırmaktadır. Gündüz aktivitesi sınırlı olup, türün belirgin nokturnal–krepüsküler bir aktivite stratejisi izlediği görülmektedir. Bu desen, hem insan baskısından kaçınma hem de termal ve besin erişimi açısından gece koşullarından yararlanma ile uyumludur. yaban domuzu ile kurt arasındaki zamansal örtüşme yüksek düzeydedir ($\Delta \approx 0.70–0.80$); her iki türün aktivite pikleri büyük ölçüde gece saatlerinde çakışmaktadır. Bu yüksek örtüşme, yaban domuzunun Beydağları'nda kurt için önemli bir av kaynağı olduğunu ve av–yırtıcı etkileşiminin güçlü bir zamansal senkronizasyon sergilediğini göstermektedir. Buna karşın vaşak ile yaban domuzu arasındaki örtüşmenin daha sınırlı olması, vaşağın daha küçük–orta boyutlu avlara yönelen uzmanlaşmış bir strateji izlediğini düşündürmektedir. Genel olarak bulgular, yaban domuzunun ekolojik esnekliği ve gececil davranışlarının, Beydağları'ndaki üst yırtıcılarla olan trofik ilişkileri şekillendiren temel faktörlerden biri olduğunu ortaya koymaktadır.



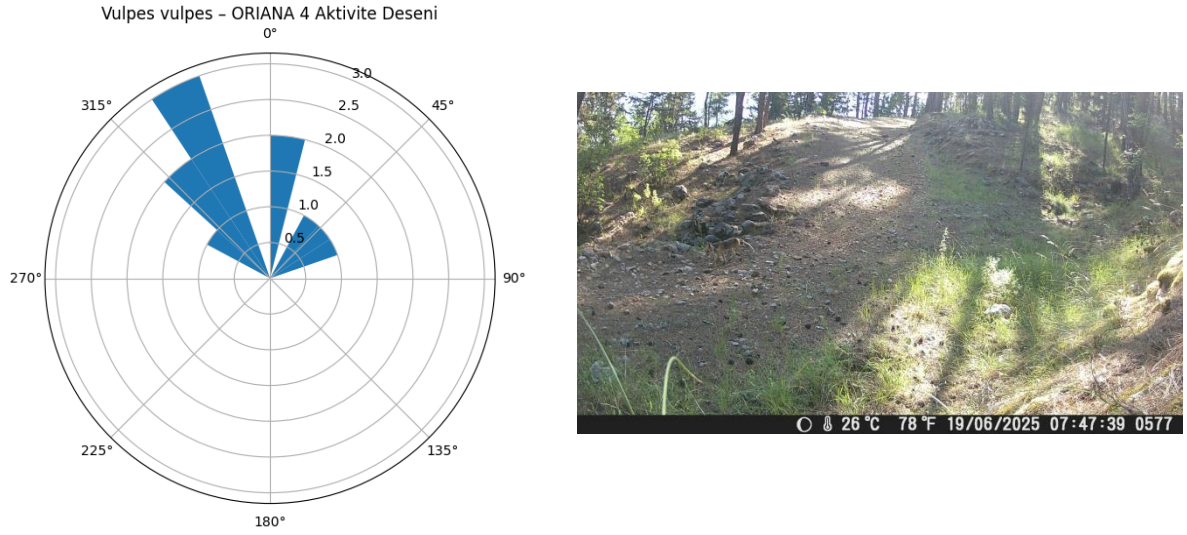
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Şekil 3. Yaban domuzu Aktivite Deseni

Tilki (*Vulpes vulpes*)

Tilki, Beydağları Sahil Milli Parkı'nda aktivitesini ağırlıklı olarak gece ve alacakaranlık saatlerinde yoğunlaştırmaktadır. Gündüz döneminde aktivite kayıtları sınırlı olup, türün nokturnal–krepüsküler bir aktivite stratejisi izlediği görülmektedir. Bu desen, tilkinin hem üst yırtıcılar (vaşak ve kurt) hem de insan faaliyetleriyle karşılaşma riskini azaltmaya yönelik davranışsal esneklik sergilediğini göstermektedir. Tilkinin gececil aktivitesi, küçük memeliler ve diğer potansiyel av türleriyle olan zamansal örtüşmeyi artırarak besin teminine katkı sağlamaktadır.

Tilki ile vaşak arasındaki zamansal örtüşme **orta düzeydedir (Δ ≈ 0.45–0.55).** Her iki tür de baskın olarak **gece ve alacakaranlık** saatlerinde aktif olmakla birlikte, tilkinin aktivitesi daha geniş bir zaman aralığına yayılırken, vaşağın aktivitesi gece geç saatlerde yoğunlaşmaktadır. Bu kısmi ayrışma, vaşağın daha **uzmanlaşmış avlanma stratejisi** ve tilkinin **davranışsal esnekliği** ile uyumludur. Tilki ile kurt arasındaki zamansal örtüşme **orta–yüksek düzeydedir (Δ ≈ 0.55–0.65).** İki tür de çoğunlukla gece aktif olmasına rağmen, tilkinin alacakaranlık saatlerinde aktivitesini artırması, kurdun ise gece orta saatlerinde yoğunlaşması dikkat çekmektedir. Bu durum, tilkinin daha büyük bir üst yırtıcı olan kurtla **doğrudan karşılaşma riskini azaltmaya yönelik zamansal ince ayar** yaptığını düşündürmektedir. Vaşak ile kurt arasındaki zamansal örtüşme **orta düzeydedir (Δ ≈ 0.40–0.50).** Her iki tür de nokturnal olmasına rağmen, aktivite piklerinin zamanlaması farklılaşmaktadır. Bu zamansal ayrışma, iki üst yırtıcı arasında **rekabeti azaltan bir niş bölüşümü mekanizmasına** işaret etmektedir.



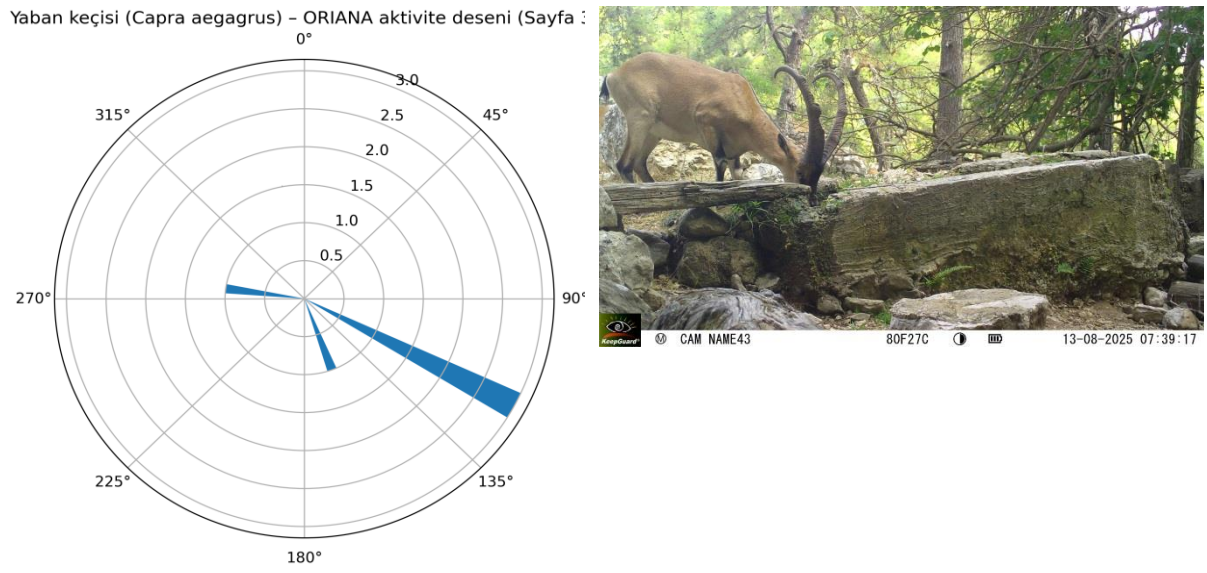
Şekil 4. Tilki Aktivite Deseni

Yaban Keçisi (*Capra aegagrus*)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Yaban keçisi, Beydağları Sahil Milli Parkı'nda aktivitesini ağırlıklı olarak gündüz ve alacakaranlık saatlerinde yoğunlaştırmaktadır. Aktivite özellikle sabah erken ve öğleden sonra dönemlerinde artmakta, gece saatlerinde belirgin biçimde azalmaktadır. Bu desen, türün açık–kayalık habitatlarda görsel algıya dayalı hareket ve beslenme davranışlarıyla uyumlu diyurnal–krepüsküler bir strateji izlediğini göstermektedir. Kurt ve vaşak gibi üst yırtıcıların baskın olarak gece aktif olması, yaban keçisi ile bu türler arasında zamansal ayrışma bulunduğuna işaret etmektedir; bu ayrışma, topoğrafik kaçış alanlarıyla birlikte predasyon riskini azaltan temel bir mekanizma olarak değerlendirilmektedir.

Yaban keçisi ile kurt arasındaki zamansal örtüşme **orta düzeydedir (Δ ≈ 0.45–0.55).** Yaban keçisi ağırlıklı olarak **gündüz ve alacakaranlık** saatlerinde aktifken, kurt aktivitesini büyük ölçüde **gece** dönemine kaydırmaktadır. Bununla birlikte, alacakaranlık saatlerinde kısmi bir örtüşme gözlenmektedir. Bu desen, yaban keçisinin diyurnal–krepüsküler aktivite stratejisi ve topoğrafik kaçış alanları ile birlikte, kurt predasyonuna karşı **davranışsal kaçınma** sergilediğini göstermektedir. Predasyon riskinin özellikle **alacakaranlık** dönemlerinde görece arttığı düşünülmektedir. Yaban keçisi ile vaşak arasındaki zamansal örtüşme **düşük–orta düzeydedir (Δ ≈ 0.30–0.45).** Vaşak baskın olarak **gece ve alacakaranlık** saatlerinde aktifken, yaban keçisinin gündüz aktivitesi belirgindir. Bu sınırlı örtüşme, vaşağın Beydağları'nda daha çok **küçük–orta boyutlu avlara** yönelen uzmanlaşmış bir avlanma stratejisi izlediğini ve yaban keçisinin vaşak için **ikincil bir av** niteliği taşıdığını düşündürmektedir. Zamansal ayrışma, iki tür arasındaki doğrudan etkileşimi sınırlandıran önemli bir ekolojik mekanizma olarak değerlendirilmektedir.



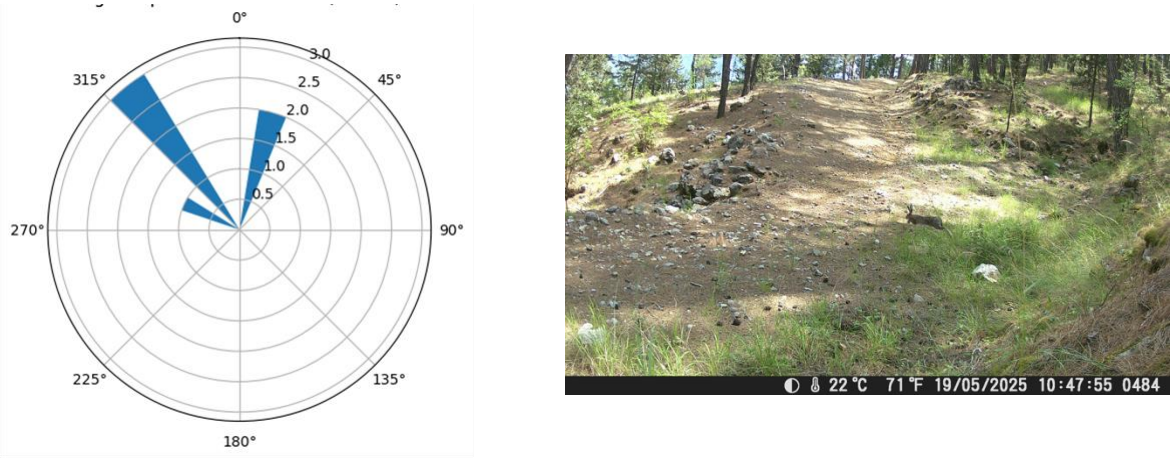
Şekil 5. Yaban keçisi Aktivite Deseni

Yaban Tavşanı (*Lepus europaeus*)

Yaban tavşanı, Beydağları Sahil Milli Parkı'nda krepüsküler–nokturnal bir aktivite deseni sergilemektedir. Aktivite yoğunluğu akşam ve erken gece saatlerinde artmakta, gündüz döneminde belirgin biçimde azalmaktadır. Bu desen, türün hem termal koşullardan yararlanma

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

hem de gündüz insan baskısından kaçınma stratejileriyle uyumludur.Yaban tavşanı ile vaşak arasındaki zamansal örtüşme **yüksek düzeydedir (Δ ≈ 0.70–0.80).** Her iki türün aktivite piklerinin **gece ve alacakaranlık** saatlerinde çakışması, tavşanın vaşak için **temel av türlerinden biri** olduğunu ve güçlü bir **av–yırtıcı senkronizasyonu** bulunduğunu göstermektedir. Yaban tavşanı ile kurt arasındaki zamansal örtüşme **orta–yüksek düzeydedir (Δ ≈ 0.55–0.65).** Kurt aktivitesinin gece ağırlıklı olması, tavşanın krepüsküler artışıyla kısmen örtüşmektedir. Bu durum, tavşanın kurt için **ikincil/fırsatçı av** olabileceğini ve predasyon riskinin özellikle **alacakaranlık–erken gece** dönemlerinde arttığını düşündürmektedir.

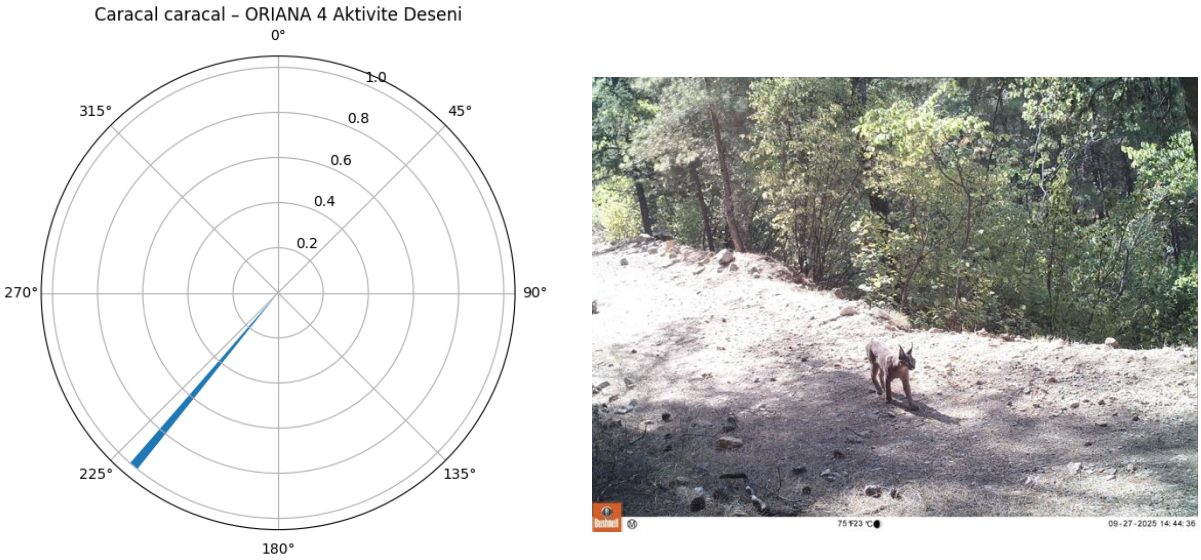


Şekil 6. Yaban tavşanı Aktivite Deseni

Karakulak (*Caracal caracal*)

Karakulak, Beydağları Sahil Milli Parkı ve çevresindeki Akdeniz dağ ekosistemlerinde aktivitesini büyük ölçüde gece ve alacakaranlık saatlerinde yoğunlaştırmaktadır. Gündüz aktivitesi sınırlı olup, türün nokturnal–krepüsküler bir aktivite stratejisi izlediği görülmektedir. Bu desen, hem insan baskısından kaçınma hem de küçük–orta boyutlu avlara yönelik pusu temelli avlanma davranışlarıyla uyumludur.Karakulak ile yaban tavşanı arasındaki zamansal örtüşme **yüksek düzeydedir (Δ ≈ 0.65–0.75).** Her iki türün aktivite piklerinin ağırlıklı olarak **alacakaranlık ve gece** saatlerinde çakışması, yaban tavşanının karakulak için **temel av türlerinden biri** olduğunu düşündürmektedir. Bu yüksek örtüşme, karakulağın avlanma başarısında zamansal senkronizasyonun belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Karakulak ile vaşak arasındaki zamansal örtüşme **orta düzeydedir (Δ ≈ 0.40–0.55).** Her iki tür de nokturnal olmakla birlikte, karakulağın aktivitesi daha geniş bir zaman aralığına yayılırken, vaşak aktivitesinin gece geç saatlerde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu kısmi zamansal ayrışma, iki orta–üst yırtıcı arasında **rekabeti azaltan davranışsal bir niş bölüşümü** mekanizmasına işaret etmektedir. Karakulak ile kurt arasındaki zamansal örtüşme **düşük–orta düzeydedir (Δ ≈ 0.30–0.45).** Kurt aktivitesinin gece boyunca daha geniş bir süreye yayılması, karakulağın ise özellikle alacakaranlık ve erken gece saatlerinde yoğunlaşması, doğrudan karşılaşma riskini sınırlayan bir **zamansal kaçınma** stratejisini düşündürmektedir. Bu desen, karakulağın daha büyük yırtıcıların baskısı altında **davranışsal esneklik** sergilediğini göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

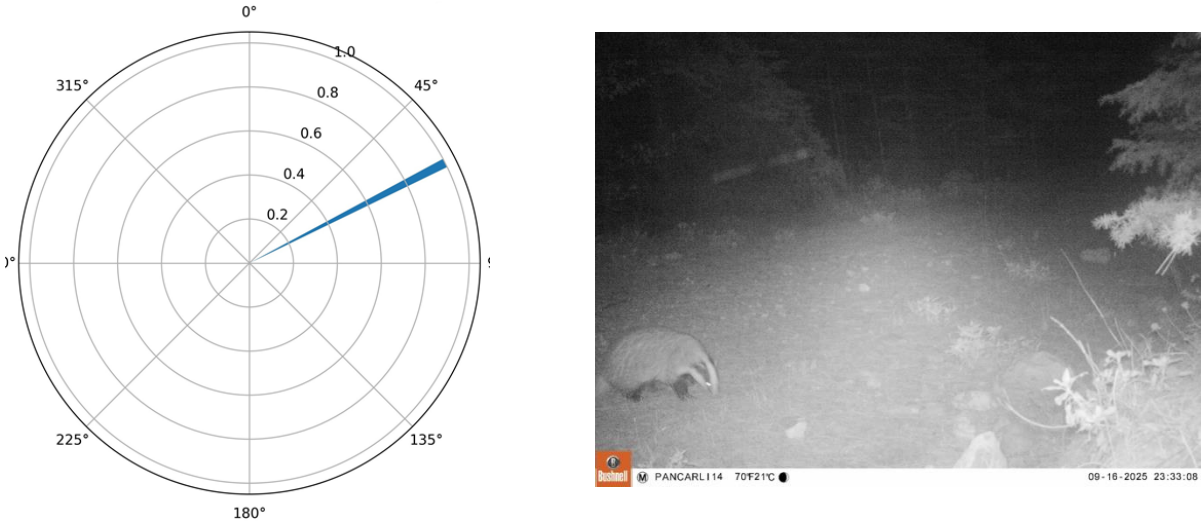


Şekil 7. Karakulak Aktivite Deseni

Porsuk (*Meles meles*)

Porsuk, Beydağları Sahil Milli Parkı'nda aktivitesini belirgin biçimde **gece ve alacakaranlık saatlerinde** yoğunlaştırmaktadır. Gündüz aktivitesi oldukça sınırlı olup, türün **net nokturnal** bir aktivite stratejisi sergilediği görülmektedir. Bu desen, porsukların hem insan baskısından kaçınma hem de omurgasızlar ve küçük omurgalılar gibi besin kaynaklarına gece erişimi ile uyumludur. Yeraltı yuva sistemlerine dayalı yaşam biçimi ve gececil davranış, türün alan kullanımını düşük görünürlük dönemlerine kaydıran temel faktörler olarak değerlendirilmektedir. Porsuk ile vaşak arasındaki zamansal örtüşme **düşük–orta düzeydedir ($\Delta \approx 0.30–0.45$).** Her iki tür de nokturnal olmakla birlikte, vaşak aktivitesinin gece geç saatlerde yoğunlaşması, porsuk aktivitesinin ise alacakaranlık–erken gece döneminde artması dikkat çekmektedir. Bu kısmi ayrışma, iki tür arasında **doğrudan etkileşimi azaltan zamansal niş bölüşümüne** işaret etmektedir. Porsuk ile kurt arasındaki zamansal örtüşme **düşük düzeydedir ($\Delta \approx 0.20–0.35$).** Kurt aktivitesinin gece boyunca geniş bir zaman aralığına yayılması, porsukların ise daha sınırlı ve erken gece ağırlıklı aktivite göstermesi, doğrudan karşılaşma riskini azaltan bir **zamansal kaçınma stratejisi** olarak değerlendirilmektedir. Bu durum, porsukların daha büyük yırtıcılar karşısında **davranışsal çekingenlik** sergilediğini düşündürmektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Şekil 8. Porsuk Aktivite Deseni

Anadolu Sincabı (*Sciurus anomalus*)

Anadolu sincabı, Beydağları Sahil Milli Parkı'nda aktivitesini belirgin biçimde gündüz saatlerinde yoğunlaştırmaktadır. Aktivite özellikle sabah geç saatler ile öğle sonrası dönemlerde artmakta, akşam ve gece saatlerinde ise neredeyse tamamen ortadan kalkmaktadır. Bu desen, türün ağaçsıl habitatlarda beslenme, tohum toplama ve saklama davranışlarının gün ışığına bağımlı olduğunu gösteren net diyurnal bir aktivite stratejisine işaret etmektedir. sincabının **gündüzcil yaşam tarzı** sayesinde üst yırtıcı baskısından büyük ölçüde kaçındığını ve orman ekosistemlerinde **alt trofik düzeyde işlevsel bir rol** üstlendiğini göstermektedir.

Başıboş Köpek (*Canis lupus familiaris*)

Beydağları Sahil Milli Parkı ve çevresinde aktivitesini ağırlıklı olarak gündüz ve akşamüstü saatlerinde yoğunlaştırmakta, gece döneminde ise sınırlı aktivite göstermektedir. Bu desen, köpeklerin insan yerleşimleri ve insan kaynaklı faaliyetlerle zamansal olarak senkronize bir alan kullanımına sahip olduğunu göstermektedir. Aktivitenin gün ışığına bağımlı olması, besin kaynaklarının (insan atıkları, yerleşim çevresi) ve insan varlığının belirleyici rolünü işaret etmektedir. Başıboş köpekler ile yaban keçisi arasındaki zamansal örtüşme **düşük–orta düzeydedir ($\Delta \approx 0.30–0.45$)**. Her iki türün de gündüz ve alacakaranlık saatlerinde aktivite göstermesi, özellikle açık alanlarda **kovalama ve stres kaynaklı etkileşim** riskini artırmaktadır. Bu durum, doğrudan predasyondan ziyade **davranışsal baskı** ve enerji kaybı yoluyla yaban keçisi popülasyonlarını olumsuz etkileyebilir.

4. Tartışma Sonuç

Bu çalışma, Beydağları Sahil Milli Parkı'nda çok türlü büyük ve orta boyutlu memeli topluluğunun günlük aktivite desenleri ve zamansal örtüşme ilişkilerini ortaya koymuştur.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Fotokapan kayıtlarına dayalı ORIANA analizleri, türler arasında belirgin zamansal niş ayrışması ve av–yırtıcı etkileşimleri olduğunu göstermiştir. Örneğin, yaban tavşanı ile vaşak arasındaki yüksek örtüşme, vaşağın küçük memelilere yönelmiş av stratejisini destekler niteliktedir; benzer şekilde yaban tavşanı ve kurt arasındaki orta–yüksek örtüşme, fırsatçı predasyon ilişkisini ortaya koymaktadır ($\Delta \approx 0.55–0.65$). Bu bulgu, Türkiye'de benzer bir sistemde yapılan çalışmalarla uyumludur; örneğin Sülüklü Göl Milli Parkı'nda yaban tavşanı ve vaşak aktiviteleri arasında yüksek zamansal örtüşme rapor edilmiştir ($\Delta \approx 0.77–0.84$) (Yıldız vd., 2024).

Üst yırtıcılar açısından, vaşak ve kurt aktiviteleri nokturnal–krepüsküler eğilim göstermektedir ki bu, türlerin av döngülerini ve düşük insan baskısı zamanlarını optimize ettiği birçok çalışmada rapor edilmiştir (Eurasian lynx genellikle gece ve alacakaranlık dönemlerinde avlanır) . Aynı şekilde orta yırtıcılar olarak tilki (*Vulpes vulpes*) ve porsuk (*Meles meles*) için elde ettiğimiz düşük–orta örtüşme değerleri, bu türlerin başka yırtıcıların baskısından kaçınma stratejileri geliştirdiğini göstermektedir. Mesokarnivorların farklı zaman dilimlerinde aktif olarak rekabetten kaçınma ve kaynak paylaşımı sağladığı, küresel ölçekte fotokapan çalışmalarında da farklı tür kombinasyonlarında ortaya konmuştur (Caravaggi vd., 2018).

Herbivor türlerde ise, Anadolu sincabı (*Sciurus anomalus*) belirgin diyurnal bir aktivite deseni sergilerken, yaban keçisi (*Capra aegagrus*) gündüz–alacakaranlık eğilimi göstermiştir; bu ayrışma, otoburların beslenme davranışlarının ve yırtıcıdan kaçınma stratejilerinin farklılaşmasını desteklemektedir. Bu da fotokapan verilerinden elde edilen örüntülerle literatürde bildirilen diğer Akdeniz tipi ekosistem örnekleriyle paralellik arz etmektedir (Yıldız vd., 2024).

İnsan etkinlikleri ve etkileşimleri de bu sistemde anlamlıdır. İnsan ve araç aktivitelerinin ağırlıklı olarak gündüz saatlerinde yoğunlaşması, yırtıcıların gececi davranışlarıyla net bir zamansal ayrışma yarattığını göstermektedir; bu durum daha önce hem Türkiye'de hem de küresel fotokapan çalışmalarında insan–yaban hayatı kaçınma davranışı olarak rapor edilmiştir (Caravaggi vd., 2018). Bu bulgu, korunan alan yönetiminde insan faaliyetlerinin zaman planlaması ve insan–yaban hayatı çatışması azaltma stratejilerinin önemini vurgulamaktadır.

Sonuç olarak, Beydağları Sahil Milli Parkı gibi karmaşık dağ–orman ekosistemlerinde, türlerin zamansal dinamikleri ve örtüşme düzeyleri, av–yırtıcı ilişkileri, rekabet ve kaçınma stratejileri ile insan baskısı gibi faktörlerin etkileşimiyle şekillenmektedir. Bu tip fotokapan temelli çalışmalar, türlerin davranışsal ekolojilerini anlamak ve etkin koruma–yönetim stratejileri geliştirmek için kritik veriler sunmaktadır. Ayrıca, bu bulgular ulusal ve uluslararası alanda biyoçeşitlilik koruma planlaması ve korunan alan yönetimi bağlamında daha geniş ölçekli uygulamalar için referans teşkil edebilir.

Kaynaklar

Ambarlı, H., Ertürk, A., & Soyumert, A. (2016). Current status and conservation of large carnivores in Turkey. *Mammal Review, 46*(2), 125–140. https://doi.org/10.1111/mam.12058

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Breitenmoser, U., Breitenmoser-Würsten, C., von Arx, M., Zimmermann, F., & Ryser, A. (2015). Eurasian lynx conservation in Europe. *Cat News Special Issue, 8*, 1–92.

Caravaggi, A., Banks, P. B., Burton, A. C., et al. (2018). Mesopredator temporal partitioning. *Ecology and Evolution, 8*(6), 2900–2912. https://doi.org/10.1002/ece3.3881

Corlatti, L., Becciolini, V., & Ciuti, S. (2022). Behavioral ecology of mountain ungulates. *Frontiers in Ecology and Evolution, 10*, 842018. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.842018

Díaz-Ruiz, F., Delibes-Mateos, M., Ferreras, P., & Villafuerte, R. (2023). Temporal partitioning among carnivores. *Diversity, 15*(3), 356. https://doi.org/10.3390/d15030356

Doherty, T. S., Dickman, C. R., Glen, A. S., et al. (2017). Impacts of domestic dogs on wildlife. *Biological Conservation, 210*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.04.006

Farhadinia, M. S., Johnson, P. J., Macdonald, D. W., et al. (2020). Caracal ecology in Mediterranean landscapes. *Mammalian Biology, 100*(5), 445–456. https://doi.org/10.1007/s42991-020-00052-8

Gómez, C., Espelta, J. M., & Bonal, R. (2022). Seed dispersal by squirrels. *Forest Ecology and Management, 505*, 119918. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119918

Gompper, M. E., Lesmeister, D. B., Ray, J. C., et al. (2020). Mesocarnivore ecology. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 51*, 231–254. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-012420-091702

Huck, M., Davison, J., & Roper, T. J. (2020). Road effects on badger activity. *Journal of Zoology, 311*(2), 121–130. https://doi.org/10.1111/jzo.12761

Hughes, J., & Macdonald, D. W. (2013). Free-ranging dogs and wildlife. *Biological Conservation, 157*, 341–351. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.07.020

Koprowski, J. L., Steffen, M. L., & Pasch, B. (2020). Tree squirrel conservation. *Biological Conservation, 244*, 108450. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108450

Kuijper, D. P. J., Churski, M., Bubnicki, J. W., & Jędrzejewska, B. (2022). Landscape of fear in large carnivore systems. *Ecography, 45*(1), 1–13. https://doi.org/10.1111/ecog.05452

Lovari, S., Minder, I., Ferretti, F., et al. (2020). Ungulate anti-predator strategies. *Behavioral Ecology, 31*(5), 1171–1182. https://doi.org/10.1093/beheco/araa060

Massei, G., Kindberg, J., Licoppe, A., et al. (2015). Wild boar populations up, numbers of hunters down? *Biological Conservation, 183*, 117–125. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.12.012

Melis, C., Szafrańska, P. A., Jędrzejewska, B., & Bartoń, K. A. (2021). Ecological drivers of wild boar expansion. *Journal of Animal Ecology, 90*(2), 469–481. https://doi.org/10.1111/1365-2656.13364

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Newsome, T. M., Greenville, A. C., Ćirović, D., et al. (2017). Top predators constrain mesopredator distributions. *Ecology Letters, 20*(10), 1294–1305. https://doi.org/10.1111/ele.12812

Özkurt, Ş., Sözen, M., & Yiğit, N. (2019). Distribution of Sciurus anomalus in Turkey. *Turkish Journal of Zoology, 43*, 521–530.

Petrovan, S. O., Ward, A. I., & Wheeler, P. M. (2021). Drivers of hare decline. *Animals, 11*(8), 2246. https://doi.org/10.3390/ani11082246

Roper, T. J. (2010). *Badger*. HarperCollins.

Rosalino, L. M., Santos, M. J., & Santos-Reis, M. (2019). Badger spatial ecology. *European Journal of Wildlife Research, 65*, 45. https://doi.org/10.1007/s10344-019-1283-0

Santilli, F., & Monaco, A. (2023). Wild boar management and human–wildlife conflict. *Animals, 13*(4), 635. https://doi.org/10.3390/ani13040635

Santilli, F., Merli, E., & Monaco, A. (2020). Hare activity patterns and predators. *Hystrix, 31*(2), 95–103.

Shackleton, D. M., & IUCN SSC Caprinae Specialist Group. (2017). *Wild sheep and goats and their relatives.* IUCN.

Smith, R. K., Jennings, N. V., & Harris, S. (2018). Population ecology of the European hare. *Mammal Review, 48*(4), 301–319. https://doi.org/10.1111/mam.12138

Sunde, P., Støen, O. G., Zimmermann, F., et al. (2022). Eurasian lynx space use and human disturbance. *Journal of Wildlife Management, 86*(4), e22164. https://doi.org/10.1002/jwmg.22164

van Eeden, L. M., Crowther, M. S., Dickman, C. R., et al. (2021). Managing conflict between large carnivores and livestock. *Biological Reviews, 96*(3), 1070–1090. https://doi.org/10.1111/brv.12690

Vanak, A. T., & Gompper, M. E. (2010). Interference competition by dogs. *Journal of Applied Ecology, 47*(5), 1148–1157. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01870.x

Yıldız, M., Kaya, A., & Demir, İ. (2024). Temporal overlap of lynx and hare in Sülüklü Göl NP. *Turkish Journal of Forestry, 25*(2), 145–156.

Zemanová, B., Koubek, P., & Bartoň, K. A. (2023). Caracal habitat use and human disturbance. *Animals, 13*(6), 987. https://doi.org/10.3390/ani13060987

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

INVESTIGATION OF THE PREVALENCE OF *CRYPTOSPORIDIUM* SPP. IN DOGS IN THE IZMIR PROVINCE USING MICROSCOPIC AND MOLECULAR METHODS

Master's student Berk SAKİ

Aksaray University, E-posta Adresi:berksaki@hotmail.com - ORCID ID: https://orcid.org/0009-0007-6863-7656

Assoc. Prof. Adnan AYAN

Aksaray University, E-posta: dradnanayan@gmail.com - ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-6335-7019

Prof. Dr. İlker ÇAMKERTEN

Aksaray University, E-posta: ilkercamkerten@aksaray.edu.tr - ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-6952-7703

ABSTRACT

Cryptosporidium spp. are zoonotic enteric protozoa of veterinary and public health importance, capable of causing gastrointestinal disease and environmental contamination through the shedding of resistant oocysts. Dogs may act as reservoirs or mechanical disseminators, particularly in urban settings where close contact with humans is frequent. This study aimed to determine the prevalence of *Cryptosporidium* spp. in dogs in İzmir Province, Türkiye, by comparing microscopic and molecular diagnostic approaches. A total of 100 fecal samples were collected from dogs aged 0–10 years presented to various local veterinary clinics for diagnostic and treatment purposes. Samples were placed in fecal containers and transported under cold-chain conditions to the Department of Parasitology Laboratory, Faculty of Veterinary Medicine, Aksaray University.

In the laboratory, the samples were subjected to Kinyoun Acid-Fast staining and examined microscopically at 1000× magnification for the presence of *Cryptosporidium* oocysts. Genomic DNA was subsequently extracted from all samples and analyzed by nested PCR targeting the small subunit rRNA gene, and amplicons were resolved by electrophoresis on a 1.5% agarose gel and visualized under UV illumination. *Cryptosporidium* spp. was detected in 11/100 (11.0%) samples by microscopy, whereas nested PCR identified 17/100 (17.0%) positive samples, revealing six additional infections not detected by microscopy. These findings indicate that *Cryptosporidium* spp. is circulating among dogs in İzmir Province and support the added

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

diagnostic value of nested PCR, particularly where oocyst shedding is low or intermittent. Integrating molecular diagnostics with routine staining-based examination may improve detection accuracy and support more effective surveillance and control strategies. Future studies should include species/genotype characterization and risk-factor assessment (age, diarrhea status, housing conditions) to better elucidate transmission dynamics and potential zoonotic implications.

Keywords : *Cryptosporidium* spp., Dog, İzmir, Prevalence, Nested PCR

INTRODUCTION

Cryptosporidium spp. are ubiquitous apicomplexan protozoa that infect a wide range of vertebrate hosts and can cause self-limiting to severe gastroenteritis. Dogs often show no overt clinical signs and may function as asymptomatic carriers, but they can still shed oocysts that contribute to environmental contamination, which is particularly relevant given the close contact between companion animals and humans (Ayinmode et al., 2018; Ranjbar et al., 2018; Eze et al., 2019; Murnik et al., 2022).

Although the dog-adapted species *Cryptosporidium canis* is the dominant canine species, zoonotic taxa such as *C. parvum* have been documented in dogs in multiple countries, and subtyping has revealed that classic zoonotic *C. parvum* subtype families (e.g., IIa) can occur in canine hosts (Murnik et al., 2022; Jian et al., 2024). These findings underscore the need for region-specific surveillance that couples detection with genotyping and subtyping.

Reported prevalence varies widely by geography, dog population (pet, shelter, kennel, stray), age, and diagnostic approach. In a systematic review and meta-analysis, the pooled mean prevalence in dogs was generally below 10%, with estimates differing across dog types and methods (Taghipour et al., 2020). Because microscopy has limited sensitivity when oocyst loads are low or shedding is intermittent, PCR assays targeting the SSU rRNA locus are widely used to improve detection and enable molecular characterization (Xiao et al., 2001).

In Türkiye, evidence on canine cryptosporidiosis remains limited and shows marked variability by setting and method. For example, PCR-based studies in diarrheic dogs have reported substantially higher positivity than microscopy, whereas other regional surveys have detected lower overall prevalence (Ayan & Orunç Kılınç, 2020; Ağaoğlu et al., 2022). Within this context, the present study aimed to estimate the prevalence of *Cryptosporidium* spp. among dogs presented to veterinary clinics in İzmir Province and to compare Kinyoun acid-fast microscopy with SSU rRNA nested PCR.

MATERIALS AND METHODS

Study design and sample collection. This cross-sectional study analyzed 100 fecal specimens collected from dogs (0–10 years) presented to veterinary clinics in İzmir Province, Türkiye, for diagnostic and treatment purposes. Fresh feces were placed into sterile fecal containers and transported to the Parasitology Laboratory (Faculty of Veterinary Medicine, Aksaray University) under cold-chain conditions until processing.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Microscopic examination. All specimens were screened for *Cryptosporidium* oocysts using the Kinyoun acid-fast staining method. Thin smears were prepared from fresh fecal material, fixed in absolute methanol (1 min), and air-dried. Slides were stained with Kinyoun carbol-fuchsin (5 min), briefly differentiated in 50% ethyl alcohol, rinsed, further differentiated in 1% sulphuric acid (2 min), and counterstained with Loeffler's methylene blue (1 min). After a final rinse and air-drying, slides were examined under a light microscope at 1000× magnification for oocysts.

DNA extraction. Genomic DNA was extracted from all specimens using a commercial kit (GeneMATRIX Stool DNA Purification Kit) according to the manufacturer's instructions. Purified DNA was stored at −20°C until PCR analysis.

Nested PCR. Cryptosporidium DNA was detected by nested PCR targeting the SSU rRNA gene using the primer sets described by Xiao and colleagues (Xiao et al., 2001). The primary reaction used primers 5′-TTCTAGAGCTAATACATGCG-3′ and 5′-CCCATTTCCTTCGAAACAGGA-3′ to amplify a ~1325 bp fragment, followed by a nested reaction using primers 5′-GGAAGGGTTGTATTTATTAGATAAAG-3′ and 5′-AAGGAGTAAGGAACAACCTCCA-3′ to amplify an ~826–864 bp fragment. Each reaction (20 µL) contained 4 pmol of each primer, 4 µL 5× FIREPol® Master Mix 3 (12.5 mM $MgCl_2$), 1.6 µL template DNA, and nuclease-free water. Thermocycling conditions were: 95°C for 5 min; 35 cycles of 95°C for 1 min, 55°C for 1 min, and 72°C for 1 min; and a final extension at 72°C for 7 min.

Gel electrophoresis. Secondary PCR products were resolved on 1.5% agarose gels stained with RedSafe™ and visualized under UV illumination using a gel documentation system.

RESULTS

Cryptosporidium oocysts were detected by Kinyoun acid-fast microscopy in 11/100 (11.0%) specimens, whereas SSU rRNA nested PCR identified 17/100 (17.0%) positive specimens. Nested PCR therefore detected six additional infections not identified microscopically.

Table 1. Prevalence of *Cryptosporidium* spp. in dogs from İzmir Province, Türkiye, by diagnostic method.

Method	Positive / Tested	Prevalence (%)
Kinyoun acid-fast microscopy	11/100	11.0
SSU rRNA nested PCR	17/100	17.0

DİSCUSSION

This study provides clinic-based evidence that *Cryptosporidium* spp. is circulating among dogs in İzmir Province and that SSU rRNA nested PCR detects a higher proportion of positives than Kinyoun acid-fast microscopy. The observed gap is biologically plausible because microscopy tends to miss infections with low oocyst burdens or intermittent shedding,

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

whereas PCR can detect small amounts of target DNA (Taghipour et al., 2020; Xiao et al., 2001).

The nested PCR prevalence (17.0%) in İzmir exceeds the pooled global mean reported in the largest recent meta-analysis (Taghipour et al., 2020). This difference may reflect the clinic-attending nature of the sampled dogs, potential enrichment for gastrointestinal complaints, local management conditions, or age structure. In other settings, prevalence is often lower in adult, well-managed pet dogs—for example, 1.2% in urban pet dogs from Fujian Province, China—and tends to increase in higher-density environments such as breeding kennels (Li et al., 2025).

Across molecular studies, *C. canis* predominates in dogs, but zoonotic species and subtypes are intermittently detected. In Germany, *Cryptosporidium* DNA was detected in 10.0% of samples from young dogs, with most positives identified as *C. canis* and a minority as *C. parvum*; gp60 subtyping identified the zoonotic *C. parvum* IIaA15G2R1 subtype (Murnik et al., 2022). In rural adult pet dogs in Yunnan, China, dog-related zoonotic transmission was highlighted as a concern, and *C. parvum* subtypes (IIa) and *C. canis* subtypes at the gp60 locus were reported (Jian et al., 2024).

Available data from Türkiye show substantial variability by region and clinical context. In Van Province, diarrheic dogs showed markedly higher PCR positivity than microscopy (Ayan and Orunç Kılınç, 2020), whereas a survey in Sivas reported a lower overall prevalence (Ağaoğlu et al., 2022). Such heterogeneity is consistent with global patterns where local ecology, dog management, and diagnostic sensitivity shape observed prevalence (Taghipour et al., 2020).

From a One Health perspective, dogs can contribute to environmental oocyst contamination and may act as a bridge host or spillover host in settings where zoonotic *Cryptosporidium* species circulate. Even when *C. canis* predominates, reports of human infections with dog-adapted cryptosporidia indicate that transmission can occur under certain circumstances (Murnik et al., 2022). Therefore, combining sensitive detection with genotyping/subtyping is key for risk assessment and source attribution.

This study has limitations. Sequencing was not performed, so the *Cryptosporidium* species and subtypes in İzmir could not be determined. Moreover, the clinic-based sampling may not represent the broader dog population in the province. Future work should include SSU rRNA sequencing and gp60 subtyping, and should collect standardized metadata (age, housing, diarrheal status, livestock contact, and water exposure) to identify risk factors and better define zoonotic potential in the region.

CONCLUSION

Cryptosporidium spp. was detected in dogs from İzmir Province, Türkiye, and SSU rRNA nested PCR identified more positive specimens than Kinyoun acid-fast microscopy. These findings support integrating PCR-based assays into surveillance and diagnostic workflows and highlight the need for molecular characterization to clarify whether dog-adapted or zoonotic *Cryptosporidium* species are circulating locally.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

REFERENCES

Ayan, A., Orunç Kılınç, Ö. Prevalence of *Cryptosporidium* spp. in diarrheic dogs in Van Province. Türkiye Klinikleri Journal of Veterinary Sciences, 11(2), 64–68, 2020. https://doi.org/10.5336/vetsci.2020-77151.

Ayinmode AB, Obebe OO, falohun OO. Molecular detection of *Cryptosporidium* species in street-sampled dog faeces in Ibadan, Nigeria. vet parasitol Reg Stud Reports,14:54-8, 2018.

Ağaoğlu, Z. T., Başbuğ, O., Özpınar, N. Sivas ilindeki köpeklerde *Cryptosporidium* spp.'nin prevalansı. F.Ü. Sağ. Bil. Vet. Derg., 36(3), 224–228, 2022.

Eze UU, Ezeh IO, Nzeakor TA, Attama SC, Ezenduka Ev, Onah DN. prevalence and risk factors associated with *Cryptosporidium* spp. infection in local breed of dogs in Enugu State, Nigeria. vet World, 12(5),729-34, 2019.

Jian, J., Luo, A., Liu, Y., et al. Occurrence of *Cryptosporidium* species and subtypes in pet dogs in Yunnan Province, China. BMC Microbiology, 24, 354. 2024. https://doi.org/10.1186/s12866-024-03500-4.

Li, S. A., Lin, Y. L., Bai, Y. P., Wen, F., Huang, L. Y., Miao, W. Y., & Zhou, D. H. Prevalence and molecular characterization of *Cryptosporidium* spp. and *Giardia duodenalis* in humans and dogs from Fujian Province, Southeast China. *Food and Waterborne Parasitology*, e00278, 2025. https://doi.org/10.1016/j.fawpar.2025.e00278.

Murnik, L.-C., Daugschies, A., Delling, C. *Cryptosporidium* infection in young dogs from Germany. Parasitology Research, 121, 2985–2993. https://doi.org/10.1007/s00436-022-07632-2, 2022.

Ranjbar R, Mirhendi H, Izadi M, Behrouz B, Mohammadi Manesh R. Molecular Identification of *Cryptosporidium* spp. in Iranian Dogs Using Seminested pCR: A first Report. vector Borne Zoonotic Dis, 18(2),96-100, 2018.

Taghipour, A., Olfatifar, M., Bahadory, S., Godfrey, S. S., Abdoli, A., Khatami, A., Shahrivar, F. The global prevalence of *Cryptosporidium* infection in dogs: a systematic review and meta-analysis. *Veterinary parasitology*, *281*, 2020. 109093. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2020.109093.

Xiao, L., Singh, A., Limor, J., Graczyk, T. K., Gradus, S., Lal, A. Molecular characterization of *Cryptosporidium* oocysts in samples of raw surface water and wastewater. Applied and Environmental Microbiology, 67(3), 1097–1101, 2001.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

INVESTIGATION OF THE PREVALENCE OF GıARDIA DUODENALIS IN DOGS IN THE IZMIR PROVINCE USING MICROSCOPIC AND MOLECULAR METHODS

Master's student Berk SAKİ

Aksaray University, E-posta Adresi: : berksaki@hotmail.com - ORCID ID: https://orcid.org/0009-0007-6863-7656

Assoc. Prof. Adnan AYAN

Aksaray University, E-posta: dradnanayan@gmail.com - ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-6335-7019

Prof. Dr. İlker ÇAMKERTEN

Aksaray University, E-posta: ilkercamkerten@aksaray.edu.tr - ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-6952-7703

ABSTRACT

Giardia duodenalis is a common enteric protozoan of dogs and is relevant to both veterinary practice and public health because infected animals can shed environmentally resistant cysts and contaminate shared habitats. This study aimed to determine the prevalence of G. duodenalis in dogs in İzmir Province, Türkiye, using microscopic and molecular methods. A total of 100 fecal samples were collected from dogs aged 0–10 years presented to various local veterinary clinics for diagnostic and treatment purposes. Samples were placed in fecal containers and transported under cold-chain conditions to the Department of Parasitology Laboratory, Faculty of Veterinary Medicine, Aksaray University. For microscopic screening, native Lugol preparations were examined for Giardia cysts using light microscopy at ×400 magnification. Genomic DNA was subsequently extracted from all samples and analyzed by nested PCR, and amplicons were resolved by electrophoresis on a 1.5% agarose gel and visualized under UV illumination. Giardia duodenalis was detected in 14/100 (14.0%) samples by microscopy and in 20/100 (20.0%) samples by nested PCR. Thus, molecular testing identified an additional six positive samples that were missed by microscopy, consistent with intermittent cyst shedding and low-intensity infections. The findings demonstrate that G. duodenalis is circulating among dogs in the study area and emphasize the superior analytical sensitivity of nested PCR for surveillance and case confirmation. Integrating molecular assays with routine coprological examination may improve detection, support timely treatment, and reduce environmental contamination in clinical settings. Future studies should incorporate assemblage typing and risk-factor analyses (age, housing, diarrhea status) to guide targeted prevention programs in clinics and shelters. Given the discrepancy between methods, reliance on microscopy alone may underestimate infection burden, especially in asymptomatic carriers. Routine deworming does

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
not affect Giardia; therefore, hygienic management, prompt removal of feces, disinfection of cages, and dog owner education are essential to limit reinfection and reduce household exposure.

Keywords : Dog, *Giardia duodenalis*, İzmir, Prevalence, Nested PCR

INTRODUCTION

Giardia duodenalis (syn. *Giardia intestinalis*/*Giardia lamblia*) is a flagellated intestinal protozoan with a broad host range and global distribution. In dogs, infection is frequently reported and may manifest as a continuum from asymptomatic carriage to acute or chronic gastrointestinal signs such as soft feces and diarrhea, while clinical presentation can vary according to host and environmental factors (Šmit et al., 2023; Kurnosova et al., 2024). Importantly, both symptomatic and clinically normal dogs may shed cysts, sustaining environmental contamination and fecal–oral transmission (Kurnosova et al., 2024).

Transmission is facilitated by crowding, sanitation deficits, and repeated exposure to contaminated environments, which helps explain why high positivity is often observed in shelters and other group-housing settings (Agresti et al., 2022). Age is a consistent determinant of infection risk; younger dogs tend to have higher detection rates than adults, and a sizeable proportion of infected animals may show no obvious stool changes, underscoring the limitations of clinical assessment alone (Kurnosova et al., 2024; Šmit et al., 2023).

Canine giardiasis is also relevant in a One Health context because dogs can carry both dog-adapted assemblages (C and D) and zoonotic assemblages (A and B), with assemblage distributions varying by geography and dog population (Sun et al., 2023; Jańczak et al., 2025). Studies integrating molecular data across hosts emphasize that companion animals can intersect with human exposure pathways, particularly in households with close dog–human contact and in settings where hygienic barriers are reduced (Sun et al., 2023; Li et al., 2025).

Reported prevalence of *G. duodenalis* in dogs varies substantially across regions and study designs. A recent synthesis of One Health data estimated a pooled prevalence of 15.6% in dogs, while a systematic review and meta-analysis focused on China reported an overall pooled prevalence of 11.2% and highlighted pronounced heterogeneity across studies (Sun et al., 2023; Zhao et al., 2022). Surveys from Europe similarly document notable infection burdens in companion animals and discuss public health relevance, especially where zoonotic assemblages are identified (Mateo et al., 2023; Jańczak et al., 2025).

Diagnostic approach is a major driver of observed prevalence. Conventional microscopy—including direct wet mounts and iodine-based preparations such as the native–Lugol method—remains widely used because it is rapid and low-cost; however, sensitivity can be reduced by intermittent cyst shedding, low parasite burdens, and operator-dependent factors, leading to underestimation relative to molecular approaches in some contexts (Zhao et al., 2022). PCR-based detection targeting loci such as β-giardin can enhance analytical sensitivity and, when sequencing is performed, supports assemblage/genotype inference for epidemiological interpretation (Cacciò et al., 2002; Lalle et al., 2005).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

In Türkiye, province-level data on canine Giardia are still limited in several regions, and local comparisons of microscopy and PCR can inform evidence-based diagnostic choices in companion animal practice (Ertaş Oğuz et al., 2023). Therefore, the present study aimed to determine the prevalence of *G. duodenalis* among dogs presented to veterinary clinics in İzmir Province using both native–Lugol microscopy and β-giardin nested PCR and to summarize the added detection yield provided by nested PCR under routine field sampling conditions.

MATERIALS AND METHODS

Study design, sampling, and study population

This cross-sectional study was conducted using fecal samples obtained from dogs presented to local veterinary clinics in İzmir Province, Türkiye, for diagnostic and treatment purposes. A total of 100 fecal samples were collected from dogs aged 0–10 years. Samples were placed in fecal containers and transported to the Department of Parasitology Laboratory, Faculty of Veterinary Medicine, Aksaray University, under cold-chain conditions.

Microscopic examination (native–Lugol method)

All fecal samples were screened for *Giardia* cysts using the native–Lugol technique. Briefly, a drop of saline solution and a drop of Lugol's iodine were placed on separate areas of a clean microscope slide. Small portions of feces were sampled from different parts of the specimen, homogenized in the drops, and covered with a coverslip. Preparations were examined under a light microscope using the 400× objective.

DNA extraction

Genomic DNA was extracted from all fecal samples using a commercial kit (GeneMATRIX Stool DNA Purification Kit) according to the manufacturer's instructions. Extracted DNA was stored at −20°C until PCR analysis.

PCR and nested PCR amplification

PCR detection targeted the β-giardin gene. The primary PCR amplified a 753-bp region using primers G7 (5′-AAGCCCGACGACGACCTCACCCGCAGTGC-3′) and G759R (5′-GAGGCCGCCCTGGATCTTCGAGACGAC-3′) as originally described by Cacciò et al. (2002). Nested PCR was then performed using primers BG1F (5′-GAACGAGATCGAGGTCCG-3′) and BG2R (5′-CTCGACGAGTTCGTGTGTT-3′) described by Lalle et al. (2005). Reaction setup and cycling conditions followed the workflow used in Turkish companion-animal studies implementing β-giardin nested PCR (Ertaş Oğuz et al., 2023).

Agarose gel electrophoresis and interpretation

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Nested PCR products were resolved by electrophoresis on 1.5% agarose gels, stained with RedSafe™ nucleic acid staining solution, and visualized under UV illumination. Samples were considered positive when a band of the expected size was observed.

RESULTS

Microscopy and Nested PCR Results

By native–Lugol microscopy, *Giardia* cysts were observed in 14 of 100 fecal samples (14.0%). By β-giardin Nested PCR, G. duodenalis DNA was detected in 20 of 100 samples (20.0%). Nested PCR therefore identified six additional positive samples that were not detected by microscopy.

Table 1. Prevalence of *Cryptosporidium* spp. in dogs from İzmir Province, Türkiye, by diagnostic method.

Method	Positive / Tested	Prevalence (%)
Native-lugol microscopy	14/100	14.0
β-giardin nested PCR	20/100	20.0

DİSCUSSION

This study provides evidence that *G. duodenalis* is actively circulating among dogs presented to veterinary clinics in İzmir Province, Türkiye. The prevalence was 14.0% by native–Lugol microscopy and 20.0% by β-giardin nested PCR, indicating that molecular testing identified additional infections under routine clinic-based sampling. The magnitude and direction of the method difference are consistent with published syntheses showing that molecular approaches often yield higher prevalence estimates than microscopy (Zhao et al., 2022).

When positioned against international benchmarks, the molecular prevalence observed in İzmir (20.0%) is slightly above pooled prevalence estimates reported in recent meta-analyses. Sun et al. (2023) estimated an overall pooled prevalence of 15.6% in dogs across available datasets, while Zhao et al. (2022) reported a pooled prevalence of 11.2% in dogs in China. Differences between studies are expected, and several factors may contribute. First, clinic-attending dogs may include a higher proportion of animals with gastrointestinal complaints than community-based surveys. Second, the risk of exposure can vary with local environmental conditions (water sources, sanitation), dog management (indoor/outdoor), and aggregation (day-care facilities, shelters).

The higher detection rate with nested PCR in the present study is an important practical finding. Zhao et al. (2022) reported lower pooled prevalence estimates from microscopy than from molecular methods, supporting the interpretation that microscopy may underestimate infection in some contexts. The native–Lugol method is valuable as a rapid screening tool, but it is sensitive to low cyst output and intermittent shedding. Supporting this, Kurnosova et al. (2024) documented that a notable fraction of *Giardia*-infected dogs showed no obvious stool changes, reinforcing that reliance on clinical signs alone is insufficient to exclude infection. In

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

such situations, molecular testing can improve detection, particularly when parasite burdens are low.

Age is consistently identified as a major determinant of *Giardia* prevalence in dogs. Kurnosova et al. (2024) reported a markedly higher prevalence in dogs aged 1–12 months (18.2%) compared with dogs older than 12 months (3.8%). Shelter-based studies further emphasize the vulnerability of young animals: in sheltered dogs from Tuscany, central Italy, very high infection rates were reported in puppies, illustrating how crowding and hygiene constraints can amplify transmission (Agresti et al., 2022). Although the present study included dogs across a broad age range (0–10 years), age-stratified analyses were not available from the abstract-level dataset. Future studies in İzmir should examine age and housing as risk modifiers and consider repeated sampling, which may better capture intermittent cyst shedding.

From a One Health perspective, the zoonotic relevance of canine *Giardia* depends largely on assemblage distribution. Sun et al. (2023) found that assemblage C was the most common in dogs, but zoonotic assemblages A and B were also detected. Without genotyping, the present study cannot estimate the share of zoonotic assemblages in İzmir. Nevertheless, demonstrating a 20% molecular prevalence in clinic-attending dogs supports the need for practical prevention measures (prompt feces removal, hand hygiene after handling dogs, and sanitation of contaminated environments), especially in households with children or immunocompromised individuals.

This study has limitations that should be considered when interpreting the findings. First, the sampling frame was clinic-based and may not represent the general dog population. Second, only presence/absence was assessed, and assemblage typing was not performed; thus, zoonotic risk cannot be quantified. Third, details such as seasonality, housing conditions, and gastrointestinal signs were not incorporated into the abstract-level analysis. Despite these limitations, the study provides useful province-level evidence and demonstrates the added detection yield of β-giardin nested PCR over native–Lugol microscopy.

Overall, integrating molecular testing into routine diagnostic workflows—at least for microscopy-negative dogs with compatible clinical signs or for surveillance in high-risk settings—may improve case detection and support more effective control strategies.

CONCLUSION

Giardia duodenalis is present among dogs in İzmir Province, Türkiye, with a prevalence of 14.0% by native–Lugol microscopy and 20.0% by β-giardin nested PCR. Nested PCR detected additional infections beyond microscopy, supporting the use of molecular confirmation to enhance diagnostic sensitivity. These findings underline the need for continued surveillance and evidence-based hygiene and management measures in companion animal settings.

REFERENCES

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Agresti, A., Berrilli, F., Maestrini, M., Guadano Procesi, I., Loretti, E., Vonci, N., & Perrucci, S. Prevalence, risk factors and genotypes of *Giardia duodenalis* in sheltered dogs in Tuscany (Central Italy). Pathogens, 11(1), 12, 2022. https://doi.org/10.3390/pathogens11010012

Cacciò, S. M., De Giacomo, M., & Pozio, E. Sequence analysis of the β-giardin gene and development of a polymerase chain reaction–restriction fragment length polymorphism assay to genotype *Giardia duodenalis* cysts from human faecal samples. International Journal for Parasitology, 32(8), 1023–1030, 2002. https://doi.org/10.1016/S0020-7519(02)00068-1

Ertaş Oğuz, F., Ayan, A., & Orunç Kılınç, Ö. Investigation of the prevalence of *Giardia duodenalis* in dogs in Van region by microscopic and molecular methods. Journal of the Institute of Science and Technology, 13(3), 2264–2270, 2023. https://doi.org/10.21597/jist.1276968

Jańczak, D., Olszewski, J., Maj, A. K., Górecki, P., Nowak, M., & Szaluś-Jordanow, O. Prevalence of *Giardia duodenalis* genetic assemblages isolated from dogs and cats in Poland. Journal of Veterinary Research, 69, 447–455, 2025. https://doi.org/10.2478/jvetres-2025-0043

Kurnosova, O. P., Panova, O. A., & Arisov, M. V. Prevalence of *Giardia duodenalis* in dogs and cats: Age-related predisposition, symptomatic and asymptomatic cyst shedding. Veterinary World, 17(2), 379–383, 2024. https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.379-383

Lalle, M., Pozio, E., Capelli, G., Bruschi, F., Crotti, D., & Cacciò, S. M. Genetic heterogeneity at the β-giardin locus among human and animal isolates of Giardia duodenalis and identification of potentially zoonotic subgenotypes. International Journal for Parasitology, 35(2), 207–213, 2005. https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2004.10.022

Li, S.-A., Lin, Y.-L., Bai, Y.-P., Wen, F., Huang, L.-Y., Miao, W.-Y., & Zhou, D.-H. Prevalence and molecular characterization of *Cryptosporidium* spp. and *Giardia duodenalis* in humans and dogs from Fujian Province, Southeast China. Food and Waterborne Parasitology, 40, e00278, 2025. https://doi.org/10.1016/j.fawpar.2025.e00278

Mateo, M., Montoya, A., García, M., Dado, D., Galván, A. L., Miró, G., & Carmena, D. Prevalence and public health relevance of enteric parasites in domestic dogs and cats in the region of Madrid (Spain) with an emphasis on *Giardia duodenalis* and *Cryptosporidium* sp. Veterinary Medicine and Science, 9, 2542–2558, 2023. https://doi.org/10.1002/vms3.1270

Šmit, I., Potočnjak, D., Matijatko, V., Torti, M., Jović, I., Grden, D., Crnogaj, M., & Beck, R. The influence of *Giardia duodenalis* on the occurrence of clinical signs in dogs. Veterinary Sciences, 10(12), 694, 2023. https://doi.org/10.3390/vetsci10120694

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Sun, J., Qin, Z., Fu, Y., He, X., Yue, Y., Ling, H., & Li, J. Assessment of potential zoonotic transmission of *Giardia duodenalis* from dogs and cats. One Health, 17, 100651, 2023. https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2023.100651

Zhao, Z.-Y., Li, M.-H., Lyu, C., Meng, X.-Z., Qin, Y.-F., Yang, X.-B., Ma, N., Zhao, Q., Zhang, Y., & Jiang, J. Prevalence of *Giardia duodenalis* among dogs in China from 2001 to 2021: A systematic review and meta-analysis. Foodborne Pathogens and Disease, 19(3), 179–191, 2022. https://doi.org/10.1089/fpd.2021.0073

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

FROM PHYSICAL MISMATCH TO ECONOMIC LOSS: A SYSTEMATIC REVIEW OF OFFICE ERGONOMICS AND ITS MULTIDIMENSIONAL ELEMENTS

Merve UĞUR DEMİRKIRAN*
Gazi University, Institute of Science, Department of Industrial Engineering,
22830701014@gazi.edu.tr -0000-0002-2360-3184

Assoc. Prof. Dr. Burcu YILMAZ KAYA
Gazi University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering,
burcuyilmaz@gazi.edu.tr - 0000-0002-5088-5842

ABSTRACT

Across advanced and emerging economies alike, office-based and computer-intensive workers constitute a dominant share of the contemporary labor force, reflecting the structural shift toward information-driven work. Office ergonomics is evidence-based design of new-age work systems to fit human capabilities and limitations to and prevent musculoskeletal and psychosocial harm while sustaining higher efficiency and performance. Significance of office ergonomics today is also confirmed by real-world data; e.g. in Great Britain, total annual cost of workplace oriented and work-related ill health is estimated at approximately £16.4 billion, where, at EU level, work-related accidents and illnesses are estimated to cost over 3.3% of GDP annually; underlining that occupational health and office ergonomics are vital to survival of organizations. Effective office ergonomics is not limited to chair height and monitor position; it requires a systems perspective integrating physical environment (lighting/glare, noise, thermal comfort, air quality, etc.), job and work design (task variety, pacing, micro-breaks, hybrid-work arrangements, etc.), psychosocial determinants (support, authority, role clarity, etc.), and, mental workload (fatigue, job dissatisfaction, error propensity, etc.). To address and contemplate the significance of office ergonomics and dissect the pillars to enhance ergonomic design, a systematic literature review was conducted in this study covering the years of 2000-2025 on Web of Science Core Collection and Scopus databases. In particular, where it is difficult to directly and holistically assess ergonomic risks in office environments, existing literature has been thoroughly examined to reveal the impact of ergonomic arrangements on employee health and productivity. Five research questions (RQ) were developed in this structured analyze. The results of the study were delineated under the developed RQs and outputs were supported with illustrations and explained in details. The synthesis positions office ergonomics as a high-leverage strategy for both worker health and operational excellence, and it delineates priority research needs for rigorous, practice-ready evidence.

Key Words: Office Ergonomics, Literature Review, Occupational Diseases, Risk Analysis, Ergonomic Factors

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCTION

Ergonomics science deals with the design of workplaces, equipment, tools, and the working environment based on the physical, anatomical, physiological, and psychological characteristics of the individual. According to the definition of International Ergonomic Association (2021) ergonomics is the scientific discipline concerned with an understanding of interactions among humans and other elements of a system, and the profession that applies theory, principles, data, and methods to design to optimise human well-being and overall system performance (Yılmaz Kaya, 2022). This discipline prioritizes the health and safety of employees while also aiming to increase workforce productivity. The fundamental goal of ergonomics is to create a sustainable and healthy work system by bringing the harmony between humans and their work environment to the most optimal level (Güler,1988). Numerous valuable studies in the current literature indicate that employee productivity can be increased by designing the work environment considering physical factors such as proper lighting, comfortable climate control, appropriate noise levels, a well-planned workspace, and adequate working and storage arrangements, as well as by considering the sociological and psychological suitability of job design. This, in turn, positively impacts key success parameters such as final product quality, production time, defective production, work accidents, occupational diseases, job satisfaction levels, and employee turnover rates (Yılmaz Kaya & Dağdeviren, 2024). Since the fundamentals of ergonomics science ground on providing safe, convenient, and bareable working environment in regards to safety measures and physical health and wellbeing of employees (Yılmaz Kaya, 2022) not only the work environment of the employees working in field but also for the office employees has to be assessed and organized according to ergonomics principles.

Office ergonomics aims to regulate the interaction between the employee and the work environment in a way that is appropriate to people's physical, systemic, and psychosocial characteristics. Office ergonomics is an approach that aims to support employee performance, prevent health problems caused by negative aspects of the work environment, and arrange workspaces accordingly. Office ergonomics focuses on improving both health and work productivity by aiming to create the most favorable working conditions for employees in terms of physical and psychosocial aspects. Office ergonomics is a very broad field encompassing components e.g. the design and layout, types of office equipment, physical and climatic conditions, psychosocial elements, task frequencies, etc. (Özkan & Kahya, 2017).

Office environment is the workspace where employees spend a large part of their daily life and constantly interact with various office equipment i.e. individual workstations consisting of computers, desks, chairs, and communication tools. Designing workstations according to ergonomic principles is a fundamental requirement for ensuring employee physical comfort and sustainably improving work performance (Can et al., 2015).

Ergonomic risks faced by office workers are generally considered under physical, environmental, and psychosocial dimensions (Gavhed & Toomingas, 2007; Zakerian & Subramaniam, 2009; Liebregts et al., 2016, Robertson et al., 2017; Eraslan, 2020). Physical risks include musculoskeletal strain resulting from prolonged static postures, the use of

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

furniture with limited ergonomic adjustment options, repetitive movements related to keyboards and mice, and inappropriate screen positioning (Smith et al., 2015; Liebregts et al., 2016; Robertson et al., 2017; Szabo & Nemeth, 2019; Edwar et al., 2020; Barros, 2022; Haqi et al., 2023; Diesbourg et al., 2024; Yentur & Yarasir, 2024). Environmental risk factors are related to the physical characteristics of the work environment, such as inadequate lighting, glare and reflection problems, unsuitable temperature conditions, poor air quality, and disturbing noise levels (Fleischer et al., 2001; Gavhed & Toomingas, 2007; Saklani & Jha, 2011; Robertson et al., 2017; Eraslan et al., 2020; Nikhila & Rajesh, 2022; Zhang et al., 2024). Psychosocial risks manifest as excessive workload, time constraints, ambiguity in job descriptions, lack of social support, and stress factors related to the work environment (Zakerian & Subramaniam, 2009; Edward et al., 2020; Poot et al., 2022; Wahlström, 2024). The combined presence of these risk factors negatively affects employee performance and increases the likelihood of occupational hazards e.g. burnout, absenteeism, musculoskeletal disorders, cardiovascular disorders, etc. Some ergonomic risk factors affecting the occupational health of office workers are shown in Figure 1.

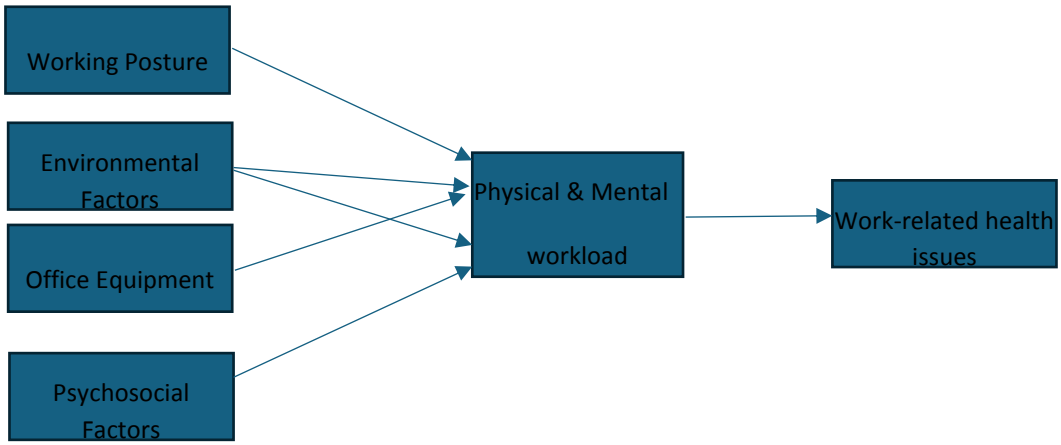


Figure 1. Some factors affecting the work-related health of office workers.

Ergonomic risk assessment methods are generally classified under three main headings (David, 2005);

- self-reports,
- observational methods and
- direct measurements.

Self-reports from workers, worker diaries, interviews, and surveys can be used to collect data on both physical and psychosocial exposure to factors in the workplace. Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaires (CMDQ) and Standard Nordic Questionnaire (SNQ) are the most commonly used (Kahya & Erkaplan, 2022) indirect ergonomic measurement method in the form of a questionnaire to determine discomfort or complaints of pain in the body and can identify Work-related Musculoskeletal Disorders (WMSDs). Observational methods have been developed to enable the assessment of physical workload in the workplace by an observer, who records the relevant data using standardized, pre-designed

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

assessment forms (David, 2005). To determine the ergonomic risk levels of office workers, the ROSA (Rapid Office Strain Assessment) (Sonne, Villalta & Andrews, 2012). Method has won its own place in the related literature, to examine the interactions between the user and commonly used equipment (e.g. chairs, computer screens, telephones, keyboards, etc.) in a computer workstation to assign risk scores accordingly the employee postures that occur during the use of the analyzed tools in offices. It is one of the most detailed risk assessment methods developed in the field of office ergonomics (Kahya & Erkaplan,2022). This tool was formulated based on the CSA Z412 guidelines of office ergonomics from the Canadian Risk factors of computer usage were identified in various office designs from the Canadian Center of Occupational Health and Safety (Sonne et al., 2012). Direct measurement methods are procedures based on sensors attached directly to the worker's body in order to assess physical performance during work activities. The advantages of these systems include their large data generation capacity and high accuracy of the data obtained. On the other hand, the discomfort caused by the sensor attached to the employee and its potential to alter work behavior, as well as the time required for data analysis and interpretation, are among their disadvantages (Özel & Çetik, 2010). RULA (Rapid Upper Limb Assessment) is an observational ergonomic assessment method developed by McAtamney and Corlett in 1993 to rapidly evaluate ergonomic risks associated with upper limb activities. The method assesses working postures of the neck, trunk, and upper extremities, while also considering muscle use and external loads applied to the body. RULA does not require specialized equipment and generates a risk score that indicates the urgency of ergonomic intervention to reduce the likelihood of work-related musculoskeletal disorders (McAtamney & Corlett, 1993). Rapid Entire Body Assessment (REBA) is an observational posture assessment method that analyzes both static and dynamic postures adopted by workers during whole-body activities. The REBA score obtained as a result of the assessment quantitatively represents the overall ergonomic risk level associated with the evaluated posture or movement and indicates the urgency of the required intervention. Moreover, REBA is an effective tool for assessing ergonomic risks in sectors such as healthcare and service industries, where working postures are difficult to predict in advance (Hignett & McAtamney ,2000). Job Strain Index (JSI) is an observational ergonomic risk assessment method developed to evaluate the risk of musculoskeletal strain, particularly affecting the hand, wrist, and forearm, among individuals working in repetitive tasks. The JSI method considers six main factors: the level of force exerted during the task, frequency of exertion, duration of each exertion, daily duration of the task, hand–wrist posture, and work pace. These factors are assessed using numerical multipliers, and the JSI score is calculated by multiplying the corresponding values. The resulting score indicates whether the task poses a low, moderate, or high ergonomic risk to the upper extremity (Moore & Garg, 1995). WERA (Workplace Ergonomics Risk Assessment) is a systematic assessment tool developed to identify, analyze, and classify ergonomic risks arising in work environments. Developed by Hignett and McAtamney, this method aims to determine the potential adverse effects of work-related physical demands on the musculoskeletal system by examining occupational physical strain(Ateş & Özfirat, 2025).In this method, physical risks that may occur during the work process are evaluated based on nine key criteria. The assessment considers shoulder, wrist, neck, and back postures along with their associated repetition frequencies, leg posture and

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

duration of standing, level of force exerted, exposure to vibration, contact stress, and task duration (Rahman et al., 2011).

This study aims to systematically examine the ergonomics literature with a particular focus on office ergonomics research, highlighting the frequency of studies, methodological diversity, as well as their similarities and differences. To address these key aspects and to derive practical implications from prior research findings, five research questions were formulated to guide the analysis of the existing literature.

The remaining of the study is organized as follows; Section 2 presents the scope, research questions and conducted research, Section 3 explains the result and discussion, where, Section 4 briefly addresses the handled problem, outcomes and future directions as it concludes the study.

2. APPLICATION

This study was conducted to examine the existing office ergonomics literature regarding the dissections of certain dimensions of the current studies. In this direction, five research questions (RQs) were identified to guide the data extraction process and how the analysis will be performed. RQs developed particular to this aim are listed, hereinafter.

RQ1: Has the impact of ergonomics on office workers been adequately analyzed?

RQ2: Which dimensions of office ergonomics (physical workload, mental workload, environmental factors, etc.) have been examined in studies?

RQ3: Which ergonomic risk assessment methods were used and how frequently in office ergonomic? Were single or hybrid methods used more frequently? Were single or hybrid methods more effective?

RQ4: What risk factors are considered for office workers? What are the similarities and differences between ergonomic risk factors for workshop-type workers and office-type workers?

RQ5: What is the effectiveness of ergonomic risk analysis in improving office ergonomic work efficiency?

After determination of RQs and identification of the research framework, the data space of the study was defined. The existing literature was investigated in details basing on Web of Science and Scopus databases, as the widest, richest and most reliable sources of scientific research presentation internationally. As a result of the literature review conducted (November 4th, 2025), a total of 197 documents were identified in Web of Science database with the keywords “ergonomics,” “risk factors,” and “office” in the topic field using the Boolean operator “AND”, where, of these documents, 162 were classified as research articles. The same search parameters were subsequently applied to the Scopus database, yielding a total of 257 documents, of which 180 were research articles. This study focuses on articles published in the scientific literature between 2000 and 2025. Within this scope, 69 English-language, open-access articles were retrieved from the Scopus database, while 56 articles meeting the same criteria were obtained from the Web of Science database. After the removal of duplicate records, a total of 88 unique

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

articles remained and were considered eligible for further analysis (Figure 2). From this dataset, 24 articles that addressed office ergonomics from different dimensions and employed various methodological approaches were selected for in-depth analysis. Figure 2 illustrates the flow of the literature review process.

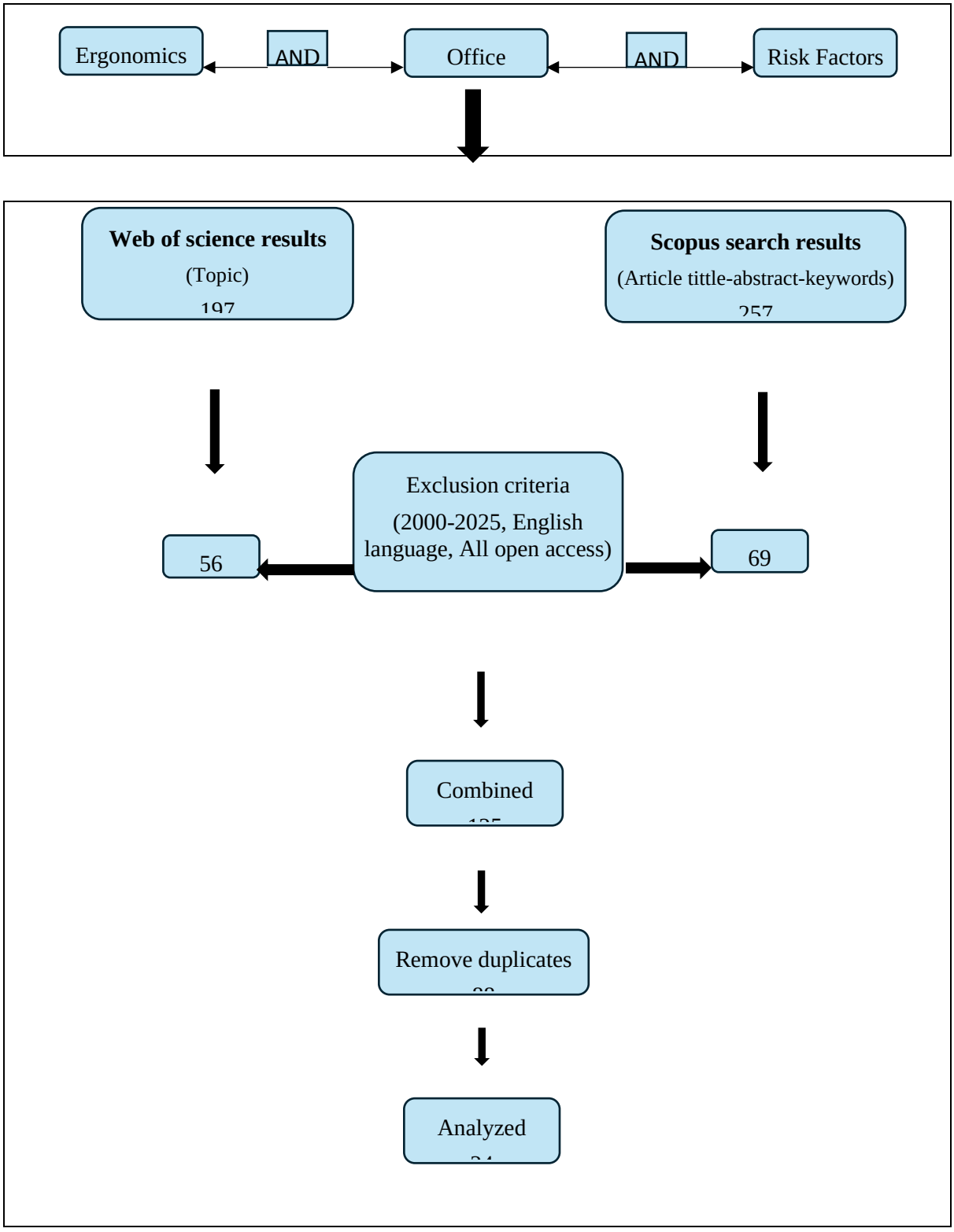


Figure 2. Literature review execution flow

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Overall outcomes of the literature survey indicate that the application bases are generalized on managerial offices, university offices, banks, public institution offices, and, home offices (remote working). (Motamedzade, 2015; Özkan & Kahya, 2017; Ekin et al., 2021; Diesbourg et al., 2024). Furthermore, the ergonomic risks observed among employees in these occupational groups could also be generalized under certain headings, which are summarized hereinafter.

As the first and most frequent one *WMSDs* affecting the neck, back, and lumbar regions are observed due to prolonged static sitting and improper sitting postures, non-adjustable chairs, inappropriate desk height, and incorrect monitor positioning (Motamedzade, 2015; Özkan & Kahya, 2017; Nikhila & Rajesh, 2022). *Repetitive strain movements* can cause repetitive strains in the hand, wrist, forearm, and shoulder due to keyboard and mouse use. This has been thoroughly documented in ROSA and CMDQ studies (Liebregts et al., 2016; Ekin et al., 2021; Barros, 2022; Haqi et al., 2023; Atıcı Ulusu et al., 2024; Ağar et al., 2025). *Environmental ergonomics* related issues e.g. lighting level, lighting distribution, glare, noise, thermal comfort, etc. parameters affect the performance and dissatisfaction of office workers (Fleischer et al., 2001; Saklani and Jha, 2011; Kahya et al., 2022). *Cognitive ergonomics* elements such as mental workload, attention control, work intensity, and performance pressure are also significant determinants for office working environment, while, studies using the National Aeronautics and Space Administration – Task Load Index (NASA-TLX), National Aeronautics and Space Administration – Raw Task Load Index (NASA-RTLX) etc. are employed to address that cognitive workload risks can be high (Atıcı Ulusu et al., 2024; Ulusu et al., 2024; Ismail et al., 2025; Arefian, 2025).

3. RESULTS AND EVALUATION

The results reveal that there has been increasing interest in ergonomics in the office environment, particularly in recent years (Figure 4). During the process of narrowing the literature review, a total of 88 articles were selected for detailed examination following the preliminary screening stages. It was observed that the majority of the reviewed studies focused on musculoskeletal disorders; however, only those studies that addressed ergonomic risks not only from a physical perspective but also in terms of environmental and psychosocial factors, and that provided diversity in terms of applied methods and evaluated criteria, were included. As a result, 24 studies were incorporated into the final literature set. The distribution of the risk factors addressed in the 24 articles reviewed within the scope of the literature review by year is presented in Figure 3.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

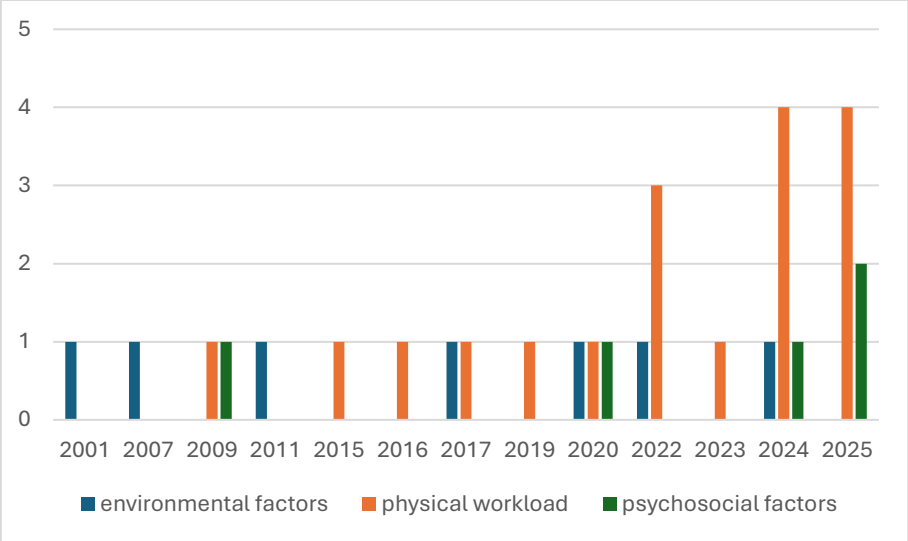


Figure 3.Distribution of the risk factors by year

RQ1 Results: Analysis of the current literature's adequacy

The distribution of studies addressing office ergonomics by year is shown in Figure 3. An examination of the distribution of studies published in the Scopus database on office ergonomics over the years reveals a significant upward trend in academic interest in this subject. A total of 180 articles were published during the 37-year period from 1988 to 2025. The number of publications on office ergonomics was quite limited between 1988 and 1999, remaining at a low level with an average of 0-1 article per year between 1988 and 1996. However, the first significant increase occurred in 1997 with the publication of 5 articles. The low number of publications during this period is considered to be related to the fact that ergonomics was still in its developmental stage and awareness of health problems among office workers was limited.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

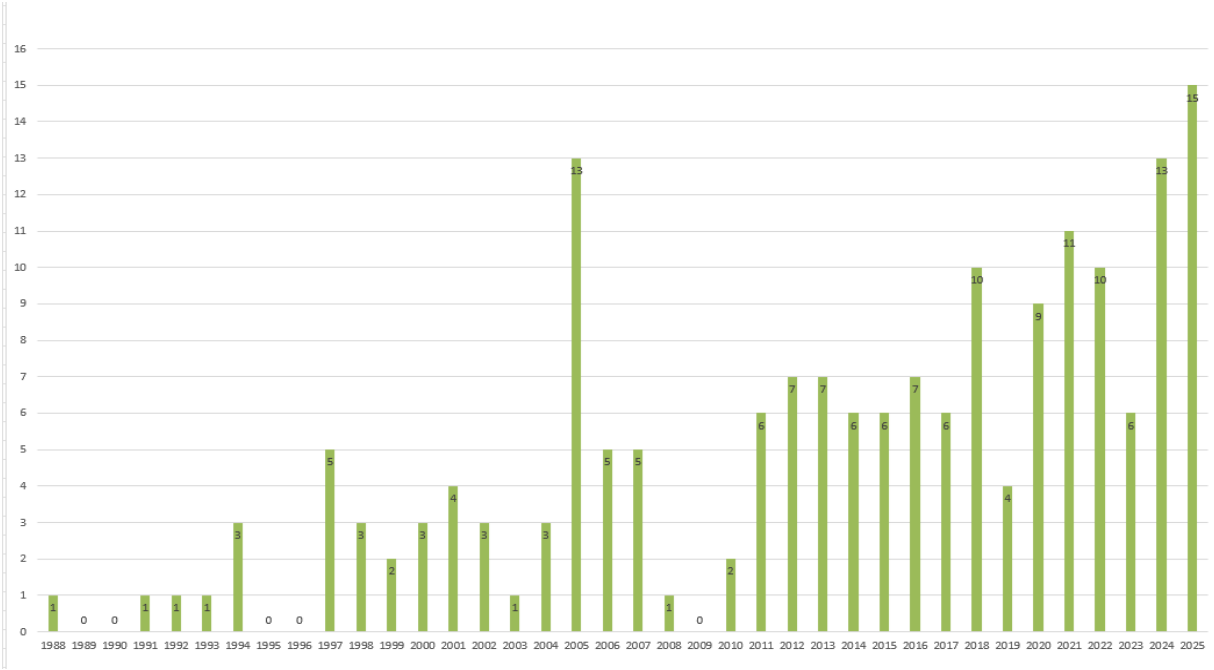


Figure 4. Documents by year (Scopus)

In the early 2000s, the number of publications fluctuated between 1 and 5, reaching its highest value for this period in 2005 with 13 articles. Since 2011, there has been a more stable upward trend in the number of publications in the field of office ergonomics; the number of publications, which rose to levels of 6-7 between 2011-2013, was maintained at similar levels during the 2014-2017 period.

In recent years, however, there has been a remarkable acceleration. Nine articles were published in 2020, 11 in 2021, and 10 in 2022; and in 2024 and 2025, the highest number of publications of all time were reached with 13 and 15 articles respectively. These findings reveal that academic interest in the field of office ergonomics has increased significantly, especially in the last five years, and that the field continues to gain importance while maintaining its relevance.

RQ2 Results: The frequency of office ergonomics studies and addressed dimensions

Problem content analysis reveals that office ergonomics research focuses on four fundamental dimensions: physical workload, mental workload, psychosocial factors, and environmental factors. Physical workload stands out as the most frequently examined dimension, addressed in 18 out of 24 studies. A significant increase in studies focusing on physical workload is observed, particularly during the 2022–2025 period (Barros, 2022; Poot et al., 2022; Nikhila & Rajesh, 2022; Haqi et al., 2023; Diesbourg et al., 2024; Wahlström et al., 2024; Yentur & Yarasir, 2024; Atıcı Ulusu et al., 2024; Arefian, 2025; Ağar et al., 2025; Ren et al., 2025; Gülüstan et al., 2025). Environmental factors have been examined in seven studies and constitute the second most common research area in the office ergonomics literature (Fleischer et al., 2001; Gavhed & Toomingas, 2007; Saklani & Jha, 2011; Eraslan et al., 2020). Psychosocial factors have been addressed in only five studies (Zakerian & Subramaniam, 2009; Robertson et al., 2017; Edward et al., 2020; Poot et al., 2022; Wahlström et al., 2024; Zhang et al., 2025), and occupy a relatively limited place in the literature. Mental workload, on the other hand, was examined in

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

only three studies, making it the least researched dimension (Atıcı Ulusu et al., 2024; Arefian, 2025; Ismail et al., 2025).

In the vast majority of studies, office ergonomics is considered through a single dimension. However, it was determined that two dimensions were evaluated together in five studies. These studies particularly favor the combination of physical workload and psychosocial factors (Robertson et al., 2017; Edward et al., 2020; Poot et al., 2022) and the combination of physical and mental workload (Atıcı Ulusu et al., 2024; Arefian et al., 2025). Overall, a literature analysis reveals that office ergonomics research primarily focuses on the physical dimension, with environmental factors ranking second; however, mental workload and psychosocial factors are relatively under-examined.

RQ3 Results: Employed risk assessment methods and their frequency

Methodological approaches employed by the handled studies indicate that different methods and techniques are used in determining ergonomic risks in office jobs (Figure 5). These include observation-based assessment tools, surveys, characteristic measurement techniques, and multi-criteria decision-making options. ROSA, as one of the detailed and comprehensive risk assessment methods developed in the field of office ergonomics, stands out as the most widely used tool in the literature. The ROSA method has been used by Liebregts et al. (2016), Szabo & Nemeth (2019), Edwar et al. (2020), Barros (2022), Poot et al. (2022), Nikhila & Rajesh (2022), Haqi et al. (2023), Diesbourg et al. (2024), Yentur & Yarasir (2024), Atıcı Ulusu et al. (2024), Arefian (2025), Ağar et al. (2025), and Ren et al. (2025).

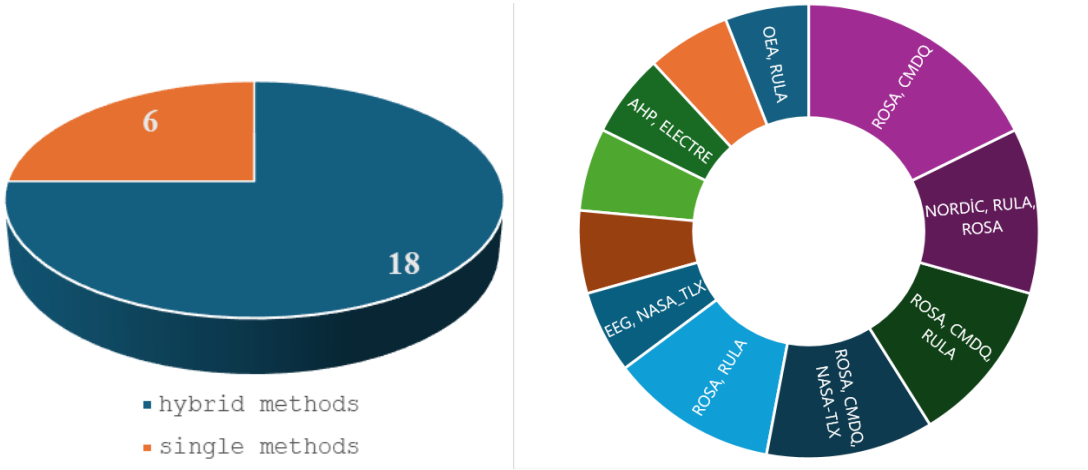


Figure 5. Distribution of Single and Hybrid Ergonomic Assessment

RULA method has been used in eight ways (Smith et al., 2015; Robertson et al., 2017; Szabo & Nemeth, 2019; Poot et al., 2022; Nikhila and Rajesh, 2022; Wahlström et al., 2024; Atıcı Ulusu et al., 2024; Gülüstan et al., 2025). The number of studies employing a single method in the literature is limited; in most studies, two or more methods have been used.

Findings indicate that ergonomic risk assessment studies utilizing hybrid methods yield more effective results. Atıcı Ulusu et al. (2024) and Arefian (2025) assessed physical and mental workflow simultaneously using ROSA, CMDQ, (NASA-TLX) data. This analysis also examines the exhaustion of numerous therapies often overlooked in traditional ergonomic

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

treatments. Edward et al. (2020) assess physical risks using ROSA, as well as measuring work stress and job satisfaction through psychosocial scales, revealing the psychological impact of ergonomic outcomes. Wahlström et al. (2024), using NORDIC, RULA, ROSA and electromyography (EMG) data, assessed subjective concerns, postural risks, and muscle activations together; a comprehensive analysis was conducted between physical factors and psychosocial stress.

Overall, the analysis results show that hybrid methods provide superior and holistic results in ergonomic risk assessment for office workers compared to individual performance comparisons (Figure 5). The use of multidimensional hybrid methods becomes a gradual necessity for ensuring regular and effective risk assessment and the realization of sustainable ergonomic systems.

RQ4 Results: Dissection of addressed risk factors

Office environments are workspaces where employees spend a significant portion of their day and are constantly interacting with various office services. These spaces typically include workstations equipped with essential items such as computers, telephones, desks, and chairs. We will place great emphasis on maintaining physical comfort during work and designing workstations in accordance with ergonomic principles, taking into account the employee's workflow (Can et al., 2015). In addition, environmental factors such as inadequate or uneven lighting, glare and reflection problems, unsuitable thermal comfort conditions, poor air quality, and noise negatively affect the comfort and performance of office workers. From a psychosocial perspective, mental workload, time pressure, work intensity, monotony, lack of breaks, and the need for prolonged focus in front of a screen are considered significant risk factors (Yaralel et al., 2022).

Office employees, despite having different working conditions, are exposed to some common ergonomic risk factors. In both work groups, improper postures, repetitive movements, and excessive or unbalanced loading on the musculoskeletal system are significant risk factors. Furthermore, environmental factors such as noise, inadequate lighting, and thermal comfort issues can negatively impact employee health in both office and workshop environments. From a psychosocial perspective, factors such as work pace, time pressure, workload, and lack of organizational support are common factors that increase stress levels in both employee groups. While office employees and workshop-type jobs share some common ergonomic risk factors, they differ significantly in terms of the type and duration of exposure (Mänty et al., 2021). Office employees are characterized by low-intensity but prolonged physical and mental strain, while workshop-type jobs are dominated by high physical stress over a short period of time (Robertson et al., 2017).

RQ5 Results: Enhancement dimensions and levels

In some studies, ergonomic awareness was enhanced by providing ergonomics training to employees, and WMSDs were monitored before and after the training. The findings indicated a noticeable reduction in the prevalence of these disorders following the training. Ağar et al. (2025) examined the effect of ergonomics training on musculoskeletal disorders and risk scores

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

related to working postures. It was found that after providing ergonomics training to employees, there was a statistically significant decrease in the average ROSA scores. Interventions based on ergonomics training for office workers have been effective in improving working postures and reducing musculoskeletal disorders.

Various academic studies have been conducted to evaluate the effects of ergonomic arrangements in office environments on employees. Barros et al. (2022) showed that as a result of ergonomic arrangements in the office environment, ROSA final and departmental scores decreased significantly. ROSA scores reflect changes in risk factors after ergonomic intervention in the office environment. In their study, Saklani and Jha (2011) showed that ergonomic interventions increased work productivity by more than 25%.

Ismail et al. (2025) reported a decrease in cognitive workload indicators such as heart rate and Beta-Alpha Ratio (BAR) measurements in employees using Cognitive Ergonomics Focused Technology (CEDT).

4. GENERAL ASSESSMENT AND CONCLUSIONS

This study conducted a systematic review of publications in the field of office ergonomics, aiming to identify the perspectives of ergonomic risks faced by office workers, the techniques used to assess these risks, and the impact of risk analyses on job performance. After a very detailed analysis of 197 (Web of Science) and 257 (Scopus) research items, supplicate studies (88 in total) were eliminated, then, inclusion and exclusion criteria were established based on the study type, subject, and methods used. A finalized instance pool of research articles consisting of 24 studies sufficient to clarify the five RQs established under the heading of office ergonomics was created. Twenty-four studies were included in the study, and the evolution of office ergonomics over time was assessed, the extent to which physical, environmental, and cognitive ergonomic dimensions were investigated, the effectiveness of the risk assessment methods used and their distribution were evaluated. The findings reveal a particularly pronounced form of academic interest in office ergonomics, with research primarily focusing on the physical workload dimension. Methodologically, observational ergonomic improvement tools such as ROSA and RULA are widely used, but more recently, hybrid treatments combining surveys, visible measurements, and statistical workload patterns have gained prominence. The results demonstrate that ergonomics training and ergonomic adjustments improve work postures, reduce musculoskeletal disorders, and increase ergonomic oxygen levels in workers. This underscores the need for a holistic approach to office ergonomics, encompassing not only physical but also mental and psychosocial dimensions.

This study has several limitations. Since a significant portion of the studies examined focused on physical risks, the generalizability of results related to cognitive ergonomics and psychosocial factors is quite low. Furthermore, productivity measurements are generally based on individual opinions, hence the employment of objective performance indicators is scarce. Future research could yield more detailed and holistic results through the employment of hybrid analyses combining AI-powered posture analysis, ergonomic monitoring systems based on sensors and IoT technologies, wearable technologies, biomechanical system-based models, and multi-criteria evaluation methods. In addition, a more detailed examination of new risk factors

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

for state-of-the-art job design styles such as working from home is required according to the dissection of current literature instances. As last, studies aiming to address and enlighten digital workload and mental ergonomics dimensions for office workers would make a significant contribution to the future literature.

REFERENCES

Ağar, A., Yeginoğlu, G., & Kızıltan, B. (2025). The effect of ergonomics training given to office workers on musculoskeletal disorders and working postures. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 31*(2), 460–467. https://doi.org/10.1080/10803548.2025.2457186

Arefian, S., Laybidi, M. I., Vahedi, M., Melloh, M., & Mokhtarinia, H. R. (2025). Impact of mental and physical workload on work function in office workers with musculoskeletal disorders. *BMC Musculoskeletal Disorders*. https://doi.org/10.1186/s12891-025-09147-0

Atıcı Ulusu, H., Gencer, M., & Gündüz, T. (2024). Assessment of musculoskeletal disorders and mental workload among office workers in the automotive industry. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 42*(5), 1519–1531. DOI: 10.14744/sigma.2024.00000

Ateş, D., & Özfırat, M. K. (2014). Çok tehlikeli endüstride WERA yöntemi ile ergonomik risk analizi. *Kuzey Ege Teknik Bilimler ve Teknoloji Dergisi, 2*(2), 13–32.

Barros, F. C., Moriguchi, C. S., Chaves, T. C., Andrews, D. M., Sonne, M., & Sato, T. de O. (2022). Usefulness of the Rapid Office Strain Assessment (ROSA) tool in detecting differences before and after an ergonomics intervention. *BMC Musculoskeletal Disorders, 23*(1), 526. https://doi.org/10.1186/s12891-022-05490-8

Can, G. F., Atalay, K. D., & Eraslan, E. (2015). Working posture analysis in a fuzzy environment and ergonomic workstation design recommendations. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30*(3), 451–460.

David, G. C. (2005). Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational Medicine, 55*(3), 190–199. DOI: 10.1093/occmed/kqi082

Diesbourg, T. L., McAllister, M. J., & Costigan, P. A. (2024). Effectiveness of and preference for a picture-based home office ergonomics assessment compared to a traditional in-person office ergonomics assessment: A case study from a Canadian university during the COVID-19 pandemic. *Applied Ergonomics, 118*, 104261. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2024.104261

Edwar, M., Moch, B. N., & Muslim, E. (2020). Ergonomics and workstyle risk factors analysis of musculoskeletal disorders in students conducting distance learning. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*. https://doi.org/10.1145/3429789.3429796

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Ekin, E., Uğur Özçelik, M., & Avşar Özcan, N. (2021). Evaluation of ergonomic risks among office workers in a public institution. *Journal of Turkish Operations Management, 5*(2), 792–805.

Eraslan, E., Güneşli, İ., & Khatib, W. (2020). The evaluation of appropriate office layout design with multi-criteria decision-making techniques. *SN Applied Sciences, 2*, 388. https://doi.org/10.1007/s42452-020-2181-x

Fleischer, S., Krueger, H., & Schierz, C. (2001). Effect of brightness distribution and light colours on office staff. In *Proceedings of the 9th European Lighting Conference (Lux Europa)* (pp. 77–80). Reykjavik. https://doi.org/10.3929/ethz-a-004362002

Gavhed, D., & Toomingas, A. (2007). Observed physical working conditions in a sample of call centres in Sweden and their relations to directives, recommendations and operators' comfort and symptoms. *International Journal of Industrial Ergonomics, 37*(9–10), 790–800. DOI:10.1016/j.ergon.2007.06.006

Güler, Ç. (1988). *İş güvenliği kavramı ve ergonomi ile ilişkisi*. Ankara: İSGÜM.

Gülüstan, H., Eser, F., & Özkan, F. (2025). Analysis of occupational and non-occupational factors related to spinal pain in office workers who work with computers. *International Archives of Occupational and Environmental Health, 98*(2), 217–229. https://doi.org/10.1007/s00420-024-01985-0

Haqi, D. N., Martiana, T., Notobroto, H. B., Paskarini, I., Alayyannur, P. A., & Haidar, M. A. (2023). Ergonomic risk analysis and muscle complaints of office workers in a government office. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine, 27*(4), 347–350. https://doi.org/10.4103/ijoem.ijoem_284_22

Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (REBA). *Applied Ergonomics, 31*(2), 201–205. https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3

International Ergonomics Association, "What is ergonomics?" 2021, https://iea.cc/what-is-ergonomics/.

Ismail, M. N. I., Abd Rahman, N. I., & Ahmad, S. A. (2025). The role of cognitive ergonomics in enhancing work efficiency and reducing workload among older employees. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation, 82*(2), 397–412. https://doi.org/10.1177/10519815251339437

Kahya, E., & Erkaplan, F. (2022). Ergonomic risk assessment in offices of a large-scale manufacturing enterprise using ROSA and Cornell methods. *Journal of Industrial Engineering, 33*(3), 469–483. https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1161272

Liebregts, J., Sonne, M., & Potvin, J. R. (2016). Photograph-based ergonomic evaluations using the Rapid Office Strain Assessment (ROSA). *Applied Ergonomics, 52*, 317–324. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.07.028

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Mänty, M., Kouvonen, A., Nordquist, H., Harkko, J., Pietiläinen, O., Halonen, J., Rahkonen, O., & Lallukka, T. (2021). Physical working conditions and subsequent sickness absence: a record linkage follow-up study among 19–39-year-old municipal employees. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 95, 489-497. https://doi.org/10.1007/s00420-021-01791-y.

Moore, J. S., & Garg, A. (1995). The strain index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. *American Industrial Hygiene Association Journal***,** 56(5), 443–458. https://doi.org/10.1080/15428119591016863

Motamedzade, M. (2015). Assessment of risk factors for musculoskeletal disorders using the Rapid Office Strain Assessment (ROSA) Method and implementing ergonomics intervention programs in Sepah Bank. *Journal of Health and Safety at Work, 5*(2), 47–62.

Nikhila, A. A., & Rajesh, R. (2022). Ergonomic risk assessment of office workers in a consulting firm. *Lecture Notes in Networks and Systems, 391*, 963–973. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94277-9_82

Özel, E., & Çetik, O. (2010). Tools used in the ergonomic analysis of occupational tasks and an application example**.** *Journal of the Institute of Science of Dumlupınar University*, 41–56.

Özkan, N. F., & Kahya, E. (2017). Evaluation of ergonomic risks in administrative offices of a university. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32*(1), 141–150. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.300603

Poot, E. F. M., Murad, M. S., Masuri, G., & Singh, O. G. (2022). The effectiveness of EIA ergonomics training towards individual environmental control, musculoskeletal pain, and workplace stress. *Environment-Behaviour Proceedings Journal, 7*(20), 439–445. https://doi.org/10.21834/ebpj.v7i20.3448

Rahman, M. N. A., Rani, M. R. A., & Rohani, J. M. (2011). WERA: An observational tool developed to investigate the physical risk factors associated with WMSDs. *Journal of Human Ergology, 40*(2), 19–36.

Robertson, M. M., Huang, Y. H., & Lee, J. (2017). Improvements in musculoskeletal health and computing behaviors. *Applied Ergonomics, 62*, 182–196. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.02.017

Sonne, M., Villalta, D. L. & Andrews, D. M. (2012). Development and evaluation of an office ergonomic risk checklist: ROSA–Rapid office strain assessment. *Applied Ergonomics*, 43 (1), 98-108. Doi : https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.03.008

Smith, M. L., Pickens, A. W., Ahn, S., Ory, M. G., DeJoy, D. M., Young, K., Bishop, G., & Congleton, J. J. (2015). Typing performance and body discomfort among overweight and obese office workers. *Applied Ergonomics, 46*, 30–37. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.06.004

Szabo, G., & Nemeth, E. (2019). Development of an office ergonomic risk checklist: Composite ergonomic risk assessment. *Advances in Intelligent Systems and Computing, 819*, 590–597. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96089-0_64

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Wahlström, V., Öhrn, M., Harder, M., Eskilsson, T., Fjellman-Wiklund, A., & Pettersson-Strömbäck, A. (2024). Physical work environment in an activity-based flex office. *International Archives of Occupational and Environmental Health, 97*(5), 661–674. https://doi.org/10.1007/s00420-024-02073-z

Yararel, B., Arslan, K., Kılıç, S., & Arpacı, G. S. (2022). The importance of ensuring ergonomic conditions in office design. *Ergonomi, 5*(2), 84–97. https://doi.org/10.33439/ergonomi.1111957

Yentur, S. B., & Yarasir, E. (2024). The relationship between core endurance, physical activity level and balance in office workers. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 30*(4), 1250–1257. https://doi.org/10.1080/10803548.2024.2387484

Yılmaz Kaya, B. (2022). Minimizing OHS risks with spherical fuzzy sets as a verdict to inventory management: A case regarding energy companies. *Discrete Dynamics in Nature and Society, 2022*(1), 9511339. https://doi.org/10.1155/2022/9511339

Yılmaz Kaya, B., & Dağdeviren, M. (2024). Bilgi çağında verimlilik ve ergonomi: Uzaktan çalışma iş tasarımı modelinde ergonomik faktörlerin analizi. *30. Ulusal Ergonomi Kongresi Bildiri Kitabı* (s. 61). Karabük, Türkiye.

Zakerian, S. A., & Subramaniam, I. D. (2009). The relationship between psychosocial work factors and computer-related musculoskeletal discomforts among computer users. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 15*(4), 425–434. https://doi.org/10.1080/10803548.2009.11076822

Zhang, C., Mao, X., Pang, L., & Wang, H. (2025). Effects of lighting on visual ergonomics, visual perception and psychological responses in windowless offices. *Lighting Research & Technology, 57*, 229–249. https://doi.org/10.1177/14771535241259763

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

THE IMPORTANCE OF CONTINUOUS IMPROVEMENT FOR BUSINESSES: AN EVALUATION WITH THE LEAN MANUFACTURING APPROACH

Arş. Gör. Dr. Ceren Ünlükal
Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tunceli
E-posta: cerenunlukal@munzur.edu.tr - ORCID: 0000-0001-9997-7310

Abstract

In today's production environment, where global competition is increasingly intense, enabling businesses to achieve sustainable success is not limited to mere activities such as cost reduction or productivity increasing; it also depends on establishing a systematic learning and development culture in all processes. From this perspective, the approach of continuous improvement, which involves change adaptation, failure prevention, quality improvement, and strengthening of employee participation processes, stands out as a basic management philosophy for businesses. Continuous improvement is not only a driver of operational excellence but also of longer-term performance indicators such as organizational learning, innovation and sustainable competitive advantage. This research is focused on the analysis of the continuous improvement strategic relevance for the businesses under the viewpoint of lean production. It is emphasized that in the success of lean production systems, continuous improvement should not be seen as a tool, but as an element of culture.

Keywords: Continuous improvement, kaizen, lean production.

1. Introduction

In the uncertain, highly competitive global business environment of the 21st century, businesses cannot survive solely through classic approaches such as cost reduction or increased production volume. Lasting success depends on businesses' ability to quickly adapt to changing environmental conditions, learn, and act innovatively (Teece et al., 1997). In this context, the philosophy of continuous improvement (kaizen), which originated in Japanese management and spread throughout the world, stands out as one of the fundamental management approaches that make businesses' competitiveness sustainable (Imai, 1986).

Continuous improvement focuses on improving processes in small steps but continuously, rather than through large, radical changes. The Kaizen approach systematizes the effort to achieve better results in all areas, from production to management, from service quality to employee participation (Bessant & Francis, 1999). In this respect, Kaizen is not just a set of techniques or tools; it is a transformation of culture and mindset shared by all members of the organization.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

One of the systems where this culture is most strongly applied is the Lean Production approach. This approach, introduced to the literature by Womack, Jones, and Roos (1990) in their work "The Machine That Changed the World" is based on the principles of eliminating waste, focusing on customer value, and creating flow in processes. However, lean manufacturing is not just about tools like Kanban, 5S, or Line Balancing; the effectiveness of these tools depends on the existence of a deeply rooted culture of continuous improvement within the business (Liker, 2004). Therefore, kaizen is not only a tool but also a vital component of lean systems.

Today, the success criteria of businesses are evaluated not only by financial performance but also by qualitative indicators such as learning ability, innovation capacity, and sustainable competitive advantage (Barney, 1991). In this respect, continuous improvement forms the basis of both operational excellence and strategic flexibility. Businesses that adopt a culture of continuous improvement not only increase process efficiency but also strengthen employee engagement, organizational learning capacity, and innovation potential (Spear & Bowen, 1999).

The aim of this study is to demonstrate, from a lean manufacturing perspective, that continuous improvement is not only an operational method for businesses but also a source of strategic competitive advantage. The study is a conceptual review based on a literature review; it discusses the effects of a continuous improvement culture on business performance, the processes of building this culture, and the organizational obstacles encountered. The main argument is that unless kaizen is adopted not as a tool but as a culture ingrained in the genetic code of the business, lean transformation initiatives will remain unsustainable.

2. Theoretical Framework

2.1. Lean Manufacturing Philosophy and Fundamental Principles

Lean manufacturing is a holistic management approach that aims to deliver the highest value to the customer at the lowest cost and in the shortest time by eliminating all waste (muda) in production and management processes (Womack, Jones & Roos, 1990). The Toyota Production System (TPS), developed at Toyota Motor Corporation, forms the basis of this approach. TPS is built on two main pillars: Just-in-Time (JIT) and Jidoka (Ohno, 1988).

Just-in-Time (JIT) production stipulates that only the required part is produced in the required quantity and at the required time. This system reduces inventory, waiting times, and overproduction (Monden, 2011). Jidoka, on the other hand, refers to stopping the process when any anomaly is detected and eliminating the root cause of the problem. Thus, quality control is integrated into the process, and errors are detected at an early stage (Ohno, 1988).

In their study "Lean Thinking" (1996), Womack and Jones list the five basic principles of lean thinking as follows:

1. **Defining Value:** Value is defined solely by the customer.
2. **Identifying the Value Stream:** Identifying all activities (waste) that do not create value.
3. **Ensuring Flow:** Creating uninterrupted flow in the production process.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

4. **Establishing the Pull System:** Planning production according to customer demand.
5. **Achieving Excellence:** Eliminating waste through continuous improvement.

The last of these principles, excellence, represents the culture of continuous improvement that ensures the sustainability of the lean manufacturing system (Liker, 2004). The lean philosophy is not just a set of tools; it is a management system based on a culture of continuous learning, employee participation, and problem-solving (Spear & Bowen, 1999).

2.2. Continuous Improvement (Kaizen)

Continuous improvement, or kaizen in Japanese, means change for the better. According to Imai's (1986) definition, kaizen is the philosophy of making continuous small improvements in all areas of life, especially in business processes. This approach aims for improvement through small but continuous steps taken by employees in daily processes, rather than large-scale revolutionary changes.

Kaizen has three basic elements:

1. **Employee Participation:** Every employee is a part of and a developer of the process.
2. **Process Orientation:** Improvements are directed towards improving the process rather than the results.
3. **Continuity Through Small Steps:** It relies on the efficient use of existing resources instead of large investments (Imai, 1986; Bessant & Francis, 1999).

In this respect, kaizen creates a culture that encourages both individual and organizational learning within business. Each improvement cycle (Plan-Do-Check-Act/PDCA) generates new knowledge, and this knowledge is standardized and incorporated into the organizational memory (Deming, 1986).

Kaizen is at the heart of the lean manufacturing system because the effectiveness of lean tools depends on the level of adoption of this culture within the business. Liker (2004) summarizes this situation with the expression, "If the tools are the muscles of the lean system, Kaizen is its heart."

In businesses where a culture of continuous improvement is established, both operational performance and employee commitment increase; errors decrease and learning accelerates (Bessant et al., 2001). These characteristics enable businesses to adapt more quickly to environmental changes and gain a sustainable competitive advantage.

3. The Strategic Importance and Performance Impacts of Continuous Improvement

Continuous improvement is not just a way of working for the business, but a core strategic capability that provides an ongoing competitive advantage (Bessant & Francis, 1999). In a global market, success factors like cost leadership, quality superiority and agility can be sustained only to the extent that firms enhance their learning and adaptive capabilities (Teece et al., 1997). The kaizen principle underpins this learning process and gives companies both short-term productivity improvements and long-term organizational capabilities to sustain and build on these gains.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

3.1. Impacts on Operational and Financial Performance

Continuous improvement is a fundamental mechanism that directly impacts the performance of lean manufacturing systems. Firstly, in terms of cost reduction, kaizen focuses on the systematic elimination of waste (muda). Reducing waste such as defective production, excess inventory, waiting times, or unnecessary movements directly leads to a decrease in production costs (Ohno, 1988; Liker, 2004). In this respect, Kaizen allows for more efficient use of existing resources without requiring large-scale investments.

Secondly, quality improvement is one of the most tangible outcomes of continuous improvement. In line with the Jidoka principle, identifying errors at their source and preventing their recurrence reduces both internal and external error costs (Spear & Bowen, 1999). This strengthens competitive advantage by increasing customer satisfaction and brand credibility (Liker & Convis, 2011).

Thirdly, increased productivity is a natural consequence of the Kaizen culture. By eliminating unnecessary steps and bottlenecks, processes produce more output in shorter cycle times. This both increases capacity utilization rates and shortens customer delivery times (Womack & Jones, 1996).

3.2. Organizational Capabilities and Their Effects on Human Resources

The success of kaizen requires a fundamental transformation not only in processes but also in the human factor. Employee participation and motivation are central to continuous improvement. Participatory problem-solving processes ensure that employees' ideas are valued, which strengthens the sense of belonging (Bessant et al., 2001). Research shows that employees who actively participate in kaizen practices experience significantly increased job satisfaction and commitment levels (Imai, 1986; Liker, 2004).

In terms of organizational learning, PDCA cycles increase the organization's collective knowledge base. Each improvement generates a new experience, and this knowledge is standardized and incorporated into the organization's memory (Deming, 1986). Thus, the business develops its dynamic capabilities and adapts more quickly to environmental changes (Teece et al., 1997).

Finally, a kaizen culture creates a strong synergy in terms of teamwork and communication. Continuous improvement teams encourage knowledge sharing between different departments and break down organizational barriers (Spear & Bowen, 1999). This strengthens not only operational processes but also internal social capital within the organization.

3.3. Kaizen Culture as a Source of Sustainable Competitive Advantage

The Resource-Based View argues that a company's sustainable competitive advantage stems from valuable, rare, difficult-to-imitate, and organizationally ingrained resources (Barney, 1991). From this perspective, the kaizen culture possesses precisely these qualities. Elements at the heart of kaizen, such as collective problem-solving, speed of learning, and employee engagement, represent the company's unique and historically formed organizational DNA. Therefore, competing companies can easily copy kaizen tools; however, it is quite

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

difficult to imitate a deeply rooted culture of continuous improvement (Liker, 2004). In this respect, continuous improvement creates a strategic learning advantage that supports not only operational excellence but also long-term sustainable competitiveness (Bessant & Francis, 1999; Teece et al., 1997).

4. Building a Culture of Continuous Improvement in Lean Manufacturing: Success Factors and Obstacles

Lean manufacturing is far more reliant on the cultural infrastructure that supports these tools than on the tools themselves (Liker, 2004). Lean thinking is fundamentally based on a culture of continuous improvement and demands a behavioral/managerial/structural integrated transformation within companies. Cultivating this culture is a process of change involving the transformation of processes, people, leadership, and organizational climate (Liker & Convis, 2011).

4.1. Success Factors

For continuous improvement culture to be permanently established, certain fundamental conditions must be met. The main success factors highlighted in the literature are summarized below:

- **Leadership Commitment and Role Modeling:** The commitment of top management is critical in establishing a Kaizen culture. Leaders are not only visionaries but also individuals who set an example through their behavior. As in the Toyota example, managers spending time on the production floor (Gemba), listening to employees, and actively participating in problem-solving activities are fundamental to cultural transformation (Liker & Convis, 2011).
- **Training and Competency Development:** Continuous improvement is possible not only with good intentions but also with knowledge. Employees need to be systematically trained in problem-solving techniques, lean tools, and teamwork. Training increases employees' capacity to analyze processes, identify root causes, and develop suggestions (Bessant et al., 2001).
- **Measurement, Feedback, and Recognition Systems:** Successful kaizen applications are monitored with measurable indicators. Not only financial outputs but also the quality of improvement processes should be evaluated. For example, indicators such as the number of suggestions per employee, the implementation rate of suggestions, or the completion time of the PDCA cycle reflect the maturity of the processes. Making achievements visible and rewarding employee contributions strengthens motivation (Imai, 1986; Bessant & Francis, 1999).
- **Trust and Participation Culture:** The essence of kaizen is based on continuous questioning and freedom from the fear of making mistakes. Sustainable improvement is not possible without providing a trusting environment where employees can freely express their ideas and errors are attributed to systems rather than individuals (Spear & Bowen, 1999). Open communication from management and viewing employees as partners in the process form the foundations of the culture.
- **Structural and Process Support Mechanisms:** Continuous improvement should not be left to random or individual efforts. Organizational structures such as kaizen teams,

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

suggestion systems, regular meetings, and dedicated improvement sessions should be established. This systematic structure guarantees continuity and learning (Bessant et al., 2001).

4.2. Common Obstacles Encountered

Use of kaizen and lean manufacturing principles may widely be accepted today but many organizations find themselves struggling with cultural and structural barriers in practice.

- **Short-Term Result Mentality:** Leadership in many companies are fixed on short term financial results and cannot afford the time and long-term view that a cultural change would take. Results from kaizen are not always seen immediately; consequently, it is important to maintain commitment to the process (Liker, 2004).
- **Resistance to Change:** Process improvement methodologies such as continuous improvement may face scrutiny from employee groups like middle management or senior employees as it calls into question the ways they already do things. It is zeroing out resistance by explaining the reasons for change clearly, by engaging people early in the process, and by sharing examples of success (Kotter, 1996).
- **Too Tool-Focused and Surface-Level:** A lot of companies treat applying lean tools to their processes as lean journeying, rather than culture changing. However, without the backing of culture, tools cannot sustain success (Womack & Jones, 1996: Liker & Convis, 2011).
- **Limited Resources and Time:** Kaizens tend to stay superficial when there is a lack of time and resources to conduct improvement work. Small but regular chunks of time invested for employees help them learn and acquire experience (Bessant & Francis, 1999).
- **Frequent Leadership Turnover, Changing Guardrails:** Changing cultural continuity may be difficult if strategic priorities are changing or if there are frequent changes in leadership. Long term consistency in management policy and value is required for continuous improvement (Deming, 1986).

5. Conclusion, Discussion, and Recommendations

Sustainable success in lean manufacturing relies on cultural maturity rather than technical excellence. A kaizen culture fosters a shared learning and development mindset across all levels of the organization. This culture becomes permanent when supported by leadership commitment, employee participation, measurable goals, and a climate of trust. Literature shows that Kaizen transforms not only production systems but also the overall management philosophy of organizations (Liker, 2004; Bessant & Francis, 1999).

This study demonstrates that when the philosophy of continuous improvement is integrated with the lean manufacturing approach, it becomes not only an operational method but also a source of strategic competitive advantage for businesses. A culture of continuous improvement enables businesses to rapidly adapt to changing environmental conditions by creating a structure that encourages learning, innovation, and participation in their processes (Imai, 1986; Bessant & Francis, 1999; Liker, 2004). The lasting success of lean manufacturing

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

tools depends on creating the cultural foundation upon which these tools are nurtured. Therefore, businesses must first initiate a leadership-based cultural transformation process. When top management embraces kaizen not just as a method but as a value, setting an example through their behavior, it strengthens employee participation and creates a climate of trust (Liker & Convis, 2011). In addition, training employees at regular intervals, fostering problem-solving capabilities, and involving them in suggestion systems help to build organizational learning capacity (Bessant et al., 2001). Systematic rather than ad hoc execution of continuous improvement activities, supported by PDCA cycles and followed by performance measures, will result in improved process efficiency (Deming, 1986). An ingrained organizational culture of trust where errors are not punished but instead considered opportunities for learning enhances both employee commitment as well as the generation of novel ideas (Spear & Bowen, 1999). Further, starting cultural change with small steps, making accomplishments visible and transferring them organization-wide, contributes to the sustainability of the transformation process (Kotter, 1996). All three processes, patience, steadiness, and consistency, are needed at all stages; as cultural change demands a long-haul commitment (Liker, 2004). Businesses that internalize the kaizen philosophy differentiate themselves from their competitors not only in terms of cost and quality, but also in terms of learning, innovation, and adaptability, thus gaining a sustainable competitive advantage. Hence, the traditional continuous improvement practitioner should break free from conventional innocence and accept that continuous improvement is now a strategic business imperative and not a choice for enduring business success in volatile times.

References

Barney, J. (1991). *Firm resources and sustained competitive advantage*. *Journal of Management*, 17(1), 99–120.

Bessant, J., & Francis, D. (1999). *Developing strategic continuous improvement capability*. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(11), 1106–1119.

Bessant, J., Caffyn, S., & Gallagher, M. (2001). *An evolutionary model of continuous improvement behaviour*. *Technovation*, 21(2), 67–77.

Deming, W. E. (1986). *Out of the crisis*. MIT Press.

Imai, M. (1986). *Kaizen: The key to Japan's competitive success*. McGraw-Hill.

Kotter, J. P. (1996). *Leading change*. Harvard Business School Press.

Liker, J. K. (2004). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill.

Liker, J. K., & Convis, G. L. (2011). *The Toyota way to lean leadership: Achieving and sustaining excellence through leadership development*. McGraw-Hill.

Monden, Y. (2011). *Toyota production system: An integrated approach to just-in-time* (4th ed.). CRC Press.

Ohno, T. (1988). *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Productivity Press.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Spear, S., & Bowen, H. K. (1999). *Decoding the DNA of the Toyota production system*. *Harvard Business Review*, 77(5), 96–106.

Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). *Dynamic capabilities and strategic management*. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Simon & Schuster.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world: The story of lean production*. HarperPerennial.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

SWOT ANALYSIS OF THE 5S METHOD: AN EVALUATION FROM A LEAN MANUFACTURING PERSPECTIVE

Arş. Gör. Dr. Ceren Ünlükal
Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
E-posta: cerenunlukal@munzur.edu.tr - ORCID: 0000-0001-9997-7310

ABSTRACT

To compete in today's manufacturing environment, it takes more than the use of advanced technology; it takes the establishment of an environment of orderliness, discipline, and continual improvement. In this context 5S methodology supports the standardization of working areas, efficiency and visual management as one of the building blocks of lean production philosophy. In this study, 5S practices with SWOT analysis will be studied to evaluate the system on conceptual level in terms of its strengths and weaknesses as well as the opportunities it provides and threats that it may face. The results of the analysis reveal that 5S is a low cost but high impact improvement tool, and several factors such as sustainability, management support and employee involvement play a key role in its success. It is also stressed that digitization and Industry 4.0 applications may facilitate the further effectiveness and measurability of 5S methodology. This contribution aims to provide managers with a systematic self-assessment approach, focusing on the strategic significance of 5S in the development of a lean production culture.

Keywords: 5S, lean production, SWOT analysis, process efficiency.

1. Introduction

In the current era of global competition in manufacturing, companies that can realize predictable performance by investing not only in advanced technology but also in thinking processes before capitalizing it and nurturing a process-oriented culture are likely to have long term success (Bicheno & Holweg, 2016). In this regard, the lean manufacturing paradigm, born out of the Japanese manufacturing tradition and rooted particularly in the Toyota Production System (TPS), emerged as a global reference standard for productivity improvement and waste reduction (Womack et al., 1990). The ultimate pursuit of lean production is to remove all non-value-added activity (muda) from production processes, improve flow and maximize utilization of resources. Nevertheless, these objectives of lean manufacturing may be attained not just through utilization of technical instruments but also through means of cultural transformation.

Among the numerous recommendations relating to cultural transformation there are few tools as concrete and practical as 5S, which is firmly entrenched in Japanese management literature. 5S is a structured methodology for organizing and maintaining a clean, orderly and safe work environment, derived from the first letters of five Japanese words that represent a

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

step of the process: Seiri (Sort), Seiton (Set in order), Seiso (Shine), Seiketsu (Standardize) and Shitsuke (Sustain). This strategy provides physical order, improves visual management, makes waste visible, increases safety and promotes employee involvement among others (Hirano, 1995).

In practice, many businesses view 5S as merely a cleaning campaign or a temporary organization project. However, the essence of 5S is that it is a cultural prerequisite for the success of lean manufacturing. Indeed, without 5S, the effectiveness of other lean tools (e.g., Total Productive Maintenance-TPM, Poka-Yoke, or Standard Work) remains limited, and continuity and stability in processes cannot be achieved (Liker, 2004). Therefore, 5S is considered the starting point of lean transformation and the guarantee of its sustainability.

This study aims to evaluate the 5S method from a lean manufacturing perspective using SWOT analysis. SWOT analysis (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) is a classic strategic assessment method that allows for the systematic analysis of both the internal dynamics of a management tool or organizational structure and its interaction with external environmental factors (Helms & Nixon, 2010). Within this framework, the study addresses the strengths and weaknesses of the 5S method, the opportunities arising from digitalization and the Industry 4.0 process, and the threats it faces in terms of sustainability. The goal is to position 5S not only as an operational tool but also as a component of the strategic management systems of businesses.

2. Theoretical Framework: The Relationship Between the 5S Method and Lean Manufacturing

2.1. Conceptual Foundations of the 5S Method

The 5S methodology is considered a cornerstone of workplace organization in Japanese manufacturing culture. First systematically defined in the 1980s, 5S was developed to establish order in the work environment, make waste visible, and foster self-discipline among employees (Bevilacqua et al., 2017; Hirano, 1995). 5S is a structural tool that supports the goal of eliminating waste (muda elimination), the most fundamental principle of lean manufacturing systems.

The five stages of the method represent a cyclical improvement system. Seiri refers to keeping only necessary elements in the workspace; Seiton refers to placing these elements in easily accessible locations; Seiso refers to identifying problems early through both physical and functional cleanliness; Seiketsu refers to making the established order permanent through rules; and Shitsuke refers to making this order a behavioral pattern (Hirano, 1995; Gapp et al., 2008).

5S is not only about providing visual order; it is also the embodiment of a management philosophy. A structured and standardized work environment makes problems visible, supports continuous improvement (kaizen), and encourages employee participation (Liker, 2004). In this respect, 5S is not only the starting point of the lean manufacturing system but also the guarantor of its sustainability.

2.2. The Strategic Position of 5S in Lean Manufacturing

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Lean manufacturing, as described in Womack, Jones, and Roos' (1990) work "The Machine That Changed the World", is a system that aims to eliminate activities throughout the entire value chain that do not create value for the customer. The success of this system requires not only the transformation of technical tools but also the transformation of organizational culture. 5S is seen as the behavioral basis of this cultural transformation (Liker, 2004).

Most lean manufacturing practices consider the orderly and visible environment created by 5S as a prerequisite. For example, Total Productive Maintenance (TPM) practices are directly related to the Seiso principle, because cleaning is not only a maintenance action but also a control tool. Standard Work and Line Balancing approaches are consistent with the Seiton and Seiketsu principles; order and standardization are essential for eliminating unnecessary movements and balancing the flow (Bicheno & Holweg, 2016). Furthermore, the effectiveness of Poka-Yoke (error prevention) systems depends on the ease with which errors can be detected in an organized work environment (Imai, 1997).

5S should be considered as an infrastructure system for lean manufacturing tools. Without 5S applications, even if other lean tools achieve success in the short term, they will be insufficient to create a sustainable improvement culture in the long term (Gapp et al., 2008). Therefore, many researchers define 5S as the fundamental discipline of lean manufacturing (Liker, 2004; Bayo-Moriones et al., 2010).

2.3. The Importance of 5S in Terms of Corporate Culture and Employee Engagement

The success of 5S depends more on human factors than technical ones. Shitsuke phase aims to make employees take ownership of their work, develop self-control, and make continuous improvement a habit. In this respect, 5S provides not only physical order but also the shaping of organizational behavior (Bayo-Moriones et al., 2010).

Research shows that 5S applications have positive effects on employee satisfaction, workplace safety, communication quality, and team collaboration (Gapp et al., 2008; Bevilacqua et al., 2017). Furthermore, 5S supports a visible leadership approach through visual management elements; it enables managers to be more active in the field (gemba) (Liker & Franz, 2011).

5S methodology is both the starting point and the sustainability condition of the lean manufacturing philosophy. Built on the axes of order, discipline, and participation, this approach is considered an organizational learning process beyond technical applications in businesses' lean transformation journey.

3. SWOT Analysis of the 5S Method

SWOT analysis, frequently used in corporate evaluation and strategic management processes, is an analytical tool that systematically assesses the internal characteristics (strengths and weaknesses) and external environmental conditions (opportunities and threats) of an organization or method. First developed by Learned, Christensen, Andrews, and Guth (1965) at Harvard Business School, the SWOT approach provides structure to the strategic planning process, enabling managers to both understand the current situation and determine future strategies. Today, SWOT is widely used not only at the business level but also in technical

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

fields such as process management, project evaluation, and maturity analysis of production systems (Gürel & Tat, 2017). In this context, the SWOT analysis of the 5S method, a fundamental building block of the lean manufacturing philosophy, contributes to the development of a more sustainable, participatory, and strategic implementation framework by relating the system's strengths and weaknesses to the opportunities and threats in the external environment.

3.1. Strengths

One of the most striking aspects of the 5S method is that it is a low-cost yet high-return system. Its application primarily aims to more efficiently organize existing resources and improve employee time management, thereby reducing production losses and increasing productivity (Gapp et al., 2008). The universal applicability of 5S makes it applicable not only in production lines but also in a wide range of settings, from office environments to healthcare organizations. The method’s simplicity allows it to appeal to human behavior regardless of culture (Hirano, 1995).

Another strong point is that 5S makes problems visible. While problems are hidden in a cluttered workspace, the 5S system makes waste, safety vulnerabilities, and malfunctions easily noticeable. This, supported by the principle of visualization, embodies the fundamental motto of lean manufacturing: you cannot manage the invisible (Liker, 2004). Furthermore, this method increases employee participation and ownership. Involving employees in organizing their own spaces and participating in decision-making processes strengthens their sense of belonging (Bayo-Moriones et al., 2010). An organized workspace also directly contributes to occupational health and safety. A reduction in accidents caused by slips, falls, or equipment malfunctions is a significant effect of 5S in supporting a safety culture. Finally, one of the strengths of 5S is that it provides a foundation for other lean tools. A tidy, clean, and standardized environment is necessary for the effective implementation of methods such as TPM, Poka-Yoke, or JIT (Bevilacqua et al., 2017).

3.2. Weaknesses

The most significant weakness of 5S is the challenge of sustainability. Many businesses treat 5S as a short-term cleaning campaign, neglecting the cultural transformation aspect. The continuity of the Shitsuke phase is weak due to a lack of management support and intrinsic motivation (Gapp et al., 2008). Furthermore, the initial stages of implementation, especially the Seiri and Seiton steps, can require significant time and labor. This can create short-term resistance in businesses under production pressure.

The inherent simplicity of 5S can sometimes lead to the perception that it is merely about cleaning. This misconception overshadows the strategic importance of the method and reduces employee motivation (Liker, 2004). Moreover, cultural resistance is one of the most important intrinsic weaknesses of 5S. In environments where traditional work habits prevail, reluctance to change can hinder the process (Bayo-Moriones et al., 2010). Measurement difficulties also make it difficult to fully see the impact of the method. Management support may weaken, especially when abstract outcomes such as increased morale or security are not correlated with financial indicators.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

3.3. Opportunities

One of the key opportunities supporting the development of 5S today is Industry 4.0 and digitalization processes. Augmented reality (AR), sensor-based monitoring (IoT), and digital inspection systems can make 5S applications more measurable and sustainable (Sanders et al., 2016). This allows inspections to be automated while visual management can be moved to digital platforms.

Another area of opportunity is sustainability. Seiri step contributes to environmental performance by reducing unnecessary material and energy use. Integrating 5S with environmental management systems can provide organizations with both cost advantages and reputational benefits. Furthermore, increased employee well-being and quality of work life are also significant opportunities. A tidy and safe work environment improves psychological well-being and strengthens employee commitment. In today's human-centered production approach, this effect has become a strategic competitive advantage for businesses.

Finally, 5S applications in supply chain management provide visibility and agility, leading to significant improvements in inventory management and error rates. Especially in the post-COVID-19 era, supply chain resilience has become a priority, which has increased the importance of 5S.

3.4. Threats

One of the biggest external threats to 5S implementation is the tendency towards superficial and copycat application. When businesses imitate other organizations' 5S models without adapting them to their own culture, they cannot achieve sustainable results (Hirano, 1995). Furthermore, the loss of management support leads to the rapid weakening of the implementation. Loss of interest from top management also undermines employees' belief in the importance of the method (Bayo-Moriones et al., 2010).

Economic fluctuations also pose a threat to 5S. During times of crisis, short-term production pressures may push long-term improvement initiatives into the background. In addition, high employee turnover makes it difficult to maintain a culture of continuous training and discipline. Finally, excessive standardization risks stifling creativity. Too many rules and checklists can transform the dynamic nature of 5S into a bureaucratic structure (Liker, 2004).

4. Conclusion, Discussion, and Recommendations

This study, which evaluates the 5S method from a lean manufacturing perspective using SWOT analysis, reveals that the method should be considered not only as an operational tool but also as a strategic management system. The results show that although 5S appears to be a simple order and cleaning practice on the surface, it is actually a powerful system that builds organizational discipline, continuous improvement, and a culture of employee participation. Gapp, Fisher, and Kobayashi (2008) emphasized that the success of 5S depends more on the transformation of employee behaviors and management habits than on physical arrangement. Liker (2004) defines the place of 5S in the Toyota Production System as a fundamental building block of a culture of respect and responsibility. In this context, 5S is an application that embodies the principle of respect for people in lean philosophy at the daily operational level.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

The strengths analysis of the study reveals that 5S is a low-cost, easily applicable, and fast-acting method; while weaknesses show that factors such as sustainability and cultural resistance limit the long-term success of the method.

The opportunities dimension of 5S shows that it can be redefined in today's production environment along the axes of digitalization and sustainability. Industry 4.0 technologies can increase the measurability of 5S processes, strengthening the system's visibility. For example, cleaning, maintenance, and organization activities can be monitored instantly through sensor-based monitoring systems and digital dashboards (Sanders et al., 2016). Thus, 5S can evolve from a manual application to a data-driven management system. Furthermore, Seiri and Seiketsu steps contribute to environmental sustainability goals such as waste reduction and energy efficiency by optimizing resource use (Gürel & Tat, 2017). In the threat analysis, it is seen that factors such as loss of management support, excessive formalization, and cultural resistance can undermine the success of 5S. To mitigate these risks, leaders need to assume a role of not only guiding but also setting an example (Hirano, 1995). The findings that emerged throughout the discussion show that the success of 5S relies more on the human factor than on technical tools. Therefore, the effective implementation of 5S in an organization is directly related to leadership style, organizational culture, training programs, and motivation systems.

5S is not only a starting point in organizations' lean transformation journey but also a dynamic framework for sustainable excellence. In the future, it is predicted that 5S will become more integrated with digital twins, AI-powered monitoring systems, and augmented reality applications. However, despite technological advancements, the order, discipline, and human-centered improvement approach that forms the core of the method will not change.

In conclusion, the success of the 5S method depends on viewing it not only as a cleaning and organizing tool but also as a strategic component of the organizational culture. Accordingly, it is recommended that businesses integrate the 5S principles into their corporate strategies, make leadership support visible, ensure measurability through digital tools, encourage employee participation, and continuously update standards. In this way, businesses will be able to transform not only into more organized and secure organizations, but also into more flexible, learning, and competitive ones.

References

Bayo-Moriones, A., Bello-Pintado, A., & Merino-Díaz de Cerio, J. (2010). *5S use in manufacturing plants: Contextual factors and impact on operating performance.* International Journal of Quality & Reliability Management, 27(2), 217–230.

Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., & De Sanctis, I. (2017). Lean practices implementation and their relationships with operational responsiveness and company performance: An Italian study. *International Journal of Production Research*, 55(3), 769–794.

Bicheno, J., & Holweg, M. (2016). *The Lean Toolbox: A handbook for lean transformation* (5th ed.). Buckingham, UK: PICSIE Books.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Gapp, R., Fisher, R., & Kobayashi, K. (2008). *Implementing 5S within a Japanese context: An integrated management system*. *Management Decision, 46*(4), 565–579. https://doi.org/10.1108/00251740810865067

Gürel, E., & Tat, M. (2017). SWOT analysis: A theoretical review. *The Journal of International Social Research, 10*(51), 994–1006. https://doi.org/10.17719/jisr.2017.1832

Helms, M. M., & Nixon, J. (2010). Exploring SWOT analysis – where are we now? *Journal of Strategy and Management, 3*(3), 215–251.

Hirano, H. (1995). *5 Pillars of the Visual Workplace: The Sourcebook for 5S Implementation*. Productivity Press.

Imai, M. (1997). *Gemba Kaizen: A commonsense, low-cost approach to management.* New York: McGraw-Hill.

Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.

Liker, J. K., & Franz, J. K. (2011). *The Toyota Way to continuous improvement: Linking strategy and operational excellence to achieve superior performance.* New York: McGraw-Hill.

Learned, E. P., Christensen, C. R., Andrews, K. R., & Guth, W. D. (1965). *Business Policy: Text and Cases*. Richard D. Irwin.

Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.

Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. P. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in Industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management, 9*(3), 811–833. https://doi.org/10.3926/jiem.1940

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*. Rawson Associates.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

GERÇEK ZAMANLI VE YAPAY ZEKA DESTEKLİ KARBON AYAK İZİ TAKİP VE YÖNETİM SİSTEMİ

Dr., Yavuz SÜMER

Pamukkale Üniversitesi, ysumer@pau.edu.tr - 0000-0003-1219-5899

ÖZET

İklim değişikliğinin artan etkisi, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde sera gazı emisyonlarının doğru bir şekilde ölçülmesi, izlenmesi ve yönetilmesi ihtiyacını artırmaktadır. Avrupa Yeşil Anlaşması, CBAM, AB ETS ve Türkiye Yeşil Anlaşma Eylem Planı dahil olmak üzere düzenleyici ortam, şeffaf ve doğru karbon ayak izi hesaplamaları talep etmektedir. Bu gerekliliğe rağmen, birçok kuruluş bunu elle yapmaya devam etmektedir. Bu, zaman alıcı, hataya açık ve büyük veya karmaşık veri kümeleri için verimsiz bir süreçtir.

Burada, bu sınırlamaları gidermek için 'Gerçek Zamanlı ve Yapay Zeka ile Geliştirilmiş Karbon Ayak İzi İzleme ve Yönetim Sistemi'nin kavramsal çerçevesini ve tasarımını tanıtıyoruz. Sistem, entegre bir dijital bulut tabanlı çözüm sunar ve ISO 14064 ve referans protokolleriyle uyumludur. IPCC, DEFRA. Sistem, otomasyon ve IoT destekli veri toplama, API entegreli harici veri işleme, kapsamlı veri doğrulama ve tahmin ve anomali tespiti için makine öğrenimi modülleri kullanılarak uygulanmaktadır. Sonuçlar, sistemin karbon ayak izi hesaplama ve raporlama sürecini etkili bir şekilde kolaylaştırabildiğini, hata belirsizliğini azaltarak sonuçların doğruluğunu artırabildiğini ve sürdürülebilir strateji geliştirme için geleneksel yaklaşıma göre daha sağlam ve güvenilir bir karar destek altyapısı sağlayabildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: karbon ayak izi, nesnelerin interneti, enerji yönetimi, sera gazı

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

REAL-TIME AND AI-ENHANCED CARBON FOOTPRINT MONITORING AND MANAGEMENT SYSTEM

Dr., Yavuz SÜMER

Pamukkale University, ysumer@pau.edu.tr - 0000-0003-1219-5899

ABSTRACT

Therefore, the growing impact of climate change is underpinning the increasing need to accurately quantify, monitor, and manage greenhouse gas emissions both at a national and international level. The regulatory landscape-including the European Green Deal, CBAM, EU-ETS, and the Green Deal Action Plan of Türkiye-demand transparent and accurate carbon footprint calculations. Despite this requirement, several organizations continue to do this by hand-a time-consuming process that is very error-prone and inefficient for big or complicated datasets.

Here, we introduce the conceptual framework and design of the 'Real-Time & AI-Enhanced Carbon Footprint Monitoring & Management System' to address these limitations. The system offers an integrated digital cloud-based solution and is compliant to ISO 14064 and reference protocols; IPCC, DEFRA. The system is implemented using automation and IoT-facilitated data acquisition, API-integrated external data handling, comprehensive validation of data, and machine learning modules for forecasting and anomaly detection. Results show that the system can effectively facilitate the carbon footprint calculation and reporting process, improve accuracy of results with less error uncertainty, and provide more robust and reliable decision support infrastructure for sustainable strategy development than traditional approach in practice

Keywords: carbon footprint, IoT, energy management, greenhouse gas

1. INTRODUCTION

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Climate change's devastating impacts are increasingly being felt, and the measurement, reporting, and management of GHG emissions have become central to global sustainable development goals [1]. In the EU climate policy architecture, regulations like the European Green Deal, Carbon Border Adjustment Mechanism, EU Emissions Trading System, and Eco-Design Regulation have introduced carbon footprint reporting as a competitive and market access conditionality for export-oriented industries [2]. The national accounting framework is already established by the Green Deal Action Plan of Türkiye and the Türkiye Sustainability Reporting Standards, which mandate corporate-level GHG accounting in managing financial and operational risks associated with climate change.

Many organizations still use manual methods for carbon footprint assessments. As data volumes increase, this reduces manageability and raises the risk of errors, making real-time compliance and ongoing performance monitoring more complicated [3,4]. Most of the existing tools support basic carbon accounting and lack integration of process-level energy monitoring, IoT data collection, machine learning forecasting, or anomaly detection under one unified sustainability framework.

In the context of the said deficiencies, this work has proposed a real-time, cloud-based, and AI-enhanced carbon footprint and energy management system. The system consolidates greenhouse gas inventories, carbon assessments, and energy consumption profiles into a single platform, hence guaranteeing standardization, verifiability, and enhanced operational control.

2. METHODOLOGY

2.1 Normative Framework and Standards

It is grounded in a strong basis of internationally recognized standards and guidelines for maintaining the quality of methodology and compliance with regulation. It is self-explanatory to say that this framework takes the TS EN ISO 14064-1 as a main reference for calculating and reporting organizational CO2-emission values. By default, the user has access to standard emission factors selected from reliable data sources such as IPCC, DEFRA, GHG Protocol, and legislation within the EU for consistency and accuracy [5].

The computer system is adaptable to that framework as described in these standards, involving six types of emissions in three scopes. The architecture of the system, therefore, enables users to differentiate these categories of emissions, to focus on key emission sources within all scopes, and identify upfront organizational boundaries from a holistic perspective.

2.2 Data Collection and Management Approach

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Multilevel data acquisition model with evidence from a multitude of sources promotes full and continuous vigilance. Data can be typed in manually by regular forms that need to be visually checked for correctness and completeness, or no manual input is required, and bulk data may also be uploaded via Excel or CSV to supplement historical data or records in high volumes. This connects to third-party meter readers-energy, gas, and water suppliers-via an API so your usage is always correct instead of you typing in the reading. One of the massive tidal waves in this space was a war on the manual-automation and IoT [6]. Custom IoT equipment communicates with PLCs, energy meters and monitoring tools through different types of communication technologies such as MODBUS (RS-485), RF, UART and WiFi [7]. The slave devices record the power consumption at process level and then master devices collect the data for eventually transferring it in a secure way toward a cloud infrastructure providing a full-traceable path.

This data-based method starts from the proposition that good management is about measurement. Instead of shutting down static, monthly (or quarterly) reporting, this enables diverse, dynamic real-time and multi-sourced data to be aggregated – turning sustainability into a whirling dervish around a continually updated bank of evidence on how well companies are doing.

2.3. Software Architecture and Security

It is developed with the focus of being scalable, modular and operationally independent. It is based on a service-oriented architecture built using .NET Core that enables performance data queries and multi-tenant access. As user requirements change, new modules can easily be added to the integration site. The use of Microsoft SQL Server ensures reliable data maintenance and efficiency, especially when handling time-series information produced by IoT and automation systems.

On the client side, the user interface is driven by a composable React architecture that provides for dynamic and reusable components. The system uses D3.js and Chart.js to transform complicated data into simple dashboards, analytics tools and time-series charts. Being hosted on Microsoft Azure ensures the availability, auto-scaling of resources, and robust data backup.

The system is designed to be secure out-of-the-box. All communications to the database and API are encrypted via SSL/TLS, and all privacy-sensitive data in the database is stored using AES. It uses JWT and OAuth 2.0 for authentication while employing RBAC with MFA in order to enforce very tight, permission-based user access.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2.4.Artificial Intelligence and Machine Learning Components

One of the key features of this software is that it allows machine learning to be applied inside corporate sustainability management. Using the system's ARIMA, SARIMA and Exponential Smoothing predictive time series modeling approach to analyze trends in energy and resource consumption - users can better understand future usage of resources for more informed operational decisions[8, 9]. The use of anomaly detection (by the Isolation Forest or an autoencoder approach) on out of ordinary consumption peaks, any extraction machine defect, or a typo in your data makes it possible to work on quality control by diagnosing sources early [10]. The platform also includes a brilliant intelligent virtual assistant using, but not limited to GPT, that users can use to write to and understand dashboards/learning material — which leads to improved usability and faster time-to-value [11].

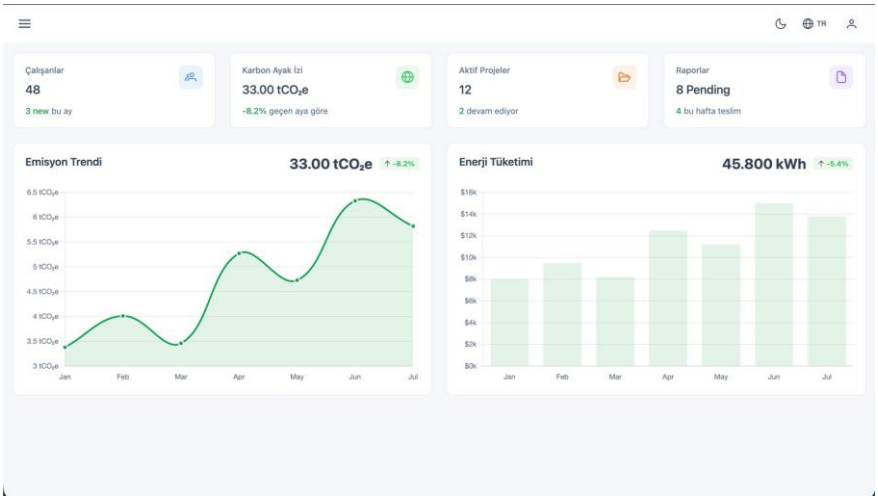


Figure 1: Front-end design example

3. RESULTS AND DISCUSSION

They were fine when data volumes and compliance requirements used to be lower than today, however they are not feasible anymore given the increased complexity and regulations. The value added of the suggested system will be saving labour time by fast collection and calculation by automatisation. It automatically validates data, organizes it, and checks for compliance to minimize mistakes. This can be fulfilled, energy usage and emission throughout the day which is used to fulfil needs of periodic reporting or continuous optimisation. Artificial intelligence powered predictive and anomaly detection makes decision-making timely and informed.

Features like these are what help to make the system far more than a carbon accounting tool. It's a digital infrastructure that can drive broader green transition at industrial sites. Serving as an end-to-end decision-support system, the platform translates complex data into navigable

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

information to support all businesses affected by escalating climate-related governance requirements.

4. CONCLUSION

This paper introduces the 'Real-Time and AI-Enhanced Carbon Footprint Monitoring and Management System' as the only integrated digital solution for effective GHG and carbon footprint management of organizations against increasingly stringent climate policies. The system marries internationally compliant methodologies with advanced software, secure cloud infrastructure, and extensive automation and IoT. As a result, the burden of reporting will diminish while allowing data-driven sustainability strategies.

Future work will be dedicated to system validation through a pilot implementation across diverse industrial sectors, integration of its functionalities into the digital product passport frameworks at the product level, and conducting fit assessments with future sustainable finance instruments. These extensions provide great potential for the proposed system to have scalable and widely deployable digital infrastructure that can support both national and international Net-Zero transition targets.

ACKNOWLEDGMENT

This project was supported by TÜBİTAK with project number 7241146.

REFERENCES

[1] International Energy Agency (IEA), CO_2 Emissions in 2023, Paris, France, Mar. 2024. Accessed: Dec. 15, 2025. [Online]. Available: https://www.iea.org/reports/co2-emission-2023

[2] K. Marchewka-Bartkowiak, “The European Union Emission Trading System and its role for green budgeting development—The case of EU member states,” Current Opinion in Environmental Sustainability, vol. 65, Art. no. 101390, 2023, doi: 10.1016/j.cosust.2023.101390.

[3] I. Eleftheriadis and E. Anagnostopoulou, “Developing a tool for calculating the carbon footprint in SMEs,” Sustainability, vol. 16, no. 5, Art. no. 1905, 2024, doi: 10.3390/su16051905.

[4] M. Salo, M. K. Mattinen-Yuryev, and A. Nissinen, “Opportunities and limitations of carbon footprint calculators to steer sustainable household consumption—Analysis of Nordic calculator features,” Journal of Cleaner Production, vol. 207, pp. 658–666, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.035.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[5] P. Kocabey Çiftçi and E. Özceylan, “A practical framework for corporate carbon footprint analysis: A case of emission sources, data collection, and calculations in the carpet industry,” Climatic Change, vol. 178, Art. no. 135, 2025, doi: 10.1007/s10584-025-03981-w.

[6] R. Syufrijal, R. Wicaksono, M. Rif’an, and R. Anugerah, “IoT based smart energy meter using Modbus protocol as electricity saving effort,” in Proc. Conf. Broad Exposure to Science and Technology (BEST 2021), Adv. Eng. Res., vol. 210, pp. 184–188, 2022, doi: 10.2991/aer.k.220131.031.

[7] B. K. Jha, A. Tiwari, R. B. Kuhada, and N. M. Pindoriya, “IoT-enabled smart energy management device for optimal scheduling of distributed energy resources,” Electric Power Systems Research, vol. 229, Art. no. 110121, 2024, doi: 10.1016/j.epsr.2024.110121.

[8] N. F. Aurna, M. T. M. Rubel, T. A. Siddiqui, et al., “Time series analysis of electric energy consumption using autoregressive integrated moving average (ARIMA) and Holt–Winters models,” TELKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control, vol. 19, no. 3, pp. 991–1000, Jun. 2021.

[9] A. T. Mustafa and O. S. Al-Deen Al-Yozbaky, “Forecasting energy demand and generation using time series models: A comparative analysis of classical, grey, fuzzy, and intelligent approaches,” Fractal and Fractional, vol. 12, Art. no. 100350, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.fraope.2025.100350.

[10] Z. Xiong, X. Li, and W. Zhang, “A combined isolation forest and autoencoder approach for energy data anomaly detection,” Applied Sciences, vol. 12, no. 19, Art. no. 9977, 2022, doi: 10.3390/app12199977.

[11] P. Maddigan and T. Susnjak, “Chat2VIS: Generating data visualisations via natural language using ChatGPT, Codex and GPT-3 large language models,” arXiv preprint, arXiv:2302.02094, Feb. 2023.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ENDÜSTRİYEL AR-GE SÜREÇLERİNDE TEKNİK ÇELİŞKİLERİN SİSTEMATİK ÇÖZÜMÜ: YAZILIM VE MEKANİK UYGULAMALARDA TRIZ METODOLOJİSİ

Yüksek Lisans Öğrencisi, Melike Sude Kazan
Sakarya Üniversitesi, melike.kazan3@ogr.sakarya.edu.tr - 0009-0003- 5399-8070
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Rıza ADALI
Sakarya Üniversitesi, mradali@sakarya.edu.tr - 0000-0002-3678-5861

ÖZET

Bu çalışma, endüstriyel üretim süreçlerinde karşılaşılan teknik çelişkilerin sistematik biçimde tanımlanması ve giderilmesi amacıyla TRIZ metodolojisinin uygulanabilirliğini iki gerçek vaka üzerinden incelemektedir. Araştırma tasarımı; çelişkinin formülasyonu, TRIZ matrisleriyle çözüm yönlerinin belirlenmesi, yaratıcı prensiplerin seçimi, çözümün uygulanması ve nicel performans değerlendirmesi adımlarını içeren yapılandırılmış bir yaklaşıma dayanmaktadır. Birinci vakada, serigrafi üretim hattındaki pano kontrol sürecinde Hız (9) ile Ölçüm Güvenirliği (28) arasındaki çelişki 9×28 matrisiyle modellenmiş; Bölümleme (1) ve Mekanik Sistemin Değiştirilmesi (28) prensipleri doğrultusunda mevcut Flann-based SIFT algoritması XFEAT ile ikame edilmiş ve referans–örnek görüntüler çok kanallı (multi-threaded) paralel işleme mimarisiyle eşzamanlı yürütülmüştür. Bu müdahaleler, üç pozisyonlu toplam kontrol süresinde %22 iyileşme sağlamıştır. İkinci vakada, elektronik kart lehimleme sürecinde uç değişimi ve soğutma adımlarının yol açtığı verimsizlikler 39×36 ve 9×36 matrisleriyle analiz edilmiş; tek sabit uç yaklaşımı, otomatik dozajlama modülü ve servo kontrollü hareket optimizasyonu ile süreç yeniden tasarlanmış; çevrim süresi 160–170 saniyeden 35–40 saniyeye düşmüştür (%75–80 iyileşme). Bulgular, TRIZ'in hem yazılım tabanlı kalite kontrol hem de mekanik sistem tasarımında ölçeklenebilir, tekrarlanabilir ve yüksek verimlilik sağlayan bir problem çözme çerçevesi sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: TRIZ, Çelişki Matrisi, 40 Prensip, Çevrim Süresi Optimizasyonu, Algoritma Optimizasyonu, Endüstriyel Ar-Ge

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

SYSTEMATIC RESOLUTION OF TECHNICAL CONTRADICTIONS IN INDUSTRIAL R&D PROCESSES: TRIZ METHODOLOGY FOR SOFTWARE AND MECHANICAL APPLICATIONS

MSc Student, Melike Sude Kazan

Sakarya University, melike.kazan3@ogr.sakarya.edu.tr - 0009-0003- 5399-8070

Asst. Prof. Mehmet Rıza ADALI

Sakarya University, mradali@sakarya.edu.tr - 0000-0002-3678-5861

SUMMARY

This study examines the applicability of the TRIZ methodology through two real-world cases, aiming to systematically identify and resolve technical contradictions encountered in industrial production processes. The research design is based on a structured approach comprising the following steps: formulation of the contradiction, determination of solution directions using TRIZ matrices, selection of creative principles, implementation of the solution, and quantitative performance evaluation. In the first case, the conflict between Speed (9) and Measurement Reliability (28) in the panel control process of the screen printing production line was modeled using a 9×28 matrix. In accordance with the principles of Partitioning (1) and Changing the Mechanical System (28), the existing Flann-based SIFT algorithm was replaced with XFEAT, and the reference–sample images were executed simultaneously using a multi-threaded parallel processing architecture. These interventions resulted in a 22% improvement in the total control time for three positions. In the second case, inefficiencies caused by tip changes and cooling steps in the electronic card soldering process were analyzed using 39×36 and 9×36 matrices; the process was redesigned with a single fixed tip approach, an automatic dosing module, and servo-controlled motion optimization; the cycle time was reduced from 160–170 seconds to 35–40 seconds (75–80% improvement). The findings demonstrate that TRIZ provides a scalable, repeatable, and highly efficient problem-solving framework for both software-based quality control and mechanical system design.

Keywords: TRIZ, Contradiction Matrix, 40 Principles, Cycle Time Optimization, Algorithm Optimization, Industrial R&D

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Küresel rekabetin, ürün çeşitliliğinin ve otomasyon düzeyinin hızla arttığı günümüzde endüstriyel üretim ve yeni ürün geliştirme süreçlerinde kalite–maliyet–üretim hızı üçlüsü arasında sürdürülebilir bir denge kurmak önemli bir metodolojik güçlük olup; konvansiyonel yaklaşımlar çoğu kez bir performans parametresindeki iyileşmeyi diğerinden ödün vererek sağlayan ve pazar başarısı açısından yetersiz kalan uzlaşma çözümlerine sürüklenmektedir [1], [2], [3]. Bu bağlamda yaygın deneme-yanılma pratikleri, sağlam bir matematiksel temelden yoksun oluşu, değişkenler arasındaki karmaşık nedensellik ilişkilerini yeterince modelleyememesi ve tasarımcıyı alışılagelmiş rutinlere hapseden "psikolojik atalet" (Einstellung etkisi) nedeniyle sınırlı etkililik sergiler [2], [4], [5]. Söz konusu verimsizlik döngülerini kırmak ve sistem karmaşıklığını yöneterek uzlaşmasız inovasyon eşiğini aşmak için, çelişkileri uzlaşmaya varmadan çözmeyi hedefleyen TRIZ ve Aksiyomatik Tasarım (AD) gibi sistematik metodolojilerin benimsenmesi modern mühendislikte kritik bir gereklilik hâline gelmiştir [2], [6], [7]. Bu çerçevede TRIZ, teknolojik sistemlerin evrimini yöneten nesnel yasalar ve kapsamlı patent analizleri üzerine inşa olduğu için buluşsal problem çözmeyi rastlantısallıktan çıkarıp tekrarlanabilir ve güvenilir hâle getiren son derece sistematik bir yaklaşımdır [8], [9], [10], [11]; geleneksel yöntemlerden farklı olarak özgül bir problemi önce soyut bir model probleme dönüştürür, ardından ARIZ gibi algoritmik yollarla genel çözüm ilkelerini somut tasarım çözümlerine aktarır [2], [8], [12]. TRIZ'in kalbinde yer alan çelişki kavramı, bir özelliğin iyileştirilmesinin başka bir özelliği kötüleştirdiği teknik çelişkiler ile bir parametrenin eşzamanlı olarak iki zıt durumu gerektirdiği fiziksel çelişkiler biçiminde tanımlanır [3], [13], [14]; Çelişki Matrisi ve 40 Buluşsal İlke gibi araçlar, tasarımcıyı verimsiz uzlaşmalardan koruyarak bu engelleri kökten ortadan kaldıran özgün ve üst düzey inovasyonlara yönlendirir [10], [12], [15]. Bununla birlikte, çelişki matrisi aracılığıyla çözülen teknik çelişkiler, çoğu zaman sistemin aynı parametresinin zıt durumları (örneğin hem hızlı hem hassas olması) gerektirdiği fiziksel çelişkilere evrilmektedir. Bu iki çelişki türünün sistematik yöntemlerle eş zamanlı yönetilmesi, üretim süreçlerinin sadece anlık darboğazlarını gidermekle kalmaz; aynı zamanda sistemin esnek, güvenilir ve standart bir yapıya kavuşmasını sağlar.

TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi), teknik ve fiziksel çelişkileri uzlaşmaya başvurmaksızın ortadan kaldırarak inovasyon süreçlerini sistematikleştiren; Altshuller tarafından geliştirilen, bilgi temelli ve nesnel teknolojik evrim yasalarına dayanan güvenilir bir metodoloji olarak tanımlanabilir [1], [2], [6], [9], [13], [16]. Bu yaklaşım, ampirik deneme-yanılma uygulamalarının yerine, çelişkilerin biçimsel olarak modellenip çözüme yönlendirildiği yapılandırılmış araçlar sunmakta; QFD (Kalite Fonksiyon Yayılımı), Aksiyomatik Tasarım (AD), AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci), Dengeli Puan Kartı (BSC), Vaka Tabanlı Akıl Yürütme (CBR) ve Morfolojik Analiz (MA) gibi yöntemlerle entegrasyon yoluyla müşteri gereksinimlerinin teknik özelliklere izlenebilir biçimde aktarılmasını ve tasarım çelişkilerinin uzlaşmasız biçimde giderilmesini mümkün kılmaktadır [2], [8], [13], [16], [17]. Literatürde söz konusu hibrit TRIZ uygulamalarının; sürdürülebilir enerji yatırımları (güneş, rüzgâr, nükleer), otomotiv bileşenleri, akıllı ürün-hizmet sistemleri (Smart PSS) ve dijital ikiz (Digital Twin, DT) modelleme gibi alanlarda üretim süreç optimizasyonu, SERVQUAL tabanlı

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

hizmet kalitesi iyileştirme, gen seçimi gibi biyoinformatik problemler ile COVID-19 sonrası e-öğrenme ve m-sağlık bağlamındaki dijital dönüşüm sorunlarının çözümünde etkinlik gösterdiği rapor edilmiştir [5], [11], [14], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24]. Ayrıca güncel çalışmalar; dijital ikiz, eklemeli imalat ve yapay sinir ağlarının TRIZ çerçevesiyle birlikte kullanılmasının düşük karbonlu ürün tasarımı, yeşil tedarik zinciri yönetimi ve fosfor geri kazanımı gibi sürdürülebilir üretim hedeflerine katkı sağladığını; metodolojinin Tasarım Odaklı Düşünme (Design Thinking) ve kolektif zekâ yaklaşımlarıyla birleştirilmesinin bireysel yaratıcılığı ve disiplinler arası teknik uygulanabilirliği güçlendirdiğini, eğitim bağlamında ise mühendislik öğrencilerinin problem çözme yeterliliklerini bilimsel temelde desteklediğini ortaya koymaktadır [5], [11], [14], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [25]. Sonuç olarak TRIZ temelli bu model ve entegrasyonlar, tasarımın erken evrelerinde belirsizliği azaltan, sistem idealitesini yükselten ve müşteri gereksinimlerini doğrulanabilir teknik parametrelere dönüştüren sistematik bir inovasyon mekanizması sunmaktadır [17]. Bu genel çerçeve, çalışmanın iki endüstriyel vakada somutlaştırılmasıyla aşağıda özetlenmektedir.

Modern endüstriyel tesislerde operasyonel verimlilik, fiziksel donanım (mekanik) ile kontrol katmanının (yazılım) simbiyotik uyumuna dayanmaktadır. Bu çalışmada yazılım tabanlı bir algoritma optimizasyonu ile fiziksel bir süreç iyileştirmesinin birlikte ele alınması, TRIZ'in evrensel ilkelerinin her iki disiplinde de 'hız, doğruluk ve verimlilik' üçlüsünü eş zamanlı optimize edebileceğini kanıtlamak içindir. Bu yaklaşım, süreçleri birbirinden bağımsız iyileştirmeler yerine bütüncül bir standartlaştırmaya yönlendirir. Bu çalışma, TRIZ'in disiplinler arası uygulanabilirliğini iki endüstriyel süreçte somutlaştırmaktadır: (i) serigrafi üretim hattında üç pozisyonlu kamera-tabanlı pano kontrol süreci ve (ii) elektronik kartların lehimleme süreci. Birinci vakada Hız (9) ile Ölçüm Güvenirliği (28) arasındaki çelişki 9×28 matrisi ile modellenmiş; Bölümleme (1) ve Mekanik Sistemin Değiştirilmesi (28) ilkeleri doğrultusunda Flann-based SIFT → XFEAT algoritma ikamesi uygulanmış ve çok kanallı (multi-threaded) paralel işleme ile ardışık beklemeler yapısal olarak azaltılmıştır. İkinci vakada Verimlilik (39) ve Hız (9) ile Cihaz Karmaşıklığı (36) arasındaki etkileşimler 39×36 ve 9×36 matrisleriyle analiz edilmiş; tek sabit uç mimarisi, otomatik dozajlama modülü, servo kontrollü hareket optimizasyonu ve PLC tabanlı reçete yönetimi ile süreç bütüncül biçimde yeniden tasarlanmıştır.

Mühendislik ve üretim araştırmalarında çoklu vaka (multi-case) tasarımı, tekil çalışmaların sınırlı dış geçerliliğini aşmak, verilerdeki örüntüleri güvenilir biçimde saptamak ve bulguların sağlamlığını artırmak bakımından kritik bir metodolojik çerçeve sunmaktadır [26], [27]. Özellikle TRIZ gibi mühendislik tasarım yöntemleri ile LCA gibi çevresel değerlendirme yaklaşımlarının incelenmesinde, geniş ve heterojen vaka havuzlarının (ör. >90–100 örnek) kullanımı stratejilerin geçerliliğine ilişkin daha titiz, tutarlı ve kapsamlı kanıt üretimini mümkün kılmaktadır [26], [27], [28]. Bu sistematik yaklaşım, yalnızca başarılı uygulamalara odaklanmak yerine pazar başarısızlıklarını da içermesi sayesinde daha nesnel öngörü modelleri ve "en iyi uygulama" (best practice) rehberlerinin geliştirilmesine olanak tanır; sonuçta çoklu vaka analizi, karmaşık ürün geliştirme süreçlerinde önerilen yöntemlerin fizibilitesinin doğrulanmasında ve sezgisel yargıların ötesinde bilimsel temelli genel rotaların çizilmesinde stratejik bir araç işlevi görür [28]. Bu çalışma, söz konusu gerekçelere dayanarak iki endüstriyel vakayı kapsayan bir tasarım benimsemekte ve TRIZ tabanlı çelişki çözümünün yazılım temelli

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

pano kontrolü ile mekanik lehimleme süreçlerinde uzlaşmasız ve ölçülebilir iyileştirmeler üretme kapasitesini sınamayı amaçlamaktadır. Literatürde TRIZ genellikle reaktif bir problem çözme aracı olarak sunulurken; bu çalışma, metodolojiyi Ar-Ge ekosisteminde sürdürülebilir bir rekabet avantajı sağlayan 'stratejik bir inovasyon bileşeni' olarak konumlandırmaktadır. Çalışma hem dijital kontrol süreçlerinde hem de fiziksel üretim hatlarında toplanan ampirik veri ve geri bildirim mekanizmalarını kullanarak, sürekli iyileştirme için literatürde eksikliği hissedilen yeni bir metodolojik temel oluşturmaktadır. Araştırma soruları şu şekilde formüle edilmiştir: (RQ1) TRIZ tabanlı çelişki analizi, pano kontrolünde Hız–Ölçüm Güvenirliği gerilimini nasıl azaltır ve çevrim süresinde hangi nicel iyileştirme düzeyine ulaşır? (RQ2) TRIZ ilkeleri, lehimleme sürecinde uç değişimi/soğutma kaynaklı yapısal darboğazları nasıl ortadan kaldırır ve toplam çevrim süresinde ne ölçüde azalma sağlar? Bu çerçevede çalışmanın katkıları ve makalenin organizasyonu aşağıda sunulmaktadır.

Bu düzenekle çalışma (a) yazılım (algoritma/iş akışı) ve mekanik (süreç/mimari) alanlarında TRIZ çelişki matrislerinin birlikte kullanımına dayalı yapılandırılmış bir çözüm yolunu, (b) pano kontrolünde %22 süre iyileştirmesi ve lehimlemede 160–170 s → 35–40 s (%75–80) düzeyinde çevrim düşüşüyle ampirik etkinliği, (c) hat dengelemesi, operatör bağımlılığının azaltılması ve reçeteleştirilmiş kontrol sayesinde pratik ölçeklenebilirliği ortaya koyar. İzleyen bölümlerde Yöntem kısmı TRIZ çerçevesi ve vaka-özgül uygulamaları; Bulgular kısmı nicel sonuçları; Tartışma kısmı mekanistik yorum/karşılaştırmaları; Sonuç ise ana çıkarımları ve gelecek çalışmaları sunmaktadır.

TRIZ (Yenilikçi Problem Çözme Teorisi), milyonlarca patentin analizinden süzülen nesnel teknolojik evrim yasalarına dayanarak problem çözme sürecini rastlantısallıktan kurtaran ve teknik çelişkileri verimsiz uzlaşmalara (trade-off) varmadan ortadan kaldıran sistematik bir mühendislik felsefesidir [3], [9], [12], [15], [29]. Metodolojinin merkezinde yer alan ideallik, kaynaklar, fonksiyonellik-değer, çelişki, uzay-zaman-alan-arayüz, sistem transferi ve sistem geçişi olarak tanımlanan yedi temel sütun, tasarımcıyı maliyet ve zararın minimize edildiği "ideal nihai sonuç" hedefine yönlendirir [4], [9]. Güncel akademik çalışmalar; TRIZ'in Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD) ile entegrasyonunun müşteri beklentilerini teknik parametrelere dönüştürmede sağladığı hassasiyeti vurgularken; Yapay Sinir Ağları (ANN), ARIZ ve Dijital İkiz (Digital Twin) gibi ileri teknolojilerle birleşerek karmaşık ürünlerin evrimsel rotalarını tahmin etme ve tasarım risklerini azaltma kabiliyetine dikkat çekmektedir [4], [18], [23], [29], [30]. Ayrıca, biyomimikri (BioTRIZ) ve Sürdürülebilir Ürün-Hizmet Sistemleri (SPSS) bağlamındaki uygulamalar, metodolojinin düşük karbonlu tasarım ve döngüsel ekonomi gibi küresel hedefler doğrultusunda radikal inovasyonlar (Seviye 2-4) üretmedeki stratejik ve transdisipliner gücünü ortaya koymaktadır [14], [19], [29], [31].

2. YÖNTEM (METODOLOJİ)

2.1. Araştırma Tasarımı

Bu çalışmada, endüstriyel Ar-Ge süreçlerinde karşılaşılan karmaşık mühendislik problemlerinin çözümü için TRIZ (Yaratıcı Problemlerin Çözüm Teorisi) metodolojisi temel alınmıştır. Araştırma, problemin rastlantısal yöntemlerle değil, sistematik ve tekrarlanabilir bir çerçevede çözülmesini sağlayan beş temel adımdan oluşan yapılandırılmış bir yaklaşımla

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

tasarlanmıştır. İlk aşamada, sistemdeki darboğazlar ve verimsizlikler tanımlanarak teknik çelişkinin formülasyonu gerçekleştirilmiştir. İkinci adımda, soyut bir model problem oluşturulmuş; iyileştirilen ve kötüleşen mühendislik parametreleri belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, bu parametreler TRIZ çelişki matrisi üzerinde analiz edilerek teorik çözüm yolları aranmıştır. Dördüncü adımda, matrisin yönlendirdiği 40 yaratıcı çözüm ilkesi arasından uygulama alanına en uygun olanlar seçilmiştir. Son aşamada ise belirlenen ilkeler doğrultusunda teknik uygulama ve tasarım değişiklikleri hayata geçirilerek sistem performansı değerlendirilmiştir.

2.2. Vaka 1: Serigrafi Pano Kontrol Sürecinde Algoritmik Optimizasyon

Serigrafi üretim hattında kullanılan pano kontrol sürecindeki işlem süresi darboğazı, TRIZ metodolojisi ile analiz edilmiştir. Mevcut sistemde, kontrolün hassasiyeti (doğruluk) arttıkça işlem süresinin uzadığı, süreyi kısaltma çabalarının ise doğruluğu riske attığı saptanmıştır. Bu durum, TRIZ terminolojisinde "Hız (9)" ile "Ölçüm Güvenirliği (28)" arasındaki teknik çelişki olarak tanımlanmış ve 9x28 matrisi üzerinden modellenmiştir.

Analiz sonucunda, "Mekanik Sistemin Değiştirilmesi (28)" ve "Bölümleme (1)" ilkeleri temel çözüm stratejileri olarak belirlenmiştir. Prensip 28 doğrultusunda; yüksek hesaplama yükü yaratan ve ardışık işlem gerektiren geleneksel Flann-based SIFT [32] algoritması, daha hızlı ve yüksek doğruluk oranına sahip XFEAT [33] algoritması ile ikame edilmiştir. XFEAT'in derin öğrenme tabanlı mimarisi, özellik eşleştirme süresini pozisyon başına 1,7 saniyeden 0,6 saniyeye düşürerek teknik mantık temelinde hızı optimize etmiştir. Prensip 1 (Bölümleme) kapsamında ise, daha önce ardışık (sequential) olarak işlenen referans ve örnek görüntüler, paralel işleme (multi-threading) yapısına dönüştürülmüştür. Bu sayede işlemci çekirdeklerinin eşzamanlı kullanımı sağlanmış ve bekleme süreleri minimize edilmiştir.

2.3. Vaka 2: Elektronik Kart Lehimleme Sürecinde Mekanik Tasarım ve Süreç Revizyonu

Elektronik kart lehimleme makinesinde, farklı komponent boyutları nedeniyle gerçekleştirilen manuel uç değişimleri ve buna bağlı soğuma/ısıtma bekleme süreleri temel verimsizlik kaynağı olarak incelenmiştir. Problem, "Verimlilik (39)" ve "Hız (9)" parametrelerinin iyileştirilmesi istenirken, buna karşılık sistemin karmaşıklaşması veya operasyonel kısıtların artması ("Cihaz Karmaşıklığı (36)") çelişkisi üzerine kurulmuştur.

39x36 ve 9x36 çelişki matrislerinden elde edilen ortak yönlendirme doğrultusunda "Mekanik Sistemlerin Değişimi (28)" prensibi uygulanmıştır. Bu kapsamda; çoklu uç değişimini esas alan geleneksel yapı terk edilerek, en küçük komponent geometrisine uygun tek bir sabit uç mimarisi geliştirilmiştir. Farklı pad boyutları için gerekli lehim miktarını dengelemek amacıyla sisteme bir otomatik dozajlama modülü entegre edilmiştir. Ayrıca, lehimleme kolunun hareket hassasiyetini artırmak ve tekrarlanabilirliği sağlamak amacıyla servo kontrollü hareket optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Akıllı reçete yönetimiyle desteklenen bu yeni sistemde, tüm süreç parametreleri PLC üzerinden otomatik olarak belirlenerek manuel müdahale ve bekleme adımları tamamen ortadan kaldırılmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2.4. Veri Toplama ve Analiz

Metodolojinin ampirik doğrulanması için nicel ölçüm kriterleri kullanılmıştır. Temel performans göstergesi olarak toplam çevrim süreleri ve bu sürelerdeki iyileştirme oranları ölçülmüştür. Vaka 1'de, algoritmik ve yapısal değişikliklerin toplam kontrol süresinde %22 oranında bir azalma sağladığı verilerle kanıtlanmıştır. Vaka 2'de ise 160-170 saniye olan çevrim süresinin 35-40 saniyeye düşürülmesiyle %75-80 düzeyinde bir iyileşme kaydedilmiştir. Çalışmada uygulanan çoklu vaka analizi (multi-case design), TRIZ metodolojisinin hem yazılım tabanlı (algoritmik) hem de mekanik tabanlı (süreçsel) problemlerde ölçeklenebilir ve evrensel bir çözüm yeteneğine sahip olduğunu doğrulamak adına yöntemsel bir önem taşımaktadır.

3. BULGULAR

3.1. Vaka 1: Pano Kontrol Sürecinde Yazılım Optimizasyonu ve Performans Analizi

Pano kontrol sürecinde gözlemlenen operasyonel darboğazların giderilmesi amacıyla yürütülen deneysel çalışmalar; algoritmik verimlilik, mimari optimizasyon ve sistemin kümülatif performansı olmak üzere üç temel boyutta analiz edilmiştir.

3.1.1. Algoritmik Performans Değerlendirmesi ve Karşılaştırmalı Bulgular

Mevcut görüntü işleme hattında kullanılan algoritmaların işlem süresi (hız) ve AUROC (doğruluk) parametreleri üzerinden gerçekleştirilen karşılaştırmalı analiz sonuçları Çizelge 1'de sunulmuştur. Yapılan ölçümler, geleneksel yöntemlerde hassasiyet artışına paralel olarak hesaplama yükünün de lineer olmayan bir şekilde arttığını göstermektedir. Bu durum, sistemin karmaşıklığını artırırken TRIZ bağlamında tanımlanan "idealite katsayısını" düşüren bir teknik çelişki olarak saptanmıştır.

Çizelge 1. Görüntü İşleme Algoritmalarının Karşılaştırmalı Performansı.

Algoritma Tipi	İşlem Süresi (sn)	AUROC / Doğruluk (%)	Enerji ve Kaynak Tüketimi	Açıklama / Notlar
XFEAT (Önerilen)	0,6	76	Düşük	Derin Öğrenme Tabanlı
BRISK	0,6	64,5	Düşük	Tekrarlanabilirlik Zayıf
AKAZE	1,6	61	Yüksek	Kontrast Kararsızlığı
Flann-based SIFT	1,7	67,5	Yüksek	Ağır Descriptor Yükü
ORB	2,8	64,5	Orta	-

3.1.2. TRIZ Prensibi 28: Algoritmik Paradigma Değişimi

Sistemin başlangıç konfigürasyonunda yer alan Flann-based SIFT algoritması, yüksek sayıdaki anahtar nokta (keypoint) üretimi ve yüksek boyutlu tanımlayıcılar (descriptors) nedeniyle eşleştirme motoru üzerinde kritik bir hesaplama yükü oluşturmaktadır. Bu teknik darboğazı

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

aşmak adına, TRIZ Prensip 28 (Mekanik Sistemin Değiştirilmesi/İkamesi) uyarınca; rijit ve yoğun işlem gücü gerektiren geleneksel yapı, yerini derin öğrenme tabanlı XFEAT mimarisine bırakmıştır. XFEAT'in özgün mimarisi, karmaşık desenlerde daha kararlı özellik eşleştirmesi sağlayarak işlem süresini pozisyon başına 1,7 saniyeden 0,6 saniyeye indirmiştir. Bu müdahale, ölçüm doğruluğunu %76 seviyesinde stabilize ederken, zaman kaybı parametresini minimize ederek sistem verimliliğini optimize etmiştir.

Çizelge 2. Teknik Çelişki Matrisi Kesiti (Pano Kontrol Süreci).

İyileştirilen Parametre	Kötüleşen Parametre	Önerilen 40 İnovasyon İlkesi
Hız (9)	Ölçüm Güvenirliği (28)	1 (Bölümleme), 24 (Aracılık), 28 (Mekanik Sistemi Değiştirme), 32 (Renk Değiştirme)

3.1.3. TRIZ Prensibi 1: Çok Kanallı (Multi-threaded) Mimari ve Bölümleme

Sistemin yapısal verimliliğini artırmak amacıyla TRIZ Prensip 1 (Bölümleme) uygulanarak, daha önce ardışık (sequential) olarak yürütülen referans ve örnek görüntü işleme adımları bağımsız alt süreçlere ayrılmıştır. Geliştirilen Çok Kanallı (Multi-threaded) paralel işleme mimarisi ile CPU çekirdeklerinin eşzamanlı kullanımı sağlanmış, böylece işleme birimleri arasındaki atıl bekleme süreleri elimine edilmiştir. Bu mimari optimizasyon sonucunda, özellikle yüksek hesaplama kapasitesi gerektiren ilk beş kompleks algoritmanın yarattığı pozisyon başına 4-5 saniyelik operasyonel yük, 2-2,5 saniye bandına çekilmiştir. Bölümleme stratejisi sayesinde, üç pozisyonlu toplam kontrol sürecinde yalnızca mimari değişikliğe bağlı olarak 8,6 saniyelik net bir zaman kazanımı elde edilmiştir.

3.1.4. Kümülatif İyileştirme ve Nicel Sonuçların Değerlendirmesi

Algoritma optimizasyonu (XFEAT) ve mimari revizyonun (Threading) entegre edilmesi, sistem performansında kümülatif bir artış yaratmıştır. Algoritma değişikliği ile sağlanan 3,6 saniyelik tasarruf, paralel işleme yapısından gelen 8,6 saniyelik kazanımla birleştiğinde, toplam çevrim süresinde 12,2 saniyelik bir azalma kaydedilmiştir. Bu veriler, pano kontrol sürecindeki toplam işlem süresinin %22 oranında iyileştirildiğini kanıtlamaktadır. Elde edilen bu iyileşme, hattaki Takt süresinin üretim temposuyla senkronize olmasını sağlamış ve üretim kapasitesinde doğrudan bir artışa imkan tanımıştır.

Çizelge 3. Uygulanan çözüm yöntemlerine göre işlem süresi kazançları.

Çözüm Yöntemi	Pozisyon Başına Kazanç (saniye)	3 Pozisyon Kazanç (saniye)	Yeni Toplam Süre (saniye)
Algoritma Değişikliği (XFEAT)	1,2	3,6	42,4
Paralel İşleme / Threading	2- 2,5	8,6	33,8

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

3.2. Vaka 2: Elektronik Kart Lehimleme Sürecinde Mekanik Tasarım ve Süreç İyileştirme

Elektronik kart üretim hatlarında, farklı komponent geometrilerine uyum sağlama zorunluluğu, geleneksel üretim mimarilerinde ciddi operasyonel darboğazlara yol açmaktadır. Bu bölümde, TRIZ prensipleri doğrultusunda gerçekleştirilen mekanik ve süreçsel dönüşümler analiz edilmiştir.

3.2.1. Teknik Çelişkinin Tanımlanması ve Modelleme

Mevcut lehimleme sürecinde, değişken pad boyutları nedeniyle ihtiyaç duyulan manuel uç değişimleri (35-40 sn), buna bağlı zorunlu soğutma (20-30 sn) ve yeniden ısıtma periyotları, sistemin toplam verimliliğini minimize eden temel faktörler olarak saptanmıştır. Söz konusu problem TRIZ perspektifinden modellenmiş; "Verimlilik (39)" ile "Cihaz Karmaşıklığı (36)" ve "Hız (9)" ile "Cihaz Karmaşıklığı (36)" arasındaki teknik çelişkiler tanımlanmıştır. Matris analizleri neticesinde, sistem karmaşıklığını artırmadan çıktı performansını optimize edebilecek stratejik çözüm odağı olarak "Mekanik Sistemlerin Değiştirilmesi/İkamesi (28)" prensibi belirlenmiştir.

Çizelge 4. Uygulanan çözüm yöntemlerine göre işlem süresi kazançları.

İyileştirilen Parametreler	Kötüleşen Parametre	Önerilen 40 İnovasyon İlkesi
Verimlilik (39)	Cihaz Karmaşıklığı (36)	12 (Eş Potansiyellik), 17 (Yeniden Boyutlama), 24 (Aracılık), 28 (Mekanik Sistemi Değiştirme)
Hız (9)	Cihaz Karmaşıklığı (36)	4 (Asimetri), 10 (Önceki Eylem), 28 (Mekanik Sistemi Değiştirme), 34 (Atılan veya Değiştirilen Parçalar)

3.2.2. Mekanik Çözüm Stratejileri ve İdealite Yaklaşımı

TRIZ'in "İdealite" hedefi ve katma değersiz yardımcı adımların eliminasyonunu öngören "Trimming (Budama)" yaklaşımı doğrultusunda süreç yeniden kurgulanmıştır. Bu kapsamda uygulanan mekanik inovasyonlar şu şekildedir:

- **Üniversal Sabit Uç Yaklaşımı:** Kart üzerindeki en dar komponent geometrisine uyumlu üniversal bir uç seçilerek, uç değişimine bağlı tüm hazırlık ve ayar süreleri süreçten tamamen elenmiştir.
- **Dinamik Dozajlama Modülü:** Pad boyutundaki farklılıklardan kaynaklanan lehim ihtiyacı, pad alanına bağlı olarak önceden tanımlanmış dozaj seviyeleri aracılığıyla otomatik biçimde kontrol edilmiştir. Aynı lehimleme ucu ile çoklu doz uygulaması yapılmış ve proses esnekliği artırılmıştır.
- **Servo-Kontrollü Hareket Optimizasyonu:** Optimize edilmiş hareket rotaları ve yeniden kalibre edilen servo mekanizması sayesinde, özellikle yüksek yoğunluklu pad gruplarında süreç kararlılığı ve tekrarlanabilirlik güvence altına alınmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

3.2.3. Karşılaştırmalı Performans Analizi

Geliştirilen sistemin etkinliği, baz hat (baseline) verileriyle nicel olarak kıyaslanmıştır. Manuel müdahaleler ve termal bekleme süreleri nedeniyle 160-170 saniye aralığında seyreden toplam çevrim süresi (cycle time), yeni tasarım ile 35-40 saniye bandına düşürülmüştür. Saf lehimleme süresinin 15,2 saniye olarak ölçüldüğü bu yeni mimaride, yardımcı zamanların minimize edilmesiyle operasyonel verimlilikte %75-80 oranında bir artış kaydedilmiştir. Bu iyileşme, birim maliyetlerin düşürülmesine ve üretim kapasitesinin maksimize edilmesine doğrudan katkı sağlamıştır.

Çizelge 5. Eski ve yeni süreçlerin işlem süreleri karşılaştırması.

Süreç Adımı	Eski Süre (Saniye)	Yeni süre (Saniye)	Kazanç (Saniye)	İyileştirme (%)
Hazırlık / Uç takma	35-40	0	~37	100
Kart yerleştirme	10	10	0	0
Komponent lehimleme süresi (Toplam)	8 + 2.4 + 1.6 = 12	15,2	-3,2	26
Uç soğutma	20-30	0	~25	100
Uç değiştirme	70-80	0	~75	100
Nihai kontrol	10-15	10-15	0	0
Toplam çevrim süresi	160-170	35-40	125-130	75-80

3.2.4. Kontrol Mimarisi ve Süreç Standartlaştırma

Sürecin deterministik yönetiminde merkezi rol oynayan PLC tabanlı akıllı reçete yönetimi, operatör inisiyatifine ve teknik yetkinliğine olan bağımlılığı minimize etmiştir. Seçilen ürün tipine göre; lehim sıcaklığı, eksen hızları, dozajlama hacmi ve temas süreleri gibi kritik parametreler sistem tarafından otonom olarak belirlenmektedir. Entegre geri bildirim mekanizmaları sayesinde proses sapmaları anlık olarak kompanze edilmekte; bu durum endüstriyel ölçekte sürdürülebilir bir kalite standardı ve operasyonel güvenilirlik sunmaktadır.

3.3. Karşılaştırmalı Analiz ve İnovasyon Değeri

Elde edilen bulgular, TRIZ metodolojisinin hem yazılım hem de mekanik tabanlı Ar-Ge projelerinde sistemi "idealite" (ideality) kavramına yaklaştırdığını doğrulamaktadır. İdealite hedefi doğrultusunda, sistemdeki zararlı etkiler ve gereksiz kaynak kullanımları (ardışık beklemeler, manuel uç değişimleri) "trimleme" yoluyla bertaraf edilmiştir.

Yazılım alanındaki %22'lik ve mekanik alandaki %80'e varan kazanımlar, metodolojinin disiplinler arası uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır. Bu sistematik yaklaşımın, Ar-Ge verimliliği üzerinde yarattığı ortak etki; deneme-yanılma maliyetlerinin düşürülmesi, üretim kapasitesinin doğrudan artırılması ve teknik çelişkilerin (hız vs. doğruluk veya hız vs. karmaşıklık) inovatif çözümlerle dengelenmesi olarak özetlenmiştir. Sonuç olarak, TRIZ tabanlı müdahalelerin endüstriyel süreçlerde ölçülebilir ve sürdürülebilir bir rekabet avantajı sağladığı verilerle kanıtlanmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

4.1. Bulguların Yorumlanması ve Teorik Katkı

Bu çalışmada elde edilen %22 (yazılım optimizasyonu) ve %75-80 (mekanik süreç iyileştirme) oranındaki performans artışları, endüstriyel Ar-Ge literatüründe sıklıkla karşılaşılan "geleneksel uzlaşma" (trade-off) çözümlerinin ötesine geçildiğini kanıtlamaktadır. Geleneksel mühendislik yaklaşımlarında, bir parametreyi iyileştirmek (örneğin hız) genellikle başka bir parametreden (örneğin doğruluk veya cihaz karmaşıklığı) ödün verilmesiyle sonuçlanmaktadır. Ancak TRIZ metodolojisi, bu teknik çelişkileri bir uzlaşma konusu olarak değil, sistemin kök dinamiklerinde çözülmesi gereken bariyerler olarak ele almaktadır.

Çalışmanın her iki vakasında da uygulanan "İdealite" (Ideality) prensibi, sistemin fonksiyonelliğini artırırken kaynak kullanımını ve zararlı etkileri (bekleme süreleri, manuel müdahaleler, enerji kayıpları) minimize etmiştir. Serigrafi pano kontrolünde ardışık işlem yükünün paralel mimariye (threading) dönüştürülmesi ve lehimleme makinesinde uç değişim adımlarının tamamen elimine edilerek tek uçlu dozajlama sistemine geçilmesi, sistemin "ideal sonuca" yaklaştığını göstermektedir. Teorik açıdan bu bulgular, TRIZ'in yazılım algoritmalarından mekanik süreç tasarımına kadar birbirine zıt disiplinlerde aynı metodolojik çerçeveyle başarılı sonuçlar üretebileceğini ve evrensel bir inovasyon dili sunduğunu ortaya koymaktadır.

4.2. Sektörel ve Pratik Uygulamalar

Endüstriyel Ar-Ge merkezlerinde en büyük engellerden biri olan "psikolojik atalet", mühendislerin problemleri deneme-yanılma gibi rastlantısal yöntemlerle çözme eğilimidir. Bu çalışma, TRIZ'in algoritmik yapısı sayesinde bu ataletin nasıl kırılabileceğini somut verilerle analiz etmiştir. Problem çözme sürecinin sistematik bir forma dönüştürülmesi, Ar-Ge ekiplerinin çözüm yelpazesini genişletmiş ve hata yapma maliyetlerini düşürmüştür.

Süreçlerin PLC tabanlı akıllı "reçete yönetimi" ile standartlaştırılması, üretim hatlarının esnekliğini (agility) doğrudan etkilemiştir. Operatör bağımlılığının minimize edilmesiyle birlikte, farklı ürün grupları arasındaki geçişlerin hızlandığı ve kalite kararlılığının güvence altına alındığı gözlemlenmiştir. Bu durum, modern üretim sistemlerinde yüksek verimlilik ile operasyonel esnekliğin aynı anda sağlanabileceğini endüstriyel bir model olarak sunmaktadır.

4.3. Kısıtlar ve Gelecek Çalışmalar

Çalışmanın temel kısıtı, uygulamaların yalnızca elektronik üretim süreçleri (serigrafi ve lehimleme) odağında gerçekleştirilmiş olmasıdır. TRIZ metodolojisinin disiplinler arası doğası gereği, gelecekteki çalışmaların enerji yönetimi, otomotiv ana sanayi veya havacılık gibi daha geniş ölçekli sektörlere yaygınlaştırılması önerilmektedir. Özellikle "TRIZ 4.0" kavramı çerçevesinde, yapay zeka (AI) destekli çelişki analizlerinin ve makine öğrenmesi algoritmalarının inovasyon süreçlerine entegrasyonu, sistemlerin kendi kendine optimize olabilen bir yapıya kavuşması açısından kritik bir araştırma alanı olarak öngörülmektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

4.4. Sonuç

Bu çalışma, Ar-Ge projelerinde karşılaşılan teknik kısıtların sistematik bir yöntemle nasıl aşılabileceğini sorgulayan temel amaçlarına (RQ1 ve RQ2) başarıyla ulaşmıştır. Pano kontrolündeki yazılım darboğazları %22, lehimleme makinesindeki mekanik verimsizlikler ise %80'e varan oranlarda iyileştirilmiştir. Sonuçlar, TRIZ'in sadece reaktif bir problem çözme aracı değil, sistemlerin evrimsel yönünü belirleyen "stratejik bir inovasyon bileşeni" olduğunu doğrulamaktadır. Metodolojinin sunduğu yapılandırılmış çerçeve, Ar-Ge ekosisteminde sürdürülebilir bir rekabet avantajı ve yenilikçi bir mühendislik kültürü oluşturmak adına vazgeçilmez bir stratejik araç olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

[1] Cherifi, A., Dubois, M., Gardoni, M. ve Tairi, A., Methodology for Innovative Eco-Design Based on TRIZ, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 9 (3), 167–175, 2015.

[2] Ko, Y. T., Modeling a Hybrid-Compact Design Matrix for New Product Innovation, *Computers & Industrial Engineering*, 107, 345–359, 2017.

[3] Livotov, P. vd., Eco-Innovation in Process Engineering: Contradictions, Inventive Principles and Methods, *Thermal Science and Engineering Progress*, 9, 52–65, 2019.

[4] Delgado-Maciel, J., Cortés-Robles, G., Sánchez-Ramírez, C., García-Alcaraz, J. ve Méndez-Contreras, J. M., The Evaluation of Conceptual Design Through Dynamic Simulation: A Proposal Based on TRIZ and System Dynamics, *Computers & Industrial Engineering*, 149, 2020.

[5] Bertoncelli, T., Mayer, O. ve Lynass, M., Creativity, Learning Techniques and TRIZ, *Procedia CIRP*, 2016, 191–196.

[6] Wang, K., Tan, R., Peng, Q., Sun, Y., Li, H. ve Sun, J., Radical Innovation of Product Design Using an Effect Solving Method, *Computers & Industrial Engineering*, 151, 2021.

[7] Czinki, A. ve Hentschel, C., Solving Complex Problems and TRIZ, *Procedia CIRP*, 2016, 27–32.

[8] Wang, C. H., Incorporating the Concept of Systematic Innovation into Quality Function Deployment for Developing Multi-Functional Smart Phones, *Computers & Industrial Engineering*, 107, 367–375, 2017.

[9] Sheu, D. D., Chiu, M. C. ve Cayard, D., The 7 Pillars of TRIZ Philosophies, *Computers & Industrial Engineering*, 146, 2020.

[10] Yan, W., Zanni-Merk, C., Cavallucci, D. ve Collet, P., An Ontology-Based Approach for Inventive Problem Solving, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 27, 175–190, 2014.

[11] Da Silva, R. H., Kaminski, P. C. ve Armellini, F., Improving New Product Development Innovation Effectiveness by Using Problem Solving Tools During the Conceptual

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Development Phase: Integrating Design Thinking and TRIZ, *Creativity and Innovation Management*, 29 (4), 685–700, 2020.

[12] Di Gironimo, G. vd., Improving Concept Design of Divertor Support System for FAST Tokamak Using TRIZ Theory and AHP Approach, *Fusion Engineering and Design*, 88 (11), 3014–3020, 2013.

[13] Melemez, K., Di Gironimo, G., Esposito, G. ve Lanzotti, A., Concept Design in Virtual Reality of a Forestry Trailer Using a QFD-TRIZ Based Approach, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37 (6), 789–801, 2013.

[14] Ben Moussa, F. Z., Rasovska, I., Dubois, S., De Guio, R. ve Benmoussa, R., Reviewing the Use of the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) in Green Supply Chain Problems, *Journal of Cleaner Production*, 2017.

[15] Ekmekci, I. ve Koksal, M., TRIZ Methodology and an Application Example for Product Development, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 195, 2689–2698, 2015.

[16] Yuan, J., Zhang, Z. M., Yüksel, S. ve Dinçer, H., Evaluating Recognitive Balanced Scorecard-Based Quality Improvement Strategies of Energy Investments with the Integrated Hesitant 2-Tuple Interval-Valued Pythagorean Fuzzy Decision-Making Approach to QFD, *IEEE Access*, 8, 171112–171128, 2020.

[17] Ilevbare, I. M., Probert, D. ve Phaal, R., A Review of TRIZ, and Its Benefits and Challenges in Practice, *Technovation*, 2013.

[18] Dong, Y., Tan, R., Zhang, P., Peng, Q. ve Shao, P., Product Redesign Using Functional Backtrack with Digital Twin, *Advanced Engineering Informatics*, 49, 2021.

[19] Jama-Rodzeńska, A., Białowiec, A., Koziel, J. A. ve Sowiński, J., Waste to Phosphorus: A Transdisciplinary Solution to P Recovery from Wastewater Based on the TRIZ Approach, *Journal of Environmental Management*, 2021.

[20] Spreafico, C., Russo, D. ve Spreafico, M., Investigating the Evolution of Pyrolysis Technologies Through Bibliometric Analysis of Patents and Papers, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 159, 2021.

[21] Ai, X., Jiang, Z., Zhang, H. ve Wang, Y., Low-Carbon Product Conceptual Design from the Perspectives of Technical System and Human Use, *Journal of Cleaner Production*, 244, 2020.

[22] Lopez Flores, R., Belaud, J. P., Le Lann, J. M. ve Negny, S., Using the Collective Intelligence for Inventive Problem Solving: A Contribution for Open Computer Aided Innovation, *Expert Systems with Applications*, 42 (23), 9340–9352, 2015.

[23] Wang, K., Tan, R., Peng, Q., Wang, F., Shao, P. ve Gao, Z., A Holistic Method of Complex Product Development Based on a Neural Network-Aided Technological Evolution System, *Advanced Engineering Informatics*, 48, 2021.

[24] Valentine, A., Belski, I. ve Hamilton, M., Developing Creativity and Problem-Solving Skills of Engineering Students: A Comparison of Web- and Pen-and-Paper-Based Approaches, *European Journal of Engineering Education*, 42 (6), 1309–1329, 2017.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

[25] Kamps, T., Gralow, M., Schlick, G. ve Reinhart, G., Systematic Biomimetic Part Design for Additive Manufacturing, *Procedia CIRP*, 2017, 259–266.

[26] Spreafico, C., Quantifying the Advantages of TRIZ in Sustainability Through Life Cycle Assessment, *Journal of Cleaner Production*, 303, 2021.

[27] Borgianni, Y., Cascini, G., Pucillo, F. ve Rotini, F., Supporting Product Design by Anticipating the Success Chances of New Value Profiles, *Computers in Industry*, 64 (4), 421–435, 2013.

[28] Spreafico, C. ve Russo, D., TRIZ Industrial Case Studies: A Critical Survey, *Procedia CIRP*, 2016, 51–56.

[29] De Jesus Pacheco, D. A., Ten Caten, C. S., Jung, C. F., Navas, H. V. G., Cruz-Machado, V. A. ve Tonetto, L. M., State of the Art on the Role of the Theory of Inventive Problem Solving in Sustainable Product-Service Systems: Past, Present, and Future, *Journal of Cleaner Production*, 212, 489–504, 2019.

[30] Mayda, M. ve Börklü, H. R., Development of an Innovative Conceptual Design Process by Using Pahl and Beitz's Systematic Design, TRIZ and QFD, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing*, 8 (3), 2014.

[31] Russo, D. ve Spreafico, C., TRIZ-Based Guidelines for Eco-Improvement, *Sustainability*, 12 (8), 2020.

[32] Lowe, D. G., Distinctive image features from scale-invariant keypoints, *International Journal of Computer Vision*, 60 (2), 91–110, 2004.

[33] Potje, G., Cadar, F., Araujo, A., Martins, R. ve Nascimento, E. R., XFeat: Accelerated features for lightweight image matching, *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2024, 10463–10473.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

DEMİR ÇELİK ENDÜSTRİSİNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN BENİMSENMESİ

TEKNOLOJİ KABUL MODELİ YAKLAŞIMI

Lisansüstü Öğrenci, Özgür GÜÇER

Bülent Ecevit Üniversitesi, ozgur.gucer@tosyalidemircelik.com.tr 0009-0005-2814-9274

Prof. Dr. , Ahmet Ferda ÇAKMAK

Bülent Ecevit Üniversitesi, cakmak@beun.edu.tr 0000-0002-5686-716X

ÖZET

Demir-çelik endüstrisi; çok aşamalı üretim süreçleri, yüksek operasyonel karmaşıklık ve birimler arası yoğun koordinasyon gereksinimi nedeniyle, bilgi akışının etkin yönetilmesini sağlayacak dijital uygulamalara güçlü biçimde ihtiyaç duymaktadır. Bakım faaliyetleri, üretim, kalite, planlama, iş takibi, iş güvenliği uygulamaları ve ekip yönetimi gibi süreçlerin etkin biçimde yönetilebilmesi, doğru ve zamanında bilgiye erişimi zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda dijital uygulamalar, operasyonel verimlilik, izlenebilirlik ve kurumsal hafızanın oluşturulması açısından kritik bir rol üstlenmektedir.

Buna karşın demir-çelik fabrikalarında kullanılan birçok dijital uygulamanın, teknik olarak işlevsel olmasına rağmen çalışanlar tarafından yeterince benimsenmediği görülmektedir. Bunun temel nedenleri arasında dijital sistemlerin kullanımının karmaşık olması, mobil erişim imkânlarının sınırlı kalması, farklı süreçlerin tek bir platform altında bütünleştirilememesi ve saha operasyonlarının dinamik yapısına uygun esnekliğin sağlanamaması yer almaktadır. Parçalı ve kullanıcı dostu olmayan dijital çözümler, çalışanların dijital sistemleri günlük iş akışlarının dışında görmesine yol açmaktadır.

Bu çalışma, demir-çelik endüstrisinde faaliyet gösteren bir Sıcak Haddehanede, Microsoft Power Platform bileşenleri kullanılarak yukarıda bahsedilen problemlerin bertarafına yönelik yazar tarafından geliştirilen bütünleşik bir Dijital Yönetim Merkezinin çalışanlar tarafından benimsenmesini incelemektedir. Araştırma, Teknoloji Kabul Modeli çerçevesinde algılanan fayda, algılanan kullanım kolaylığı, tutum ve davranışsal niyet değişkenleri arasındaki ilişkileri analiz etmektedir. Nicel yöntemle gerçekleştirilen çalışmada elde edilen anket sonuçları, algılanan faydanın teknoloji kabulünde belirleyici bir rol oynadığını ve kullanım kolaylığı ile süreçlerin tek platformda toplanmasının çalışanların dijital uygulamaları benimseme niyetini anlamlı biçimde artırdığını göstermektedir. Bulgular, demir-çelik sektöründe dijital dönüşüm projelerinin başarısının yalnızca teknolojik altyapıya değil, kullanıcı deneyimi, iş akışına uygun birime özel çözümlere de bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler : Dijital Dönüşüm, Teknoloji Kabul Modeli, Demir Çelik, Dijital Yönetim Merkezi

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Dijital dönüşüm, günümüzde sanayi işletmeleri için yalnızca bilgi teknolojilerinin kullanımıyla sınırlı olmayan; üretim süreçlerinin, organizasyonel yapıların ve yönetsel karar mekanizmalarının bütüncül biçimde yeniden ele alınmasını gerektiren stratejik bir dönüşüm süreci hâline gelmiştir **[1]**. Özellikle küresel rekabetin yoğun olduğu, maliyet baskısının yüksek seyrettiği ve kalite standartlarının giderek arttığı demir-çelik endüstrisinde dijital dönüşüm, işletmelerin sürdürülebilirliği açısından kritik bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

Demir-çelik fabrikaları; yüksek üretim hacmi, yoğun bakım faaliyetleri, hızlı değişen planlama süreçleri nedeniyle yakın izlenebilirlik gereksinimi, sürdürülebilirlik için standartlaşma ihtiyacı ve yüksek riskli çalışma koşulları kapsamında iş sağlığı ve güvenliği alanında hızlı aksiyon alınmasını zorunlu kılan yapısı nedeniyle dijital uygulamalara en fazla ihtiyaç duyan sanayi tesisleri arasında yer almaktadır **[1]**. Bu unsurlar, aynı zamanda doğru, güncel ve güvenilir bilgiye hızlı erişimi işletmeler açısından kritik hâle getirmektedir. Bu bağlamda dijital uygulamalar, operasyonel verimliliğin artırılması, süreçlerin izlenebilir hâle getirilmesi ve kurumsal hafızanın oluşturulması açısından önemli bir rol üstlenmektedir.

Buna karşın demir-çelik sektöründe geliştirilen veya kullanılan birçok dijital uygulamanın, teknik olarak işlevsel olmasına rağmen çalışanlar tarafından yeterince benimsenmediği görülmektedir. Literatürde bu durum; dijital sistemlerin kullanımının karmaşık olması, kullanıcı arayüzlerinin saha koşullarına uygun tasarlanmaması, ilgili birim dinamiğine özgün çözümler sunmaması, mobil erişim imkânlarının sınırlı kalması ve farklı iş süreçlerinin tek bir platform altında bütünleştirilememesi gibi nedenlerle ilişkilendirilmektedir. Özellikle saha operasyonlarının yoğun olduğu üretim ortamlarında, parçalı ve kullanıcı dostu olmayan dijital çözümler, çalışanların bu sistemleri günlük iş akışlarının dışında görmesine yol açmaktadır.

Demir-çelik fabrikalarında yaygın olarak kullanılan kurumsal sistemler (örneğin ERP ve kalite yönetim sistemleri), finansal kontrol ve üst düzey raporlama açısından önemli katkılar sunsa da, çoğu zaman saha operasyonlarının dinamik yapısına yeterli esnekliği sağlayamamaktadır. Standart süreçlere dayalı bu sistemlerin, departmanlara özgü ihtiyaçlara ve hızlı geri bildirim gerektiren operasyonel süreçlere uyum sağlamada sınırlı kaldığı belirtilmektedir. Bu durum, dijital dönüşüm yatırımlarının beklenen faydayı sağlayamamasına ve kullanıcı kabulünün düşük seviyede kalmasına neden olabilmektedir.

Bu çalışmada, demir-çelik endüstrisinde faaliyet gösteren bir sıcak haddehanede, üretim, kalite, bakım, planlama, personel yönetimi, iş güvenliği, iş takibi ve yönetsel izleme gibi farklı operasyonel süreçleri tek bir dijital çatı altında toplayan bütünleşik bir **Dijital Yönetim Merkezi** ele alınmaktadır. Söz konusu uygulama, saha ihtiyaçları dikkate alınarak geliştirilmiş olup, kullanıcıların günlük iş akışlarıyla uyumlu, mobil erişime açık ve görsel olarak izlenebilir bir yapı sunmayı hedeflemektedir. Çalışmanın temel amacı, bu dijital uygulamanın çalışanlar tarafından hangi faktörler doğrultusunda benimsendiğini ortaya koymak ve kullanıcı algıları ile organizasyonel unsurların teknoloji kabulü üzerindeki etkilerini incelemektir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bu kapsamda araştırma, Teknoloji Kabul Modeli (TAM) çerçevesinde algılanan fayda, algılanan kullanım kolaylığı, tutum ve davranışsal niyet değişkenleri arasındaki ilişkileri analiz etmekte; modele kurumsal destek unsurları da dâhil edilerek dijital dönüşümün organizasyonel boyutu değerlendirilmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI VE KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1 Endüstride Dijital Dönüşüm ve Dijital Uygulamalar

Endüstriyel işletmelerde dijital dönüşüm, üretim ve destek süreçlerinin dijital teknolojiler aracılığıyla daha verimli, izlenebilir ve standart hâle getirilmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda birçok sanayi tesisinde kurumsal kaynak planlama (ERP) ve kalite yönetim sistemleri gibi merkezi dijital platformlar yaygın biçimde kullanılmaktadır **[2]**. Demir-çelik endüstrisinde de bu tür sistemler, özellikle finansal kontrol, stok yönetimi, kalite kayıtları ve üst düzey raporlama açısından önemli işlevler üstlenmektedir.

Bununla birlikte, saha operasyonlarının yoğun olduğu üretim tesislerinde bu merkezi sistemlerin günlük operasyonel ihtiyaçları karşılama konusunda çeşitli sınırlılıklar barındırdığı görülmektedir. İncelenen fabrikada da yaygın olarak kullanılan ERP sistemi (SAP), standart süreçler ve merkezi yapı üzerine kurgulanmış olup, birimlere özgü iş yapma biçimlerine ve hızlı değişen saha ihtiyaçlarına uyum sağlama konusunda yapısal olarak esnek değildir. Özellikle bakım, iş sağlığı ve güvenliği, vardiya bazlı iş takibi ve anlık operasyonel kayıtlar gibi süreçlerde, sistemin özelleştirilmesinin zor olması ve değişikliklerin yüksek zaman ve kaynak gerektirmesi, saha kullanıcılarının bu platformu operasyonel bir araçtan ziyade zorunlu bir kayıt sistemi olarak algılamasına neden olmaktadır.

Benzer şekilde kalite ve dokümantasyon yönetimi amacıyla kullanılan QDMS türü sistemlerin de kullanıcı deneyimi açısından karmaşık bir yapıya sahip olduğu görülmektedir **[3]**. Bu sistemler doküman kontrolü ve denetim süreçleri için önemli olmakla birlikte, saha çalışanları açısından çok katmanlı menüler, yoğun form yapıları ve düşük kullanım sezgiselliği nedeniyle günlük iş akışlarına entegre edilmesi güç platformlar olarak değerlendirilmektedir. Özellikle üretim ve bakım gibi zaman baskısının yüksek olduğu ortamlarda, bu tür sistemlerin aktif kullanımının sınırlı kaldığı gözlemlenmektedir.

Her iki sistemin ortak bir diğer zayıf yönü ise mobil platformlara entegrasyon konusundaki yetersizlikleridir. Saha çalışanlarının büyük ölçüde mobil hareket hâlinde olduğu demir-çelik fabrikalarında, dijital uygulamalara tablet veya cep telefonu üzerinden hızlı erişim büyük önem taşımaktadır. Ancak mevcut kurumsal sistemlerin mobil kullanımda sınırlı işlevsellik sunması, kullanıcıların bu platformları masa başı işlemlerle sınırlı görmesine yol açmaktadır **[4]**.

Bu yapısal sınırlılıkların bir sonucu olarak, üretim tesislerinde birimlerin kendi ihtiyaçlarına yönelik özel dijital çözümler geliştirme isteği ortaya çıkmaktadır. Ancak bu noktada bilgi işlem birimlerinin iş yükü, kaynak kısıtları ve önceliklendirme sorunları nedeniyle, sahaya özgü ve hızlı geliştirilebilir çözümler üretilemediği görülmektedir. Bu durum, iş sağlığı ve güvenliği,

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

üretim takibi, personel yönetimi, bakım faaliyetleri ve kontrol listeleri gibi kritik süreçlerin Excel dosyaları veya birbirinden bağımsız farklı dijital platformlar üzerinden yürütülmesine neden olmaktadır.

Parçalı ve birbirinden kopuk bu yapı, bilgi bütünlüğünü zayıflatmakta, veri tekrarına yol açmakta ve yönetsel izlenebilirliği azaltmaktadır. Ayrıca farklı platformlarda tutulan verilerin merkezi bir yapıda analiz edilememesi, dijital dönüşümden beklenen stratejik faydaların elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda endüstride dijital dönüşümün önündeki temel sorunlardan biri, güçlü kurumsal sistemler ile saha gerçeklerine uygun, esnek ve bütünleşik dijital uygulamalar arasındaki uyumsuzluk olarak öne çıkmaktadır.

2.2 Teknoloji Kabul Modeli (TAM)

Teknoloji Kabul Modeli (Technology Acceptance Model – TAM), bireylerin yeni bir teknolojiyi kabul etme ve kullanma niyetlerini açıklamak amacıyla Davis (1989) tarafından geliştirilmiştir **[5]**. Model, özellikle bilgi sistemlerinin bireyler tarafından benimsenme süreçlerini açıklamada en yaygın kullanılan kuramsal çerçevelerden biri olarak kabul edilmektedir. TAM'a göre bir teknolojinin kullanıcılar tarafından benimsenmesinde belirleyici olan iki temel unsur, **algılanan fayda** ve **algılanan kullanım kolaylığı**dır.

Algılanan fayda, bireyin belirli bir teknolojinin iş performansını artıracağına dair inancını ifade etmektedir. İş ortamlarında kullanılan dijital sistemlerin, görevlerin daha hızlı, daha doğru veya daha verimli biçimde yerine getirilmesini sağlaması, kullanıcıların bu sistemlere yönelik olumlu tutum geliştirmesinde önemli rol oynamaktadır **[5]**. Özellikle üretim ve ağır sanayi ortamlarında yapılan çalışmalarda, algılanan faydanın teknoloji kabulü üzerinde en güçlü etkiye sahip değişkenlerden biri olduğu vurgulanmaktadır **[6]**.

Algılanan kullanım kolaylığı ise bireyin bir teknolojiyi kullanmanın ne derece zahmetsiz olduğunu algıladığını ifade etmektedir. Kullanımı kolay olarak algılanan sistemler, kullanıcıların öğrenme süresini kısaltmakta, hata yapma endişesini azaltmakta ve teknolojinin günlük iş akışlarına daha hızlı entegre edilmesini sağlamaktadır. Literatürde, sade arayüz yapıları, görsel destekler ve sezgisel ekran tasarımlarının algılanan kullanım kolaylığını artırdığı belirtilmektedir **[7]**.

TAM, algılanan kullanım kolaylığının yalnızca doğrudan kullanıcı tutumunu etkilemekle kalmadığını, aynı zamanda algılanan faydayı da dolaylı olarak artırdığını öne sürmektedir. Bir sistemin kullanımının kolay olması, kullanıcıların bu sistemden daha fazla fayda sağlayabileceğine yönelik algı geliştirmesine katkı sağlamaktadır. Bu durum, özellikle saha operasyonlarının yoğun olduğu üretim tesislerinde, karmaşık ve zaman baskısı altındaki çalışma koşulları göz önüne alındığında daha da önem kazanmaktadır.

Sonraki çalışmalarda model genişletilmiş ve organizasyonel bağlamın teknoloji kabulü üzerindeki etkileri daha ayrıntılı biçimde ele alınmıştır **[8]**. Venkatesh ve Bala (2008), yönetim desteği, teknik altyapı ve organizasyonel yönlendirmelerin, kullanıcı algıları üzerinde önemli rol oynadığını ortaya koymuştur. Üretim ortamlarında yapılan ampirik çalışmalar, mobil erişim

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

imkânı sunan, görsel olarak izlenebilir ve tek platformda bütünleşik dijital uygulamaların, kullanıcılar tarafından daha kolay benimsendiğini göstermektedir **[4].**

Bu çalışma kapsamında incelenen dijital yönetim uygulaması, TAM çerçevesinde özellikle **algılanan kullanım kolaylığı** ve **algılanan fayda** boyutlarıyla ilişkilendirilmektedir. Sade ve görsel arayüz yapısı, mobil erişime açık olması ve farklı operasyonel süreçleri tek bir platform altında bütünleştirmesi, kullanıcıların sistemi öğrenme ve kullanma sürecini kolaylaştırmakta; bu durum kullanıcı tutumunu ve davranışsal niyeti olumlu yönde etkilemektedir. Dolayısıyla Teknoloji Kabul Modeli, geliştirilen dijital uygulamanın çalışanlar tarafından benimsenmesini açıklamak için uygun ve güçlü bir kuramsal temel sunmaktadır.

2.3 Kurumsal Destek ve Teknoloji Benimseme

Kurumsal destek, dijital uygulamaların çalışanlar tarafından benimsenmesinde yalnızca teknik altyapının varlığını değil; yönetim yaklaşımını, organizasyonel sahiplenmeyi ve kullanıcıların ihtiyaçlarına verilen önemi de kapsayan çok boyutlu bir kavram olarak ele alınmaktadır. Teknoloji kabulüne ilişkin çalışmalarda, bireysel algıların yanı sıra organizasyonel faktörlerin de teknoloji kullanım niyeti üzerinde anlamlı etkiler yarattığı vurgulanmaktadır **[8]**.

Üretim ve ağır sanayi ortamlarında dijital uygulamaların benimsenmesi, çoğu zaman merkezi bilgi işlem birimlerinin kapasitesi ve öncelikleri ile doğrudan ilişkilidir. Standart kurumsal sistemlerin saha ihtiyaçlarına göre özelleştirilmesi, yüksek teknik bilgi, zaman ve iş gücü gerektirmektedir. Bu durum, birçok işletmede sahaya özgü dijital çözümlerin geliştirilememesine ve kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamayan sistemlerle çalışmak zorunda kalmasına yol açmaktadır. Kurumsal destek algısının zayıf olduğu ortamlarda, dijital uygulamalar çalışanlar tarafından “zorunlu sistemler” olarak algılanmakta ve gönüllü kullanım düzeyi düşük kalmaktadır.

Bu tür uygulamaların kurumsal düzeyde desteklenmesi, çalışanların dijital sistemleri geçici çözümler yerine kalıcı iş araçları olarak algılamasını kolaylaştırmaktadır. Bu dijital platform çalışmasında uygulamayı oluşturan yazar aynı zamanda ilgili birimin yöneticisi olması nedeniyle doğal bir yönetim desteği de oluşturmaktadır. Anket sonuçlarında kurumsal destek boyutunun anlamlı çıkması, dijital dönüşümün yalnızca teknik bir konu değil, aynı zamanda organizasyonel bir sahiplenme süreci olduğunu göstermektedir.

Dolayısıyla kurumsal destek, bu çalışmada Teknoloji Kabul Modeline eklenen ikincil bir teorik unsur olmaktan ziyade, dijital uygulamanın sahada neden kabul gördüğünü açıklayan tamamlayıcı bir değişken olarak değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım, çalışmanın teorik ağırlığını artırmadan, elde edilen ampirik bulguların daha bütüncül biçimde yorumlanmasına olanak tanımaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2.4 Literatürde Dijital Uygulamalara Yönelik Ampirik Çalışmalar

Literatürde dijital uygulamaların çalışanlar tarafından benimsenmesini inceleyen çok sayıda ampirik çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların önemli bir bölümü, Teknoloji Kabul Modeli (TAM) ve türevleri kullanılarak algılanan fayda, algılanan kullanım kolaylığı, tutum ve davranışsal niyet arasındaki ilişkileri analiz etmektedir. Özellikle bilgi teknolojileri, hizmet sektörü, sağlık hizmetleri, bankacılık ve kamu kurumları gibi ofis tabanlı çalışma ortamlarında gerçekleştirilen araştırmalarda, algılanan faydanın teknoloji kabulü üzerinde belirleyici bir rol oynadığı yaygın biçimde raporlanmıştır.

Bununla birlikte üretim ve ağır sanayi ortamlarında gerçekleştirilen ampirik çalışmaların sayısının görece sınırlı olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmaların büyük bir kısmı, üretim tesislerinde kullanılan belirli bir dijital sistemin (örneğin ERP, bakım yazılımları veya kalite modülleri) benimsenmesine odaklanmakta; saha operasyonlarının tamamını kapsayan bütünleşik dijital yönetim uygulamalarını ele almamaktadır. Ayrıca bu çalışmaların önemli bir bölümü, üretim planlama veya raporlama gibi ofis merkezli fonksiyonları incelemekte, doğrudan saha çalışanlarının günlük operasyonlarını konu alan dijital uygulamaları sınırlı ölçüde ele almaktadır.

Demir-çelik endüstrisi özelinde yapılan çalışmalar incelendiğinde, dijital dönüşümün çoğunlukla Endüstri 4.0, otomasyon, sensör teknolojileri veya üretim verimliliği ekseninde ele alındığı görülmektedir. Ancak bu çalışmalar, çalışanların kullandığı dijital uygulamaların benimsenme sürecini, kullanıcı algıları ve davranışsal niyetler çerçevesinde incelememektedir. Özellikle sıcak haddehaneler gibi karmaşık, üretim ve iş gücü yoğun ortamlarda, iş sağlığı ve güvenliği, bakım, personel yönetimi ve kontrol listeleri gibi saha süreçlerini kapsayan dijital uygulamaların çalışanlar tarafından nasıl algılandığına ilişkin ampirik bulguların sınırlı olduğu dikkat çekmektedir.

Bu bağlamda mevcut çalışma, demir-çelik endüstrisinde faaliyet gösteren bir sıcak haddehanede geliştirilen bütünleşik bir dijital yönetim uygulamasının çalışanlar tarafından benimsenmesini inceleyerek literatürdeki önemli bir boşluğu ele almaktadır. Çalışma, dijital dönüşümü yalnızca teknolojik altyapı veya otomasyon perspektifinden değil; saha çalışanlarının algıları, kullanım deneyimleri ve organizasyonel destek unsurları üzerinden değerlendirmektedir. Bu yönüyle çalışma, ağır sanayi ortamlarında dijital uygulamaların neden benimsenip benimsenmediğini açıklamaya yönelik ampirik katkı sunmaktadır.

3. ARAŞTIRMA MODELİ VE HİPOTEZLER

Bu çalışmada geliştirilen araştırma modeli, Teknoloji Kabul Modeli temel alınarak oluşturulmuştur. Modelde, dijital uygulamaların çalışanlar tarafından benimsenme sürecini açıklamak amacıyla algılanan kullanım kolaylığı, algılanan fayda, kullanıcı tutumu ve davranışsal niyet değişkenleri yer almaktadır. Ayrıca demir-çelik endüstrisinde dijital dönüşümün organizasyonel boyutunu yansıtmak amacıyla kurumsal destek değişkeni modele dâhil edilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Araştırma kapsamında kullanılan anket formu, söz konusu değişkenleri ölçmeye yönelik olarak yapılandırılmıştır. Algılanan kullanım kolaylığına ilişkin ifadeler, dijital uygulamanın kullanımının ne derece sade, anlaşılır ve zahmetsiz olarak algılandığını ölçmektedir. Algılanan fayda boyutu, dijital uygulamanın iş süreçlerine sağladığı katkıya ilişkin kullanıcı değerlendirmelerini içermektedir. Tutum değişkeni, kullanıcıların dijital uygulamalara yönelik genel değerlendirmesini yansıtırken; davranışsal niyet, kullanıcıların dijital uygulamayı gelecekte kullanma ve destekleme eğilimini ifade etmektedir. Kurumsal destek boyutu ise yönetim desteği, teknik altyapı ve organizasyonel yönlendirmelere ilişkin algıları ölçmektedir.

Teknoloji Kabul Modeline göre algılanan kullanım kolaylığı, hem algılanan fayda hem de kullanıcı tutumu üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Kullanımı kolay olarak algılanan dijital uygulamaların, kullanıcılar tarafından daha faydalı olarak değerlendirildiği ve bu durumun teknolojiye yönelik olumlu tutum geliştirilmesini desteklediği belirtilmektedir. Bu bağlamda, geliştirilen dijital yönetim uygulamasının sade, görsel ve mobil erişime açık yapısının, algılanan kullanım kolaylığı ve algılanan fayda üzerinde etkili olması beklenmektedir.

Algılanan faydanın ise kullanıcı tutumu üzerinde doğrudan etkili olduğu ve dijital uygulamanın benimsenmesinde merkezi bir rol oynadığı kabul edilmektedir. Olumlu tutum geliştiren kullanıcıların, dijital uygulamayı gelecekte kullanma ve destekleme niyetlerinin daha yüksek olması beklenmektedir. Bununla birlikte, organizasyonel düzeyde sağlanan kurumsal destek unsurlarının da kullanıcı algılarını ve davranışsal niyeti güçlendirdiği öngörülmektedir.

Kullanım kolaylığı → Fayda → Tutum → Niyet

Bu çerçevede araştırmada test edilen hipotezler aşağıda sunulmuştur:

H1: Algılanan kullanım kolaylığı, algılanan faydayı pozitif yönde etkiler.

Bu çalışmada incelenen dijital yönetim platformunun sade arayüz yapısı, mobil erişim imkânı ve farklı operasyonel süreçleri tek bir platform altında bütünleştirmesi, kullanıcıların sistemi kolay öğrenmesini ve kullanmasını sağlamaktadır. Kullanımın kolay algılanması, kullanıcıların sistemin iş süreçlerine sağladığı katkıyı daha yüksek değerlendirmesine yol açmaktadır.

H2: Algılanan kullanım kolaylığı, kullanıcı tutumunu pozitif yönde etkiler.

Dijital platformun kullanıcı dostu ve görsel yapısı, çalışanların sistemle etkileşiminde hata yapma kaygısını azaltmakta ve öğrenme sürecini kısaltmaktadır. Bu durum, kullanıcıların dijital uygulamaya yönelik genel tutumlarının olumlu yönde şekillenmesine katkı sağlamaktadır.

H3: Algılanan fayda, kullanıcı tutumunu pozitif yönde etkiler.

Platformun iş takibi, izlenebilirlik ve operasyonel düzen sağlaması, kullanıcıların dijital uygulamayı günlük iş akışlarına somut katkı sunan bir araç olarak değerlendirmesine neden olmaktadır. Algılanan bu fayda, kullanıcıların uygulamaya yönelik tutumlarını olumlu yönde etkilemektedir.

H4: Kullanıcı tutumu, davranışsal niyeti pozitif yönde etkiler.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Dijital platforma yönelik olumlu tutum geliştiren kullanıcıların, uygulamayı kullanmaya devam etme ve destekleme eğilimlerinin daha yüksek olması beklenmektedir. Bu bağlamda tutum, davranışsal niyetin temel belirleyicilerinden biri olarak ele alınmaktadır.

H5: Kurumsal destek algısı, algılanan faydayı pozitif yönde etkiler.

Dijital yönetim platformunun yönetim tarafından desteklenmesi ve saha ihtiyaçlarına göre geliştirilmeye devam edilmesi, kullanıcıların uygulamayı daha anlamlı ve faydalı bir araç olarak algılamasına katkı sağlamaktadır. Kurumsal sahiplenme algısı, sistemin iş süreçlerine olan katkısının daha görünür hâle gelmesini sağlamaktadır.

H6: Kurumsal destek algısı, davranışsal niyeti pozitif yönde etkiler.

Yönetim desteğinin varlığı, dijital platformun sürekliliğine ilişkin güven oluşturmakta ve kullanıcıların uygulamayı gelecekte de kullanma niyetlerini güçlendirmektedir. Bu durum, kurumsal desteğin davranışsal niyet üzerindeki etkisini açıklamaktadır.

4. METODOLOJİ

4.1 Araştırma Tasarımı

Bu çalışma, nicel araştırma yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, kesitsel bir araştırma tasarımına sahiptir. Araştırmanın amacı, demir-çelik endüstrisinde geliştirilen bütünleşik bir dijital yönetim uygulamasının çalışanlar tarafından benimsenmesini etkileyen faktörleri incelemektir. Bu kapsamda araştırma, Teknoloji Kabul Modeli (TAM) temel alınarak yapılandırılmış ve modele kurumsal destek değişkeni dâhil edilmiştir.

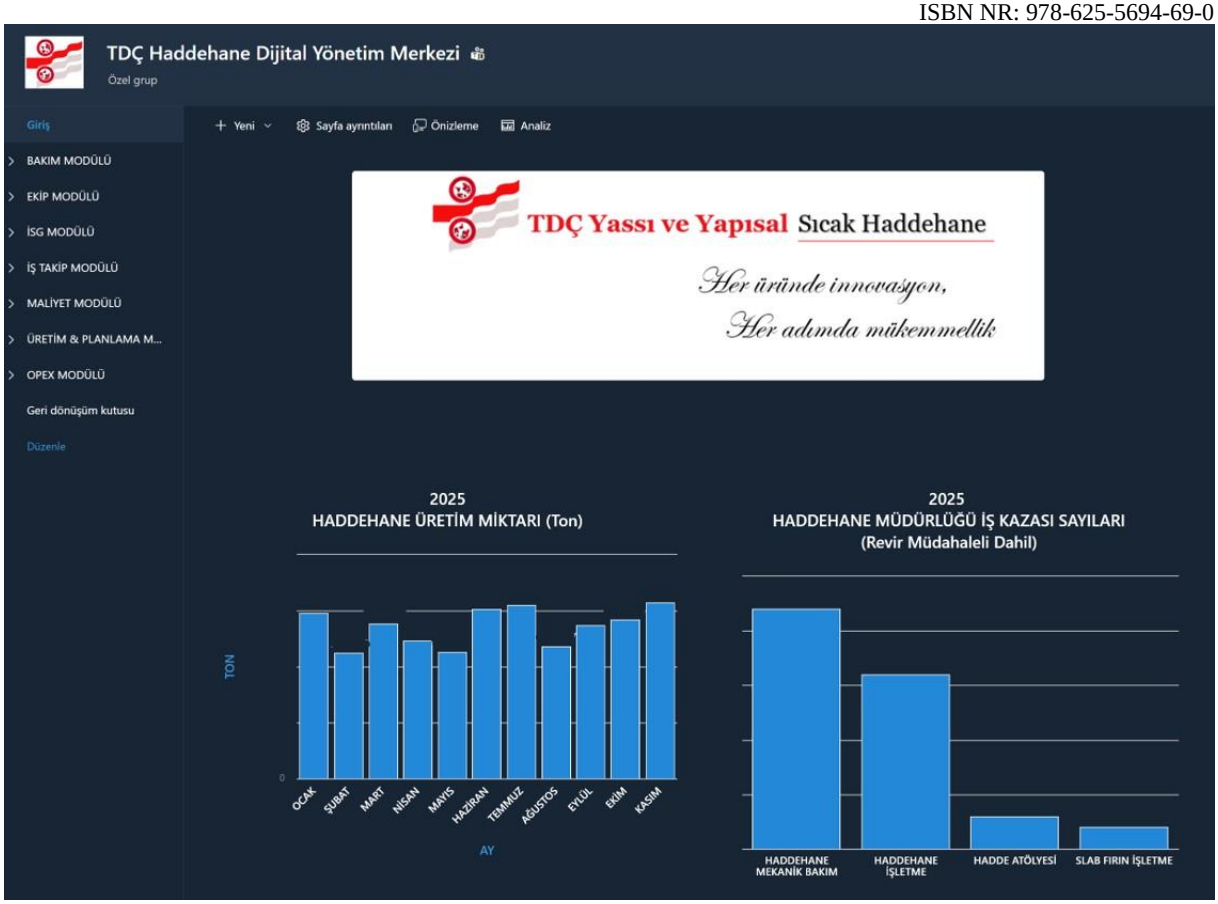
Araştırma, saha operasyonlarının yoğun olduğu bir sıcak haddehanede yürütülmüş olup, dijital dönüşümün ağır sanayi ortamlarındaki kullanıcı kabulüne ilişkin ampirik bulgular sunmayı hedeflemektedir. Çalışma, mevcut dijital uygulamaların neden yeterince benimsenmediğini ve geliştirilen yeni dijital platformun bu sorunlara nasıl yanıt verdiğini kullanıcı algıları üzerinden değerlendirmektedir.

4.2 Araştırma Bağlamı: Dijital Yönetim Merkezi

Araştırmanın uygulama bağlamını, demir-çelik endüstrisinde faaliyet gösteren bir sıcak haddehanede geliştirilen bütünleşik bir **Dijital Yönetim Merkezi** oluşturmaktadır. Söz konusu uygulama, saha operasyonlarında görev yapan çalışanların günlük iş akışları dikkate alınarak tasarlanmış olup, merkezi kurumsal sistemlerin (örneğin ERP ve kalite yönetim sistemleri) saha ihtiyaçlarına yeterli esnekliği sağlayamaması problemine çözüm üretmeyi amaçlamaktadır.

Dijital Yönetim Merkezi, kullanım kolaylığı, görsel yapı ve mobil erişim ilkeleri temel alınarak geliştirilmiştir. Sistem, farklı operasyonel süreçleri tek bir dijital platform altında bütünleştirerek, kullanıcıların birden fazla sistem veya Excel tabanlı çözümler arasında geçiş yapma ihtiyacını ortadan kaldırmayı hedeflemektedir. Bu yönüyle uygulama, saha çalışanlarının dijital sistemlerle etkileşimini artırmaya yönelik kullanıcı odaklı bir yaklaşım sunmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 1. Dijital Yönetim Merkezi

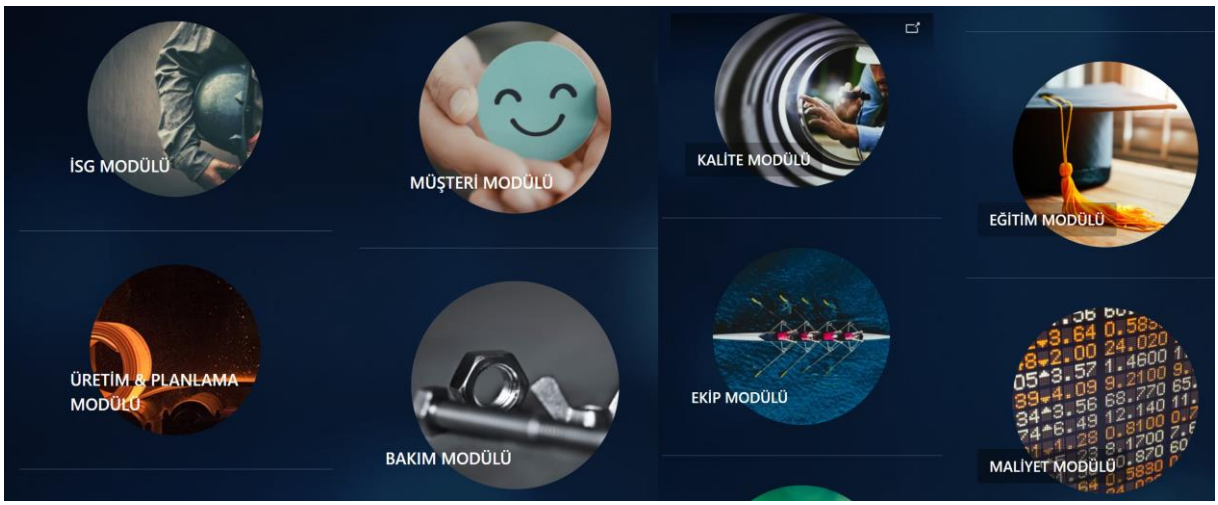
4.3 Dijital Yönetim Merkezinin Yapısı ve İçerdiği Modüller

Dijital Yönetim Merkezi, sıcak haddehane operasyonlarında yer alan farklı fonksiyonel alanlara yönelik modüllerden oluşmaktadır. Sistem kapsamında yer alan başlıca modüller aşağıda sunulmuştur:

- **İş Sağlığı ve Güvenliği Modülü(İSG):** Saha gözlemleri, risk bildirimleri, uygunsuzluk kayıtları ve takip süreçleri, sarı kart uygulamaları, MSDS dökümanlarını içermektedir.
- **Bakım Yönetimi Modülü:** Arıza bildirimleri, bakım kayıtları ve ekipman değişim takibi, periyodik kontroller (checklist) formları içermektedir.
- **Üretim & Planlama Modülü:** Bakım planları, hedef ve gerçekleşen üretim hedefleri, hurda analizleri ve iş talimatlarını içermektedir.
- **Ekip (Personel) Modülü:** Resimli personel listesi ve dataları, ayrılan personel listesi, nöbet listesi, raporlu personel, norm kadro vb. bilgiler içermektedir.
- **Maliyet Modülü:** İyileştirme listeleri, fazla mesailer, enerji tüketimleri, bütçe raporları ve bazı maliyet tablanlı raporları içermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

- **Eğitim Modülü:** Görsellerle ve anlatım videolarıyla desteklenmiş teknik ve genel eğitimler ve katılım listelerini kapsamaktadır..
- **Kalite Modülü:** Kalite tanımları, kullanılan kaliteler ve özellikleri, kalite kusurları vb. içeriklere yer vermektedir.
- **Müşteri Modlülü:** Görsellerle desteklenmiş dış ve iç müşteri şikayetlerini içermektedir.
- **İş Takip Modülü:** Haddehane Müdürlüğü ve bağlı şefliklerin mühendis ve formen iş takiplerini, iş atamalarını, spesifik iş özelinde yapılan yorum ve konuşmaları içermektedir.

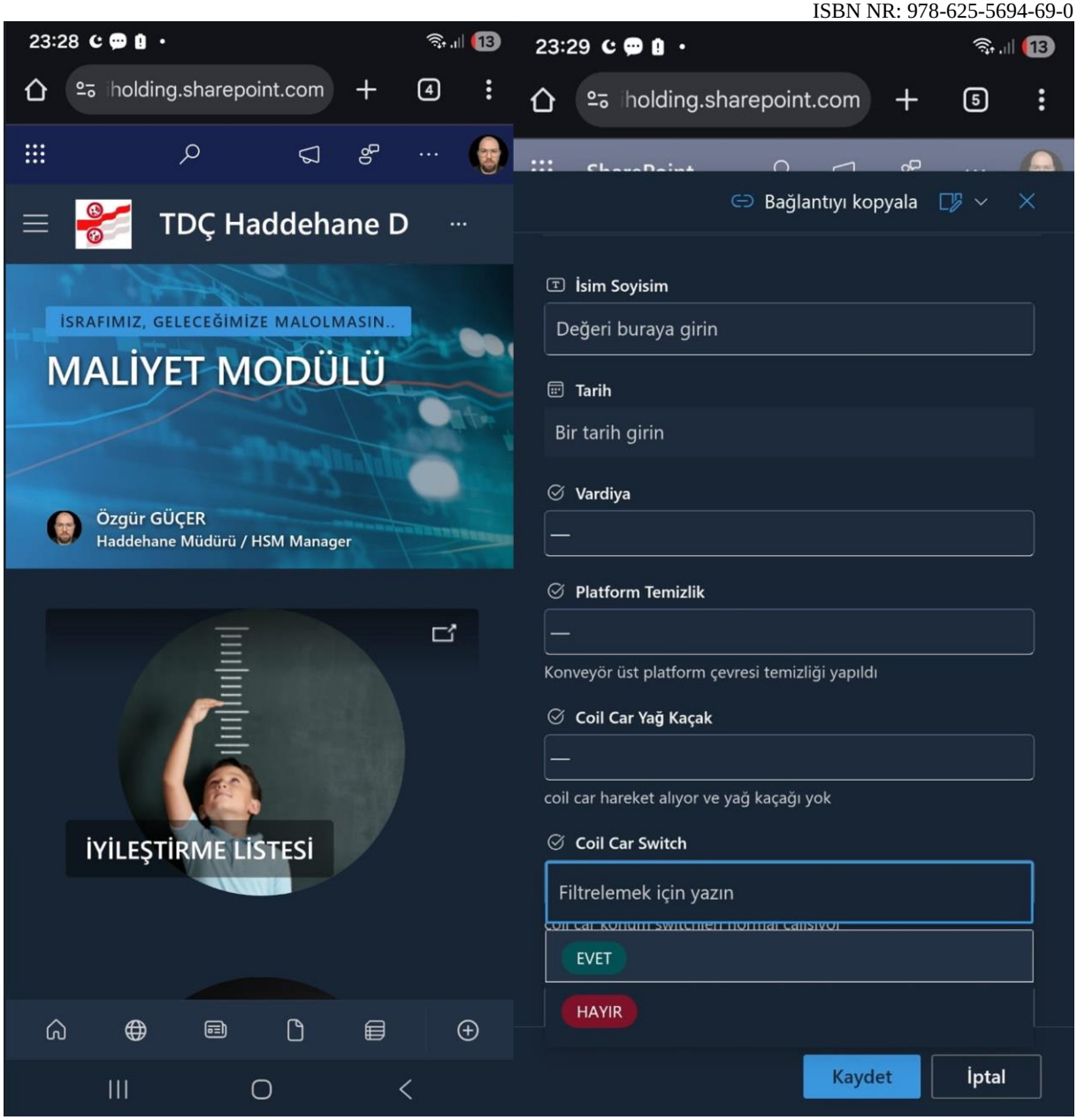


Görsel 2. Dijital Yönetim Merkezi Modüller

Bu modüller, kullanım kolaylığı, görsel bütünlük, öznel ihtiyaç ve mobil erişim ilkeleri doğrultusunda tasarlanmıştır.

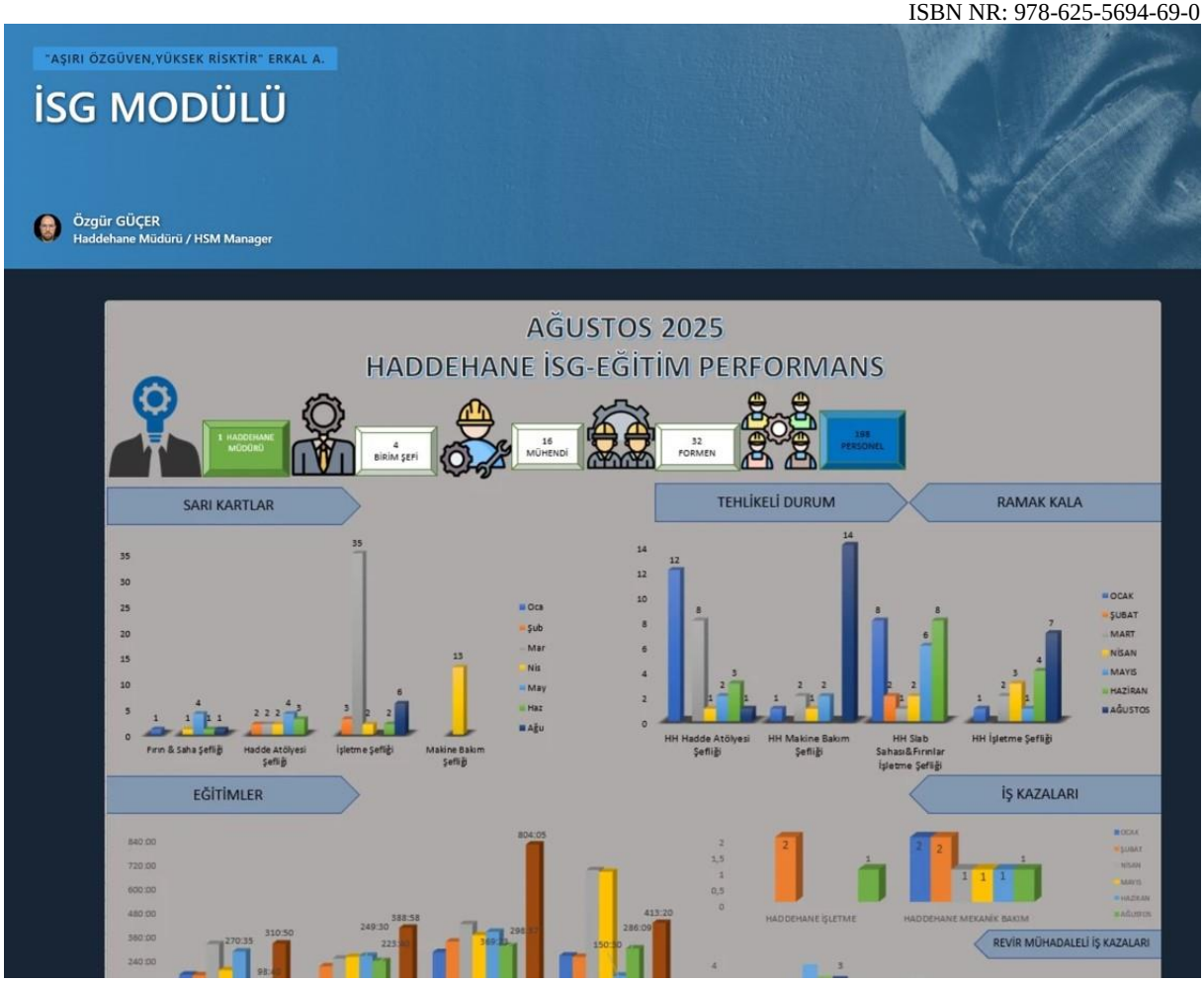
Dijital Yönetim Merkezinin kullanıcı deneyimine yönelik tasarım yaklaşımı ve modül yapısı, aşağıda sunulan ekran örnekleri ile görselleştirilmiştir. Bu ekranlar, araştırma modelinde yer alan hipotezlerin dayandığı kullanım kolaylığı, algılanan fayda, kullanıcı tutumu ve kurumsal destek mekanizmalarını somut biçimde göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 3. Mobil Arayüz/ Basit Data Giriş (Form) Örneği, Checklist

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



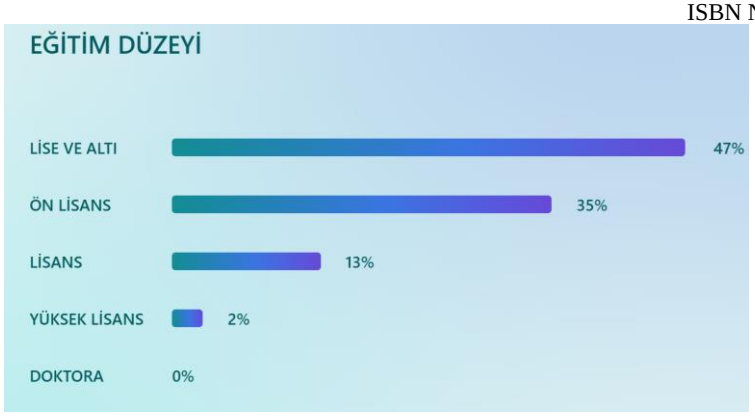
Görsel 5. Bilgilendirici Otomatik Raporlar (İSG Modülü)

4.4 Evren ve Örneklem

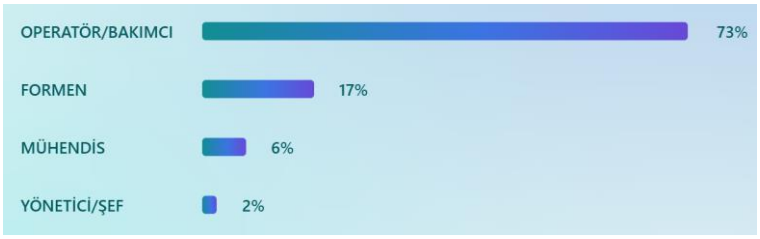
Araştırmanın evrenini, incelenen sıcak haddehanede görev yapan çalışanlar oluşturmaktadır. Örneklem, dijital yönetim uygulamasını aktif olarak kullanan veya kullanımına aşina olan çalışanlardan, gönüllülük esasına göre belirlenmiştir. Araştırmaya üretim, bakım, iş sağlığı ve güvenliği ve destek birimlerinde görev yapan çalışanlar dâhil edilmiştir.

Bu yaklaşım, dijital uygulamanın farklı fonksiyonel alanlardaki kullanıcılar tarafından nasıl algılandığını karşılaştırmalı biçimde değerlendirmeye olanak sağlamaktadır. Aşağıdaki görsellerde katılımcı yapısına ilişkin değerler bulunmaktadır.

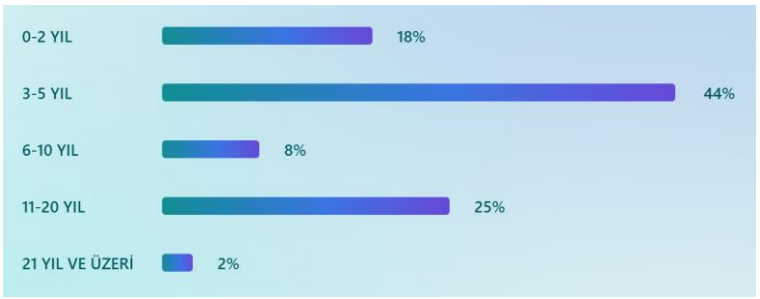
ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 6. Katılımcı Eğitim Düzeyi



Görsel 7. Katılımcı Ünvan



Görsel 8. Katılımcı Tecrübe

4.5 Veri Toplama Aracı

Araştırmada veri toplama aracı olarak yapılandırılmış bir anket formu kullanılmıştır. Anket formu, Teknoloji Kabul Modeli temel alınarak geliştirilmiş olup, aşağıdaki değişkenleri ölçmeye yönelik ifadeler içermektedir:

- Algılanan kullanım kolaylığı
- Algılanan fayda
- Kullanıcı tutumu
- Davranışsal niyet
- Kurumsal destek

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Tüm ifadeler, 5'li Likert ölçeği (1=Kesinlikle katılmıyorum, 5=Kesinlikle katılıyorum) kullanılarak ölçülmüştür. Anket formunda ayrıca katılımcıların demografik özelliklerine ilişkin sınırlı sayıda soru yer almaktadır.

4.6 Veri Analizi Yöntemi

Toplanan veriler, istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Öncelikle ölçeklerin iç tutarlılığını değerlendirmek amacıyla güvenilirlik analizleri gerçekleştirilmiş ve Cronbach's Alpha katsayıları hesaplanmıştır. Ardından değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler (ortalama ve standart sapma) incelenmiştir.

Araştırma modelinde yer alan hipotezlerin test edilmesi amacıyla değişkenler arasındaki ilişkilerin analizine yer verilmemiş, algılanan kullanım kolaylığı, algılanan fayda, tutum, davranışsal niyet ve kurumsal destek kavramları anket özelindeki verilere dayanarak incelenmiştir.

4.7 Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu çalışma, tek bir demir-çelik tesisinde gerçekleştirilmiş olup, elde edilen bulguların tüm sektör geneline genellenmesi sınırlıdır. Ayrıca veriler, belirli bir zaman diliminde toplanmış olup, kullanıcı algılarının zaman içerisindeki değişimini yansıtmamaktadır. Bununla birlikte çalışma, ağır sanayi ortamlarında dijital uygulamaların kullanıcı kabulüne ilişkin önemli ampirik bulgular sunmaktadır.

5. BULGULAR

Bu bölümde, araştırma kapsamında uygulanan anketten elde edilen bulgular sunulmaktadır. Bulgular; ölçeklerin güvenilirliği, tanımlayıcı istatistikler ve araştırma modelinde yer alan değişkenlere ilişkin genel değerlendirmeler çerçevesinde ele alınmıştır. Hipotezlere ilişkin ayrıntılı yorumlar, hipotezler arasındaki ilişki bağlamları detayına girilmemiştir.

5.1 Ölçeklerin Güvenilirlik Analizi

Araştırmada kullanılan anket formunda yer alan ölçeklerin iç tutarlılığını değerlendirmek amacıyla Cronbach's Alpha katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen değerler, tüm ölçeklerin güvenilirlik açısından kabul edilebilir sınırların üzerinde olduğunu göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Çizelge 1. Ölçeklere Ait Güvenilirlik Analizi Sonuçları

Değişken	Madde Sayısı	Cronbach's α
Algılanan Kullanım Kolaylığı	4	0,83
Algılanan Fayda	4	0,88
Tutum	3	0,82
Davranışsal Niyet	3	0,81
Kurumsal Destek	4	0,77

Çizelge 1 incelendiğinde, tüm ölçeklerin Cronbach's Alpha değerlerinin 0,70'in üzerinde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, ölçeklerin araştırma kapsamında güvenilir biçimde kullanılabileceğini göstermektedir.

5.2 Tanımlayıcı İstatistikler

Katılımcıların dijital yönetim uygulamasına ilişkin algılarını ortaya koymak amacıyla değişkenlere ait ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Değişkenlere Ait Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Ortalama	Std. Sapma
Algılanan Kullanım Kolaylığı	4,22	0,61
Algılanan Fayda	4,41	0,58
Tutum	4,31	0,63
Davranışsal Niyet	4,28	0,66
Kurumsal Destek	3,89	0,71

Çizelge 2'de görüldüğü üzere, tüm değişkenlere ait ortalama değerler 5'li Likert ölçeğinde yüksek düzeydedir. Algılanan fayda değişkeninin en yüksek ortalamaya sahip olması, katılımcıların dijital yönetim uygulamasını iş süreçlerine somut katkı sağlayan bir araç olarak değerlendirdiğini göstermektedir. Algılanan kullanım kolaylığına ilişkin ortalama değerin yüksek olması ise uygulamanın sade, görsel ve mobil erişime açık yapısının kullanıcılar tarafından olumlu algılandığına işaret etmektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Kurumsal destek değişkeninin ortalamasının diğer değişkenlere kıyasla görece daha düşük olması, dijital dönüşüm sürecinin organizasyonel boyutuna ilişkin algıların teknik boyutlara kıyasla daha temkinli değerlendirildiğini göstermektedir.

5.3 Anket Maddelerine İlişkin Genel Bulgular

Algılanan kullanım kolaylığı boyutuna ilişkin maddelerde, katılımcıların büyük çoğunluğunun dijital yönetim uygulamasını öğrenmesi ve kullanması kolay bir sistem olarak değerlendirdiği görülmüştür. Özellikle uygulamanın mobil erişime açık olması ve farklı süreçleri tek bir platform altında toplaması, kullanıcılar tarafından olumlu algılanmıştır.

Algılanan fayda boyutunda yer alan maddeler, dijital uygulamanın iş takibi, izlenebilirlik ve günlük operasyonların yönetimine katkı sağladığını göstermektedir. Katılımcılar, uygulamanın iş süreçlerini daha düzenli ve kontrol edilebilir hâle getirdiğini belirtmiştir.

Tutum ve davranışsal niyet boyutlarına ilişkin bulgular, kullanıcıların dijital yönetim uygulamasına yönelik genel değerlendirmelerinin olumlu olduğunu ve uygulamayı kullanmaya devam etme eğilimlerinin yüksek olduğunu göstermektedir. Kurumsal destek boyutunda ise yönetim yaklaşımı ve organizasyonel yönlendirmelere ilişkin algıların, teknik özelliklere kıyasla daha farklılaştığı görülmüştür.

5.4 Bulguların Araştırma Modeli ile İlişkisi

Elde edilen tanımlayıcı istatistikler ve güvenilirlik analizleri, araştırma modelinde yer alan değişkenlerin ölçülmesinde kullanılan anket formunun uygunluğunu ve verilerin analiz için elverişli olduğunu göstermektedir. Algılanan kullanım kolaylığı ve algılanan faydaya ilişkin yüksek ortalamalar, geliştirilen dijital yönetim uygulamasının kullanıcılar tarafından genel olarak olumlu değerlendirildiğine işaret etmektedir.

Anket sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi, izleyen bölümde tartışma ve sonuçlar başlığı altında ele alınacaktır.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, demir-çelik endüstrisinde geliştirilen bütünleşik bir dijital yönetim uygulamasının çalışanlar tarafından benimsenmesi, Teknoloji Kabul Modeli çerçevesinde değerlendirilmiştir. Tartışma ve sonuçlar, çalışmada elde edilen **sayısal bulgular** temel alınarak ele alınmıştır.

Anket sonuçları incelendiğinde, **algılanan fayda** değişkeninin **4,41** ortalama ile tüm değişkenler arasında en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Bu bulgu, geliştirilen dijital yönetim uygulamasının çalışanlar tarafından doğrudan iş süreçlerine katkı sağlayan bir araç olarak algılandığını göstermektedir. Özellikle iş takibi, izlenebilirlik ve operasyonel düzenin sağlanmasına yönelik katkılar, uygulamanın benimsenmesinde belirleyici olmuştur.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Algılanan kullanım kolaylığı değişkenine ait ortalama değerin **4,22** olması, uygulamanın sade, görsel ve mobil erişime açık yapısının kullanıcılar tarafından açık biçimde olumlu değerlendirildiğini göstermektedir. Bu sonuç, sahada kullanılan geleneksel kurumsal sistemlerin (SAP ve QDMS) karmaşık yapıları ve mobil kullanımda sınırlı kalmalarına kıyasla, geliştirilen dijital uygulamanın neden daha yüksek kabul gördüğünü açıklamaktadır.

Tutum (4,31) ve **davranışsal niyet (4,28)** değişkenlerine ait yüksek ortalama değerler, kullanıcıların dijital yönetim uygulamasına yönelik genel değerlendirmelerinin olumlu olduğunu ve uygulamayı kullanmaya devam etme eğilimlerinin güçlü olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgu, algılanan kullanım kolaylığı ve algılanan faydanın, kullanıcı tutumu ve davranışsal niyet üzerinde beklenen yönde etkili olduğunu göstermektedir.

Buna karşılık, **kurumsal destek** değişkeninin ortalamasının **3,89** ile diğer değişkenlere kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, dijital yönetim uygulamasının kullanıcılar tarafından benimsenmesine rağmen, organizasyonel düzeyde dijital dönüşümün henüz aynı ölçüde güçlü algılanmadığını göstermektedir. Özellikle saha birimlerine özgü dijital çözümlerin geliştirilmesinde bilgi işlem kaynaklarının sınırlı olması ve mevcut kurumsal sistemlerin esneklik eksikliği, bu algının oluşmasında etkili olmuştur.

Güvenilirlik analizleri, tüm ölçeklerin **0,77 ile 0,88** arasında değişen Cronbach's Alpha değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, elde edilen bulguların istatistiksel açıdan güvenilir olduğunu ve anket formunun dijital uygulamanın benimsenmesini ölçmede uygun bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak çalışmanın sayısal bulguları, demir-çelik endüstrisinde dijital uygulamaların benimsenmesinde **kullanım kolaylığı, algılanan fayda ve mobil erişim** gibi kullanıcı deneyimine dayalı unsurların, geleneksel ve merkezi kurumsal sistemlere kıyasla daha belirleyici olduğunu göstermektedir. Geliştirilen Dijital Yönetim Merkezi, SAP ve QDMS gibi sistemlerin saha kullanımındaki sınırlılıklarını tamamlayıcı bir yapı sunarak, farklı operasyonel süreçlerin tek bir platform altında etkin biçimde yönetilmesine olanak sağlamıştır.

Bu çalışma, demir-çelik sektöründe saha odaklı dijital uygulamaların kullanıcı kabulüne ilişkin **sayısal ve doğrudan bulgular** sunmakta; dijital dönüşüm projelerinde teknik altyapının yanı sıra kullanıcı deneyiminin ve organizasyonel desteğin önemini açık biçimde ortaya koymaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KAYNAKÇA

[1] Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D. ve Buckley, N., *Strategy, not technology, drives digital transformation*, MIT Sloan Management Review, Cilt 56, Sayı 1, ss. 1–25, 2015.

[2] Laudon, K. C. ve Laudon, J. P., *Management Information Systems: Managing the Digital Firm*, 16. Baskı, Pearson Education, New Jersey, 2020.

[3] Strong, D. M. ve Volkoff, O., *Understanding organization–enterprise system fit: A path to theorizing the information technology artifact*, MIS Quarterly, Cilt 34, Sayı 4, ss. 731–756, 2010.

[4] Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B. ve Davis, F. D., *User acceptance of information technology: Toward a unified view*, MIS Quarterly, Cilt 27, Sayı 3, ss. 425–478, 2003.

[5] Davis, F. D., *Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology*, MIS Quarterly, Cilt 13, Sayı 3, ss. 319–340, 1989.

[6] Venkatesh, V. ve Davis, F. D., *A theoretical extension of the Technology Acceptance Model: Four longitudinal field studies*, Management Science, Cilt 46, Sayı 2, ss. 186–204, 2000.

[7] Davis, F. D., Bagozzi, R. P. ve Warshaw, P. R., *User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models*, Management Science, Cilt 35, Sayı 8, ss. 982–1003, 1989.

[8] Venkatesh, V. ve Bala, H., *Technology Acceptance Model 3 and a research agenda on interventions*, Decision Sciences, Cilt 39, Sayı 2, ss. 273–315, 2008.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

HAVAYOLU SADAKAT PROGRAMLARINDA OYUNLAŞTIRMANIN YOLCU DAVRANIŞLARI VE GELİR YÖNETİMİNE ETKİSİ

Melek Rabia AKTAŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi, melekturel96@gmail.com – 0000-0003-3851-2864
Doç. Dr. Bahadır GÜLSÜN
Yıldız Teknik Üniversitesi, bahadir@yildiz.edu.tr - 0000-0003-2660-8041

ÖZET

Havayolu sektöründe artan rekabet ve değişen yolcu beklentileri, işletmeleri müşteri sadakati, müşteri deneyimi ve gelir yönetimi performansını güçlendirecek yeni yaklaşımlar geliştirmeye yöneltmektedir. Bu bağlamda sadakat programları önemli bir stratejik araç olarak değerlendirilmektedir; ancak geleneksel sadakat programlarının puan toplama ve ödül yapılarının özellikle yeni nesil kullanıcılar açısından sınırlı bir motivasyon sağladığı görülmektedir. Son yıllarda önem kazanmaya başlayan oyunlaştırma kavramı, kişiselleştirilmiş deneyim sunmak, müşteri etkileşimini ve bağlılığını artırmak amacıyla çeşitli alanlarda uygulanmaya başlamıştır. Oyunlaştırma aynı zamanda sadakat programlarını da daha dinamik, katılımcı ve kullanıcı merkezli hale getirmektedir. Rozet, seviye, görev tamamlama, ödül bileşenleri gibi oyunlaştırma unsurlarının hizmet süreçlerine entegre edilmesiyle kullanıcıların programa yönelik ilgisi artmakta, etkileşim sıklığı yükselmekte ve davranışsal bağlılığı güçlenmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, havayolu sadakat programlarında kullanılan oyunlaştırma unsurlarının yolcuların etkileşim düzeyi, duygusal ve davranışsal sadakat eğilimleri ile gelir yönetimi açısından kritik öneme sahip satın alma niyetleri üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu kapsamda geliştirilen araştırma modeli doğrultusunda oyunlaştırma algısı ile kullanıcı etkileşimi, sadakat ve gelir odaklı davranış göstergeleri arasındaki ilişkiler hipotezler doğrultusunda ele alınmaktadır. Çalışmada veri toplama aracı olarak anket yöntemi kullanılmakta olup veri toplama süreci devam etmektedir. Elde edilecek veriler istatistiksel analiz yöntemleri ile değerlendirilecek ve hipotezler test edilecektir. Çalışmanın, havayolu sadakat programlarının yalnızca pazarlama aracı değil; gelir yönetimi, müşteri deneyimi ve rekabet stratejilerinin bütüncül bir bileşeni olarak ele alınmasına katkı sağlaması

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

beklenmektedir. Ayrıca oyunlaştırmanın yolcu davranışı ve gelir yönetimi performansına etkilerine ilişkin bulguların sektör uygulayıcılarına yol gösterici olması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gelir Yönetimi, Sadakat Programları, Oyunlaştırma, Tüketici Davranışı

THE IMPACT OF GAMIFICATION IN AIRLINE LOYALTY PROGRAMS ON PASSENGER BEHAVIOR AND REVENUE MANAGEMENT

Master Student, Melek Rabia AKTAŞ
Yıldız Technical University, melekturel96@gmail.com – 0000-0003-3851-2864

ABSTRACT

Increasing competition in the airline industry and evolving passenger expectations driving airlines to develop new approaches to strengthen customer loyalty, enhance customer experience, and improve revenue management performance. In this context, loyalty programs are considered an important strategic tool; however, the traditional point-earning and reward-oriented structures of loyalty programs do not always provide sufficient motivation, particularly for new-generation users. In recent years, the concept of gamification has gained prominence and has begun to be applied in various fields with the aim of offering personalized experiences, increasing customer engagement, and strengthening loyalty. By integrating gamification elements such as badges, levels, task completion and reward mechanisms into service processes, loyalty programs become more dynamic, participatory and user-centered, while users' interest in the program increases, interaction frequency rises, and behavioral commitment is reinforced.

The main purpose of this study is to examine the effects of gamification elements used in airline loyalty programs on passengers' engagement levels, emotional and behavioral loyalty tendencies, and purchase intentions, which are critically important from a revenue management perspective. Within the framework of the proposed research model, the relationships between gamification perception, user engagement, loyalty indicators and revenue-oriented behavioral intentions are addressed through defined hypotheses. A questionnaire method is employed as the data collection tool, and the data collection process is currently ongoing. The obtained data will be analyzed using statistical analysis techniques, and the hypotheses will be tested. The study is expected to contribute to the literature by emphasizing that airline loyalty programs should be evaluated not only as a marketing tool, but also as an integrated component of revenue

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

management, customer experience and competitive strategies. Furthermore, the findings are anticipated to provide practical insights for sector practitioners regarding the impact of gamification on passenger behavior and revenue performance.

Keywords: Gamification, Loyalty Programs, Airline Industry, Passenger Behavior, Revenue Management.

1. GİRİŞ

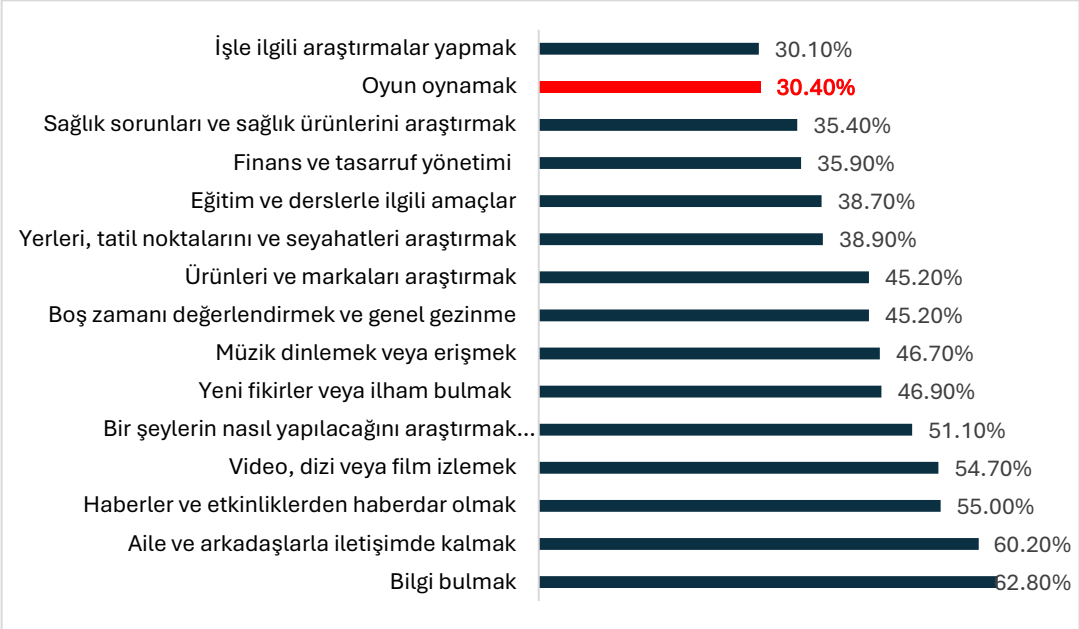
Küresel ölçekte hızla artan rekabet, kapasitenin sınırlı olduğu havayolu sektöründe işletmeleri hem maliyetleri optimize etmeye hem de gelir yaratma süreçlerini daha etkin yönetmeye zorlamaktadır. Yolcu taleplerinin değişkenliği, pazarda artan hizmet çeşitliliği ve dijital kanalların yaygınlaşması, havayollarının yalnızca operasyonel verimlilikle değil, aynı zamanda yolcu davranışlarını anlayan ve yönlendiren stratejiler geliştirmesini zorunlu kılmaktadır. Değişen yolcu profili; esneklik, kişiselleştirilmiş hizmet ve kesintisiz dijital deneyim beklentilerini ön plana çıkarmaktadır (Bulşu, 2024; CarTrawler & IdeaWorksCompany, 2022; IATA, 2025).

Bu ortamda sadakat programları, müşteri ilişkileri yönetiminin (CRM) önemli bir bileşeni olarak havayolu işletmelerine hem müşteri bağlılığını artırma hem de uzun vadeli gelir istikrarı sağlama imkânı sunmaktadır. Sadakat programları; mil veya puan kazanma, statü seviyeleri, ayrıcalıklı hizmetler ve iş ortaklıkları aracılığıyla yolcuyu markaya yeniden yönlendiren ve tekrar satın alma davranışını destekleyen stratejik araçlar olarak kabul edilmektedir (Uncular, 2016; Hoszman, Marciszewska & Zagrajek, 2019). Bu programlar aynı zamanda müşteri verilerinin toplanması, segmentasyon ve fiyatlandırma kararlarında kullanılması açısından gelir yönetimi süreçlerine doğrudan girdi sağlamaktadır.

Bununla birlikte geleneksel sadakat programlarının büyük ölçüde puan toplama ve belirli bir eşiğe ulaşıldığında ödül kazanma mantığına dayanması, özellikle dijitalleşme ile büyüyen yeni nesil kullanıcılar için her zaman yeterli motivasyon yaratmamaktadır. Literatürde sadakat programı üyelerinin daha sık ve çeşitli alışveriş davranışları sergilediği, ancak etkileşim ve iletişim boyutu zayıf kaldığında programın etkisinin sınırlanabildiği vurgulanmaktadır (Öztekin, 2019; Zhang & Liu-Thompkins, 2024). Dolayısıyla yalnızca puan–ödül kurgusuna dayalı pasif sadakat yapıları, güncel rekabet ve kullanıcı beklentileri karşısında yetersiz kalabilmektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Oyunlaştırma (gamification) kavramı, hizmet ve pazarlama süreçlerinin yeniden tasarlanmasında öne çıkan yaklaşımlardan biri haline gelmiştir. Oyunlaştırma; puan, rozet, seviye, görev tamamlama, liderlik tabloları ve rekabet unsurları gibi oyun dinamiklerinin oyun dışı bağlamlara uyarlanması yoluyla kullanıcı motivasyonunu ve etkileşimini artırmayı hedeflemektedir (Morrison, 2015). Günümüz dijital dünyasında bireylerin önemli bir kısmının interneti oyun ve eğlence amaçlı kullanması, oyunlaştırmanın davranış değiştirme ve kullanıcı motivasyonu sağlamada neden güçlü bir araç olduğunu açıkça göstermektedir. DataReportal 2025 verilerine göre dünya nüfusunun önemli bir bölümü dijital oyun deneyimine sahiptir ve internet kullanıcılarının kayda değer bir kısmı interneti oyun amaçlı kullanmaktadır. Bu durum, oyunlaştırmanın yalnızca teorik bir kavram değil, kullanıcıların günlük dijital alışkanlıklarıyla örtüşen bir davranış dinamiği olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada söz konusu durumu görsel olarak desteklemek amacıyla internet kullanım amaçlarına ilişkin dağılım Görsel 1'de sunulmuştur.

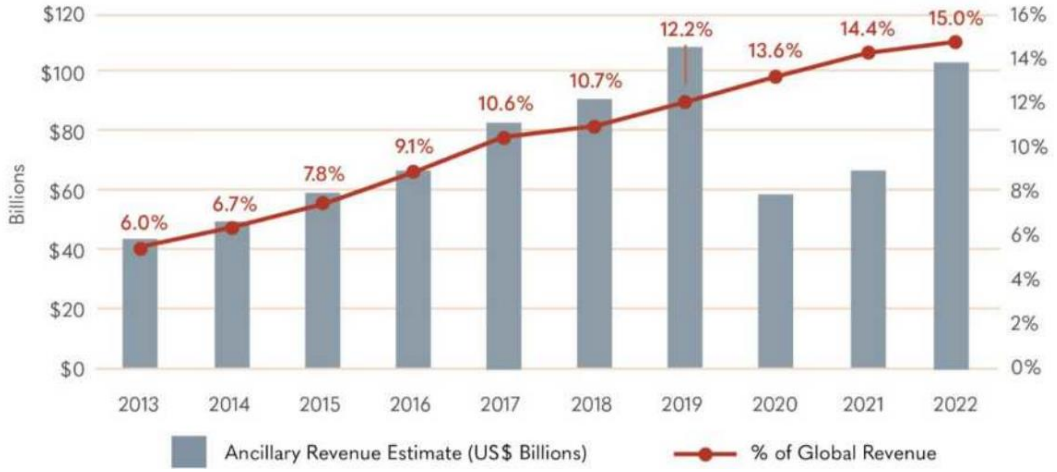


Görsel 1. İnternet Kullanım Amaçları (DataReportal (2025) verilerinden derlenmiştir.)

İnternet kullanım amaçlarına ilişkin veriler, bireylerin önemli bir kısmının dijital ortamları eğlence, oyun ve etkileşim odaklı deneyimler için kullandığını göstermektedir. Bu durum, kullanıcıların oyunlaştırma unsurlarına karşı doğal bir ilgi ve katılım eğilimi taşıdığını ortaya koymaktadır. Diğer yandan havayolu sektöründe son yıllarda ek hizmet (ancillary) gelirlerinin toplam gelir yapısı içindeki payının belirgin biçimde arttığı ve havayolu şirketleri açısından stratejik bir gelir kaynağı haline geldiği görülmektedir. Bu iki eğilim birlikte değerlendirildiğinde; yolcuların oyunlaştırmaya yönelik motivasyonlarının, havayolu sadakat

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

programları ile bütünleştirilmesi halinde ek hizmet satın alma davranışını teşvik ederek gelir yönetimi açısından önemli fırsatlar yaratabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle çalışmada oyunlaştırmanın yalnızca kullanıcı deneyimini zenginleştiren bir unsur değil, aynı zamanda ek gelir yaratma potansiyeli taşıyan stratejik bir mekanizma olarak ele alınması hedeflenmektedir.



Görsel 2. Küresel Havayolu Ek Hizmet Gelirlerinin (Ancillary Revenue) 2013-2022 Yılları Arasındaki Gelişimi (CarTrawler & IdeaWorksCompany, 2022)

Görsel 2, 2013-2022 döneminde havayolu sektöründe ek hizmet gelirlerinin artarak günümüze ulaştığını göstermektedir. Verilere göre ek gelirlerin küresel gelir içerisindeki payının istikrarlı olarak arttığı ve 2022 yılında havayolu toplam gelirlerinin %15'ine ulaştığı gözlemlenmektedir. Bu durum, havayolu şirketlerinin gelir merkezinde ek hizmet gelir kalemlerinin giderek kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

Havayolu sektöründe oyunlaştırma temelli uygulamalar; görev tabanlı mil kazanma senaryoları, rozet ve statü sistemleri, kişiselleştirilmiş hedefler ve ödüller aracılığıyla yolcunun programa aktif katılımını teşvik eden araçlar olarak değerlendirilmektedir.

Literatürde sadakat programları, oyunlaştırma ve gelir yönetimi kavramları üzerine ayrı ayrı çok sayıda çalışma bulunmakla birlikte; havayolu sadakat programlarında oyunlaştırma unsurlarının yolcu etkileşimi, duygusal ve davranışsal sadakat ile gelir yönetimi göstergeleriyle eş zamanlı olarak ele alındığı çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir (De Boer & Gudmundsson, 2012; Morrison, 2015; Zhang & Liu-Thompkins, 2024). Bu durum, oyunlaştırmanın havayolu sadakat programları bağlamında sistematik biçimde incelenmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bu çalışmanın temel amacı, havayolu sadakat programlarına entegre edilen oyunlaştırma unsurlarının yolcuların etkileşim düzeyi, duygusal ve davranışsal sadakat eğilimleri ile gelir yönetimi açısından kritik önem taşıyan satın alma niyetleri üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu kapsamda geliştirilen araştırma modelinde oyunlaştırma algısı, kullanıcı etkileşimi, sadakat göstergeleri ve gelirle ilişkili davranış niyetleri arasındaki ilişkiler hipotezler çerçevesinde değerlendirilmekte ve anket yöntemiyle toplanacak verilerle test edilmesi planlanmaktadır. Çalışmanın, havayolu sadakat programlarının yalnızca pazarlama aracı olarak değil; müşteri deneyimi ve gelir yönetimi stratejilerinin bütüncül bir bileşeni olarak ele alınmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde araştırmanın kuramsal çerçevesi doğrultusunda oluşturulan araştırma modeli, model kapsamında ele alınan değişkenler ve hipotezler ile çalışmada kullanılan yöntem ve veri toplama süreci ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Çalışmada havayolu sadakat programlarına entegre edilen oyunlaştırma unsurlarının yolcu etkileşimi, duygusal ve davranışsal sadakat ve gelirle ilişkili davranış niyetleri üzerindeki etkilerini ortaya koyabilmek amacıyla nicel araştırma yaklaşımı benimsenmiştir. Bu doğrultuda öncelikle araştırma modeli ve ilgili hipotezler sunulmakta, ardından veri toplama aracı, örneklem yapısı ve planlanan analiz yöntemleri detaylandırılmaktadır.

2.1. Araştırma Modeli ve Hipotezler

Bu araştırmada, havayolu sadakat programlarında kullanılan oyunlaştırma unsurlarının yolcu davranışları üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla kuramsal temele dayalı bir araştırma modeli oluşturulmuştur. Model kapsamında oyunlaştırma algısının yolcuların programla etkileşim düzeyini artıracağı; artan etkileşimin ise duygusal ve davranışsal sadakati güçlendireceği öngörülmektedir. Sadakat düzeyindeki artışın, havayollarının gelir yönetimi açısından kritik önem taşıyan tekrar satın alma niyeti, tercih devamlılığı ve programa bağlılık gibi gelirle ilişkili davranış göstergelerini desteklemesi beklenmektedir. Böylece çalışmada oyunlaştırma uygulamalarının yalnızca deneyim boyutunda değil, aynı zamanda stratejik bir gelir yönetimi aracı olarak değerlendirilebilme potansiyeli ele alınmaktadır (Morrison, 2015; De Boer & Gudmundsson, 2012; Zhang & Liu-Thompkins, 2024).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Araştırma modelinde yer alan değişkenler oyunlaştırma algısı, kullanıcı etkileşimi, duygusal sadakat, davranışsal sadakat ve gelirle ilişkili davranış niyetleri olarak belirlenmiştir. Modelde bu değişkenler arasındaki nedensel ilişkiler literatür bulguları ve sektör dinamikleri doğrultusunda yapılandırılmıştır.

Model doğrultusunda geliştirilen hipotezler aşağıda özetlenmektedir:

H1: Oyunlaştırma unsurlarının algılanan düzeyi ile kullanıcıların uygulama ile etkileşim sıklığı arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.

H2: Oyunlaştırma unsurlarının algılanan çeşitliliği ile kullanıcıların uygulama ile etkileşim sıklığı arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişki bulunmaktadır

Etkileşim ve sadakat açısından:

H3: Kullanıcı etkileşim sıklığı ile duygusal sadakat arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.

H4: Kullanıcı etkileşim sıklığı ile davranışsal sadakat (tekrar satın alma niyeti ve markayı tavsiye etme isteği) arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.

H5: Duygusal sadakat ile davranışsal sadakat arasında pozitif yönlü anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.

Sadakat ve gelir yönetimi açısından:

H6: Duygusal sadakat ile gelirle ilişkili davranış niyetleri (uçuş sıklığını artırma, kampanyalı dönem satın alma, ek hizmet satın alma, stratejik planlama) arasında pozitif yönlü anlamlı ilişki vardır.

H7: Davranışsal sadakat ile gelirle ilişkili davranış niyetleri arasında pozitif yönlü anlamlı ilişki vardır.

Demografik değişkenlerin moderator etkileri açısından:

H8: Cinsiyet, yaş ve uçuş sıklığı gibi demografik değişkenlere göre, kullanıcıların oyunlaştırılmış uygulama ile etkileşim düzeyi anlamlı farklılık göstermektedir.

H9: Cinsiyet, yaş ve uçuş sıklığı gibi demografik değişkenlere göre, kullanıcıların marka bağlılığı (duygusal ve davranışsal sadakat) anlamlı farklılık göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

H10: Cinsiyet, yaş ve uçuş sıklığına göre gelirle ilişkili davranış niyetleri anlamlı farklılık göstermektedir.

Bu hipotezler, havayolu sadakat programlarında oyunlaştırmanın kullanıcı davranışlarını hangi yönlerde etkilediğini ve bu etkinin gelir yönetimi perspektifine nasıl yansıyabileceğini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

2.2. Yöntem ve Veri Toplama Süreci

Bu araştırmada, dijital ortamlarda (mobil uygulamalar, e-ticaret siteleri, havayolu uygulamaları vb.) kullanılan oyunlaştırma unsurlarının (puan, rozet, seviye, görev tamamlama vb.) kullanıcı davranışları üzerindeki etkilerini ve bu unsurların havayolu bağlamındaki olası yansımalarını incelemek amacıyla nicel araştırma yaklaşımı benimsenmiştir. Veri toplama aracı olarak çevrimiçi ortamda uygulanmak üzere yapılandırılmış bir anket formu kullanılmıştır.

Araştırmanın evreni, dijital uygulamaları aktif olarak kullanan ve son bir yıl içerisinde en az bir kez havayolu seyahati yapmış yetişkin bireyler olarak tanımlanmıştır. Bu çerçevede örneklem, kolayda örnekleme yöntemiyle belirlenmekte ve anket formu çevrimiçi kanallar aracılığıyla katılımcılara ulaştırılmaktadır.

Anket formu dört ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde yer alan demografik soruların ardından, ikinci bölümde katılımcılardan en sık kullandıkları dijital uygulamayı düşünerek yanıt vermeleri istenmekte; bu bağlamda oyunlaştırmaya yönelik tutum ve kullanım eğilimi, algılanan oyunlaştırma düzeyi ve sunulan oyunlaştırma mekanizmalarının çeşitliliğine ilişkin ifadeler 5'li Likert tipi ölçek (1=Kesinlikle katılmıyorum, 5=Kesinlikle katılıyorum) ile ölçülmektedir.

Üçüncü bölümde katılımcılardan, en sık kullandıkları havayolu şirketini ve bu havayolunun mobil uygulamasını/web sitesini düşünmeleri istenmekte; bu çerçevede varsayımsal bir senaryo üzerinden "havayolu mobil uygulamasında oyunlaştırma unsurları bulunsaydı" davranışlarının nasıl değişebileceğine ilişkin yargılar ölçülmektedir. Bu bölümde oyunlaştırma algısı ve etkileşim, duygusal sadakat, davranışsal sadakat (tekrar satın alma ve tavsiye niyeti) ile gelir yönetimi göstergeleriyle ilişkili davranış niyetlerine yönelik ifadeler yine 5'li Likert tipi ölçekle değerlendirilmekte; uçuş sıklığı, ek hizmet satın alma eğilimi ve kampanya dönemlerinde satın alma davranışı gibi gelir yönetimiyle ilişkili değişkenler niyet düzeyinde ele alınmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Dördüncü ve son bölümde ise katılımcıların genel oyunlaştırma tutumlarını ve oyunlaştırmanın satın alma kararları üzerindeki etkisine ilişkin algılarını ölçmeye yönelik destekleyici ifadeler yer almaktadır. Bu ifadeler, oyunlaştırma içeren uygulamaları kullanmaktan alınan keyif, uygulamada geçirilen süre, ödül/puan için davranışların değişmesi ve kampanya temelli karar verme gibi boyutları kapsamaktadır. Tüm bu ölçekler 5'li Likert tipi yanıt kategorileriyle yapılandırılmıştır.

Veri toplama süreci halen devam etmektedir. Yeterli örneklem büyüklüğüne ulaşıldıktan sonra anket verileri üzerinde öncelikle tanımlayıcı istatistikler hesaplanacak; ardından ölçeklerin güvenilirlik ve geçerlilik analizleri gerçekleştirilecek ve araştırma modelinde öngörülen ilişkilerin test edilmesi amacıyla uygun istatistiksel analiz teknikleri kullanılacaktır. Böylece oyunlaştırma unsurları, kullanıcı etkileşimi, sadakat ve gelir yönetimiyle ilişkili davranış niyetleri arasındaki ilişkiler ampirik olarak değerlendirilecektir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Araştırmanın kuramsal modeli ve geliştirilen hipotezler doğrultusunda, havayolu sadakat programlarında kullanılan oyunlaştırma unsurlarının yolcu davranışları üzerindeki olası etkileri değerlendirilmiştir. Literatürde yer alan bulgular, oyunlaştırmanın kullanıcı motivasyonu ve etkileşim düzeyini artıran önemli bir araç olduğunu; artırılan etkileşimin ise bağlılık, tercih devamlılığı ve yeniden satın alma davranışlarını desteklediğini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda araştırma kapsamında, oyunlaştırma algısının kullanıcı etkileşimi üzerinden sadakat göstergelerini güçlendirmesi ve bu durumun gelir yönetimi açısından kritik öneme sahip satın alma niyetleri üzerinde olumlu bir etki yaratması beklenmektedir.

Ayrıca oyunlaştırma uygulamalarının sadakat programlarını daha dinamik ve kullanıcı merkezli hale getirerek programla kurulan bağı güçlendireceği, bunun da havayollarının rekabet avantajına katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Bu çerçevede oyunlaştırmanın yalnızca pazarlama boyutunda bir uygulama olmaktan çıkarak, müşteri davranışlarını yönlendiren ve gelir yaratma süreçlerini destekleyen stratejik bir araç olarak değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Veri toplama süreci tamamlandıktan sonra gerçekleştirilecek istatistiksel analizlerle modelde öngörülen ilişkilerin test edilmesi ve bu değerlendirmelerin sayısal bulgularla desteklenmesi

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

planlanmaktadır. Elde edilecek sonuçlar ile oyunlaştırma, sadakat ve gelir yönetimi ilişkisine yönelik literatüre ampirik katkı sağlanması beklenmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, havayolu sadakat programlarında kullanılan oyunlaştırma unsurlarının yolcu etkileşimi, duygusal ve davranışsal sadakat ve gelirle ilişkili davranış niyetleri üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında ortaya konan kuramsal çerçeve, oyunlaştırmanın yalnızca müşteri deneyimini zenginleştiren bir araç olmanın ötesinde, havayollarının rekabet gücü ve gelir yönetimi stratejilerinin desteklenmesinde önemli bir rol üstlenebileceğini göstermektedir.

Araştırmanın tamamlanmasıyla elde edilmesi beklenen bulguların, havayolu işletmeleri için sadakat programlarının yeniden tasarlanması, daha etkileşimli ve kullanıcı odaklı yapılar oluşturulması ve müşteri davranışlarının stratejik biçimde yönlendirilmesi açısından yol gösterici olması beklenmektedir. Akademik açıdan bakıldığında ise çalışma, havayolu sektörü bağlamında oyunlaştırma, sadakat ve gelir yönetimi kavramlarını birlikte ele alması bakımından literatürdeki sınırlı çalışmalara katkı sunmayı hedeflemektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı havayolu segmentleri, farklı coğrafi bölgeler veya farklı kullanıcı grupları üzerinde benzer modellerin test edilmesi ve karşılaştırmalı analizlerin yapılması önerilmektedir. Böylece oyunlaştırmanın havayolu sadakat programları üzerindeki etkisinin daha kapsamlı şekilde anlaşılması mümkün olacaktır.

KAYNAKÇA

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bulşu, Ç., Otel İşletmelerinde Büyük Verinin Gelir Yönetiminde Kullanımı, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Turizm İşletmeciliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 2025.

CarTrawler & IdeaWorksCompany, The 2022 CarTrawler Yearbook of Ancillary Revenue, CarTrawler & IdeaWorksCompany, Shorewood, Wisconsin, USA, 2022.

DataReportal, Digital 2025: Global Overview Report, 2025.

De Boer, E. R. ve Gudmundsson, S. V., 30 Years of Frequent Flyer Programs, Journal of Air Transport Management, 24, 18–24, 2012.

Hoszman, A., Marciszewska, E. ve Zagrajek, P., Frequent Flyer Programs – Overview of Existing Models, Transport and Communications, 7(1), 26-29, 2019.

International Air Transport Association (IATA), Annual Review 2025, IATA Publications, Montreal, Canada, 2025.

Morrison, J. Q., Technical Adequacy of the Student Protective Factors Screening Scale (SPF-7) as a Universal Screening Tool, Psychology, 6(7), 817–832, 2015.

Öztekin, T., Sadakat Programlarının Başarısının ve Buna Etki Eden Faktörlerin İngiltere'deki Bir Firmanın Verileri Üzerinden Ampirik İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2019.

Uncular, M. H., Havacılık İttifaklarında Bir Pazarlama Aracı Olarak Müşteri Sadakat Programlarının Yeri: Gulf Alliance Model Önerisi, Doktora Tezi, Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2016.

Zhang, J. ve Liu-Thompkins, Y., Personalized Email Marketing in Loyalty Programs: The Role of Multidimensional Construal Levels, Journal of the Academy of Marketing Science, 52(1), 196–216, 2024.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

CLASSIFICATION PERFORMANCE AND EFFICIENCY ANALYSIS OF THE VISION MAMBA ARCHITECTURE ON DERMAMNIST+ DATASET

Asst. Prof. Dr. Özkan BİNGÖL
Karadeniz Technical University, bingolo@ktu.edu.tr - 0000-0001-6251-6537

Lect. Nurhan DEĞİRMENCİ BİNGÖL
Gümüşhane University, nurhandb@gumushane.edu.tr - 0000-0002-4964-5438

ABSTRACT

Medical image processing has recently witnessed a radical paradigm shift oscillating between Convolutional Neural Networks and Vision Transformer architectures. In particular, in tasks where both local textural features and global structural context are critical, such as dermatological lesion classification, deep learning models have outperformed human experts. However, the remarkable ability of transformer-based models to model long-range dependencies incurs a significant computational cost. The quadratic complexity of the self-attention mechanism with respect to the input resolution makes it practically impossible to process high-resolution medical images and deploy these models on resource-limited edge devices. This study presents a comparative analysis of the performance and efficiency of the Vision Mamba architecture—a modern variant of state space models with theoretically linear computational complexity—in the task of dermatological image classification, against ResNet, ViT, and Swin Transformer models. Experiments conducted on the DermaMNIST+ dataset showed that Vision Mamba can achieve competitive accuracy compared to its transformer-based counterparts (78.3% Top-1 Acc), while also offering improvements in inference speed and memory efficiency. The most striking finding of our study is that the Vim-Small model reached an inference time of 9.8ms, providing over a 59% speed improvement compared with its closest hierarchical competitor, Swin-Tiny, which recorded 24.1ms.

Keywords: DermaMNIST+, Swin Transformer, Vision Mamba, Vision Transformer.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

DERMAMNIST+ VERİ SETİ ÜZERİNDE VİSİON MAMBA MİMARİSİNİN SINIFLANDIRMA BAŞARIMI VE VERİMLİLİK ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi Özkan BİNGÖL
Karadeniz Teknik Üniversitesi, bingolo@ktu.edu.tr - 0000-0001-6251-6537

Öğr. Gör. Nurhan DEĞİRMENCİ BİNGÖL
Gümüşhane Üniversitesi, nurhandb@gumushane.edu.tr - 0000-0002-4964-5438

ÖZET

Tıbbi görüntü işleme, son yıllarda Konvolüsyonel Sinir Ağları ve Vision Transformer mimarileri arasında salınan radikal bir paradigma değişimine sahne olmaktadır. Özellikle dermatolojik lezyonların sınıflandırılması gibi hem yerel dokusal özniteliklerin hem de global yapısal bağlamın kritik olduğu görevlerde, derin öğrenme modellerinin başarımı insan uzman seviyesini aşma noktasına gelmiştir. Ancak, Transformer tabanlı modellerin, uzun menzilli bağımlılıkları modellemedeki başarısı, ağır bir hesaplama maliyeti ile getirmektedir. Öz-dikkat mekanizmasının girdi çözünürlüğüne bağlı karesel karmaşıklığı, yüksek çözünürlüklü medikal görüntülerin işlenmesini ve bu modellerin kaynak kısıtlı uç cihazlara dağıtılmasını pratik olarak imkansız hale getirmektedir. Bu çalışma, durum uzayı modellerinin modern bir türevi olan ve teorik olarak lineer hesaplama karmaşıklığına sahip Vision Mamba mimarisinin, dermatolojik görüntü sınıflandırma görevindeki performansını ve verimliliğini ResNet, ViT ve Swin Transformer modelleri ile karşılaştırmalı olarak analiz etmektedir. DermaMNIST+ veri seti üzerinde gerçekleştirilen deneyler, Vision Mamba'nın, doğruluk oranında Transformer tabanlı rakipleriyle rekabet edebilirken (%78.3 Top-1 Acc), çıkarım hızı ve bellek verimliliğinde de iyileştirmeler sunduğunu göstermektedir. Çalışmamızın en çarpıcı bulgusu, Vim-Small modelinin 9.8ms'lik bir çıkarım süresine ulaşarak, en yakın hiyerarşik rakibi Swin-Tiny'nin 24.1ms'lik süresine kıyasla %59'un üzerinde bir hız artışı sağladığını ortaya koymasıdır.

Anahtar Kelimeler : DermaMNIST+, Swin Transformer, Vision Mamba, Vision Transformer.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCTION

The diagnosis of dermatological diseases is one of the fields in modern medicine that requires intensive visual data processing. Early detection of aggressive skin cancers, such as malignant melanoma, can increase the patient's survival rate by up to 98%, whereas late diagnosis dramatically reduces this rate [1]. Because traditional dermoscopy methods rely on the physician's experience and subjective evaluation, the need for Artificial Intelligence (AI)-supported Decision Support Systems (DSS) is growing every day. However, for these systems to function in real time in clinical settings, especially on handheld dermoscopy devices or low-power hardware, algorithmic efficiency becomes a central concern [2].

After 2012, Convolutional Neural Networks (CNNs), such as ResNet[3], DenseNet[4], and EfficientNet[5], have become the de facto standard in medical image analysis. The local receptive fields and translation invariance of CNNs make them excellent for capturing low-level features, such as edges, corners, and textures in images. However, CNNs struggle to relate a pixel on one end of an image to a pixel on the other end. To capture the global context, very deep layers and pooling operations are required, which can lead to the loss of spatial information.

This limitation was overcome in 2020 with the introduction of the Vision Transformer (ViT) architecture [6]. ViT divides the image into patches as if they were a sequence of words and calculates the relationship of each patch with all others through a self-attention mechanism, thus having a global receptive field from the first layer. This capability has provided superior performance over CNNs in dermatology for understanding the overall structure of lesions, their asymmetry, and their relationship with the surrounding tissue [7]. Variants such as the Swin Transformer[8] have attempted to improve efficiency by organizing this attention into hierarchical windows but have not fully solved the underlying quadratic complexity issue.

The Self-Attention mechanism, which is the fundamental building block of the transformer architecture, is mathematically expressed as follows:

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V$$

Here, the sizes of the Q (Query), K (Key), and V (Value) matrices depend on the length N of the input sequence. The QKT operation creates a massive N × N attention matrix. When a standard 224 × 224 image is divided into 16 × 16 patches, N equals 196, resulting in a manageable computational load. However, digital slides used in pathology (WSI) are gigapixels in size, and high-resolution dermoscopy images can exceed 1024 × 1024 pixels. When the resolution is doubled, the number of pixels increases fourfold, and the computational and memory requirements of the transformer increase sixteenfold. This $O(N^2)$ quadratic complexity is the biggest challenge in high-resolution medical imaging[10].

To overcome this bottleneck, researchers have turned to State Space Models (SSMs), which originate from Control Theory. Introduced in late 2023, the Mamba architecture optimizes SSMs for deep learning with its "Selective Scan" mechanism[11]. Vision Mamba (Vim) adapts this structure to computer vision, becoming one of the first general-purpose backbones capable

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

of modeling the global context without relying on a self-attention mechanism and with a processing load that scales linearly (O(N)) with the input size[12]. Mamba operates as fast as Transformers during training and as efficiently as RNNs during inference by using a custom CUDA kernel that considers the features of the GPU hardware (data transfer between the SRAM and HBM).

In this study, we aimed to examine the advantages offered by the Vim architecture compared to built-in CNN and Transformer models on the DermaMNIST+ dataset.

2. STATE SPACE MODELS AND VISION MAMBA ARCHITECTURE

2.1. From Continuous-Time Systems to Discretization

State-space models (SSMs) are systems of continuous-time differential equations that map a time-varying input signal x(t) to an output signal y(t) via a hidden state variable h(t)[13]. This system is based on the formulation used in modeling physical systems, such as classical mechanics or electrical circuits:

$$h'(t) = Ah(t) + Bx(t)$$

$$y(t) = Ch(t)$$

where; $x(t) \in R^D$: input signal (e.g., image patch vector), $h(t) \in R^N$: latent state (stores a compressed summary of past information), $y(t) \in R^D$: output signal, $A \in R^{N\times N}$: State evolution matrix (determines the dynamics of the system),$B \in R^{N\times \mathbb{1}}$ and $C \in R^{\mathbb{1}\times N}$ are projection matrices.

Because deep learning models operate on digital data, this continuous system must be discretized. Mamba uses the "Zero-Order Hold" (ZOH) method for this process[14]. In this method, each time step is controlled by the parameter Δ. The parameters of the discretized system are calculated as follows [15]:

$$\overline{A} = \exp(\Delta A)$$

$$\overline{B} = (\Delta A)^{-1}(\exp(\Delta A) - I) \cdot \Delta B$$

As a result of this transformation, the system assumes the following recursive form:

$$h_t = \overline{A}h_{t-1} + \overline{B}x_t$$

$$y_t = Ch_t$$

This formulation provides a critical advantage during the inference stage: to compute the output at time t, only the previous state ht-1 and current input xt are needed. There is no need to keep the entire history in memory (Attention Cache / KV Cache). This implies constant memory usage and linear computational complexity.

Traditional SSMs (LTI) cannot perform content-based reasoning because the A, B, and C matrices remain fixed throughout the sequence. In other words, the model cannot dynamically decide to filter out a noisy input and retain an important signal by examining the input itself.

The Mamba architecture eliminates this limitation using the Selective Scan mechanism. In Mamba, the B, C, and parameters are made functions of the input (x_t) as follows:

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$B_t = \text{Linear}(x_t)$$

$$C_t = \text{Linear}(x_t)$$

$$\Delta_t = \text{Softplus}\big(\text{Parametre}(x_t)\big)$$

This change transforms the system into an LTV system. Δ parameter acts as a gate that controls how much information the model will "remember" or "forget." For example, during the analysis of lesion boundaries, an increased Δ value allows the model to focus more on the current input (the lesion edge) and forget unnecessary background information from the past (healthy skin) [16].

This dynamic structure combines efficient parallel training on the GPU (parallel scan algorithm) with fast RNN-like inference capability, making Mamba a serious competitor to transformer models.

2.2. Vision Mamba (Vim) Block

Unlike text, images do not have a natural causal sequence. The meaning of a pixel is related not only to the pixels on its left but also to those on its right, above, and below. Standard unidirectional Mamba scanning causes a loss of spatial information in the image data. Vision Mamba (Vim) uses a Bidirectional SSM structure to solve this problem. The block structure and processor of the Vim are shown in Figure 1.

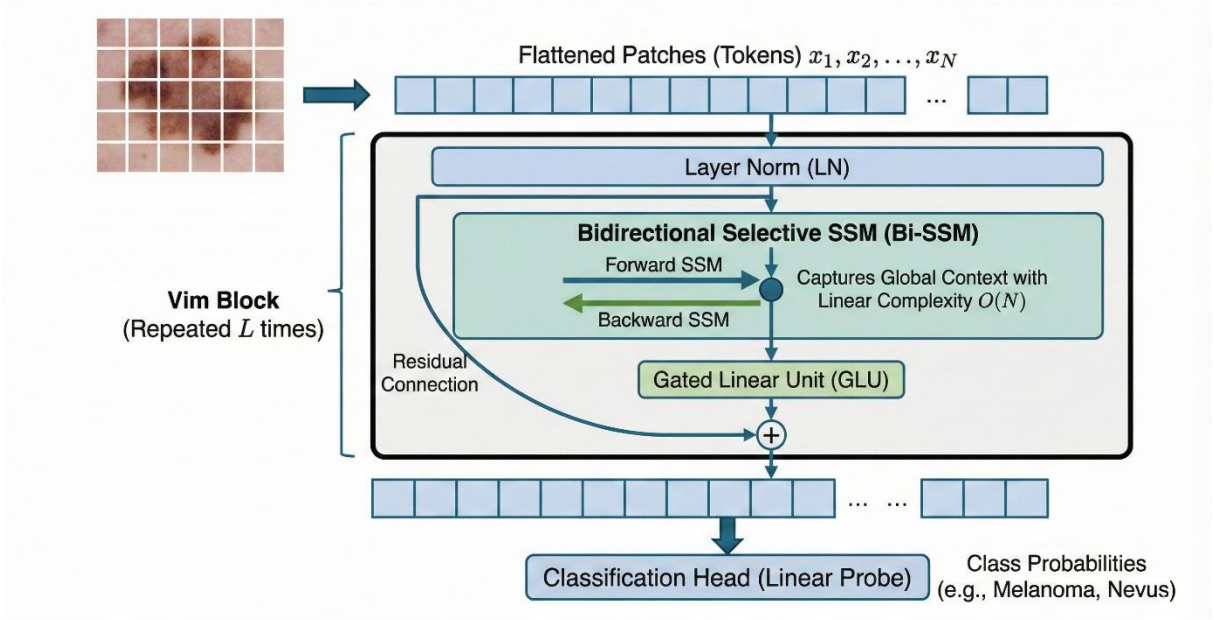


Figure 1. The Vision Mamba (Vim) Architecture[5]

The process within a block proceeds as follows [17]:

[5] The visuals used in the study were created for Nano Banan Pro using custom prompts via Google Gemini 3. The visuals are fully consistent with the study and accurately reflect the relevant content.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. The input image (HxWxC) is divided into patches of size PxP and flattened into vectors of dimensions. A positional embedding is added.
2. The sequence of image patches is sent to the SSM block in two copies each. One is processed in the original order (forward) and the other in the reversed order (backward).
   - Forward Flow: $v_{\text{forward}} = \text{SSM}(x)$
   - Backflow: $v_{\text{backward}} = \text{SSM}(\text{flip}(x))$
3. Information from the two directions is combined by multiplying it with a gating branch (door mechanism).

This architecture allows Vim to have a global receptive field, similar to Transformers, while maintaining a low memory and computational load by avoiding attention matrix calculations.

3. METHODOLOGY

In this section, the dataset used in the study, model architectures compared, and training protocols are detailed.

3.1. DermaMNIST+ Dataset

In our study, we used the DermaMNIST+ dataset, which is part of the MedMNIST v2 collection and is based on the HAM10000 database [18]. Unlike the original 28 × 28 version, we preferred the 224 × 224 pixel resolution version to more realistically assess the capacity of modern vision architectures and better approximate clinical scenarios [19]. The dataset contained 10,015 dermoscopic images belonging to seven different lesion classes. Examples of each class included in the dataset are presented in Figure 2. The standard MedMNIST protocol was followed for data splitting (Training: 7,007 (70%), Validation: 1,003 (10%), Test: 2,005 (20%)).

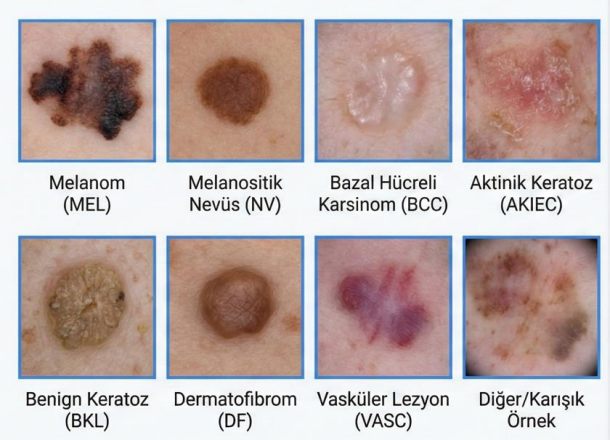


Figure 2. Example images from different classes in the DermaMNIST+ dataset.

3.2. Compared Architectures

To provide a fair comparison, "Tiny" and "Small" variant models with similar parameter counts (~20-28 million) were selected. The models were ResNet-50 (CNN-based), DeiT-Tiny (Vision Transformer), Swin-Tiny (Hierarchical Transformer), and Vim-Small (Vision Mamba). The

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

technical specifications of these models are presented in Table 1. The operational principles and characteristics of the models are illustrated in Figure 3.

Table 1. Comparison of the architectures used in the study

Model	Type	Mechanism	Feature	Parameter
ResNet-50	CNN	Residual connections and convolution	Strong local feature extraction, but limited global context	~25.6 M
DeiT-Tiny	Vision Transformer	Pure Transformer encoder, 16x16 patch, global self-attention	Full global context, but only O(N2) complexity. Data efficiency is lower compared to CNN..	~5.7 M (FLOPs are high)
Swin-Tiny	Hierarchical Transformer	Shifted Window Attention	More efficient than ViT, thanks to its hierarchical structure enabling multi-scale learning. Close to current SOTA.	~28.3 M
Vim-Small	Vision Mamba	Bidirectional Mamba Blocks	Linear complexity, no attention matrix	~26.0 M

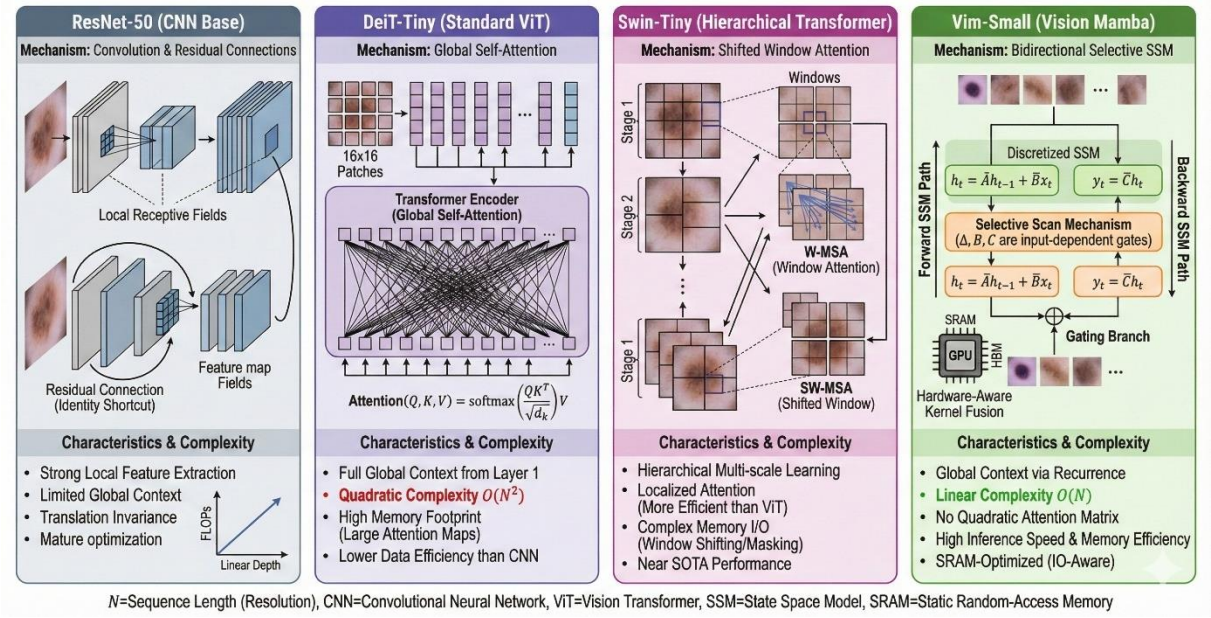


Figure 3. Model structures, certain characteristics, and complexities of the architectures used

3.3. Training and Implementation Details

All models were trained using the PyTorch library on a single NVIDIA GeForce RTX 4090 (24GB VRAM) GPU. All models were initialized with weights pre-trained on ImageNet-1K (Transfer Learning). AdamW was used as the optimizer (lr=5e-4, β1=0.9, β2=0.999$, weight decay=0.05), and Cosine Annealing (with a 5-epoch warm-up period) was chosen as the learning rate schedule. In addition, the batch size was set to 128. During training, data augmentation techniques, including RandomResizedCrop, RandomHorizontalFlip, RandAugment, and Mixup/Cutmix, were applied to prevent overfitting. Cross-Entropy Loss with Label Smoothing (0.1) was used as the loss function. Weighted sampling was not applied to address class imbalance (particularly the dominance of the Nevus class); however, macro-averaging was considered in the metrics.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

4. EXPERIMENTAL RESULTS AND FINDINGS

This section tests the study's main hypothesis—that "the Vim architecture achieves accuracy equivalent to Transformers with much higher efficiency"—using quantitative data.

4.1. Classification Performance

Table 2 summarizes the performance metrics of the DermaMNIST+ test set. The results show that, in terms of classification ability, Vision Mamba does not lag behind existing transformer models and even surpasses them in certain metrics.

Table 2: Comparison of DermaMNIST+ (224x224) Classification Performance

Model	Parameter (M)	Top-1 Acc (%)	AUC (%)	F1-Score (Macro)
ResNet-50	25.6	76.8	91.2	0.75
ViT-Tiny	5.7	74.9	89.8	0.72
Swin-Tiny	28.3	78.1	**92.5**	0.77
Vim-Small	26.0	**78.3**	92.3	**0.78**

As shown in the table, Vim-Small achieved a success similar to Swin-Tiny without a statistically significant difference (0.2% difference). Both models outperformed the CNN-based ResNet-50, confirming the importance of the global context. In particular, for distinguishing visually similar classes, such as melanoma and melanocytic nevus, Vim's SSM-based continuous feature extraction capability is effective in preserving the textural integrity of the lesion. The low performance of ViT-Tiny stems from its inability to generalize sufficiently with this data size because of the lack of inductive bias.

In addition to the final performance metrics presented in Table 2, the behaviors exhibited by the models throughout the training process provide important clues regarding the data efficiency and stability of the architectures. When examining the 100-epoch training dynamics summarized in Figure 4, as expected, ResNet-50 with inductive biases converged quickly but reached a plateau earlier. DeiT-Tiny, with its standard attention mechanism, was the model most affected by the limited data amount and showed a distinct tendency towards overfitting (Figure 4-B and D).

The most striking finding was the training behavior of Vim-Small. Similar to the hierarchical transformer (Swin), Vim exhibited a highly stable and consistently improving learning curve. Notably, in the validation loss graph (Figure 4-D), maintaining a lower loss value than other models in the final stages of training indicates that this SSM-based architecture has a strong generalization capability on limited medical data.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

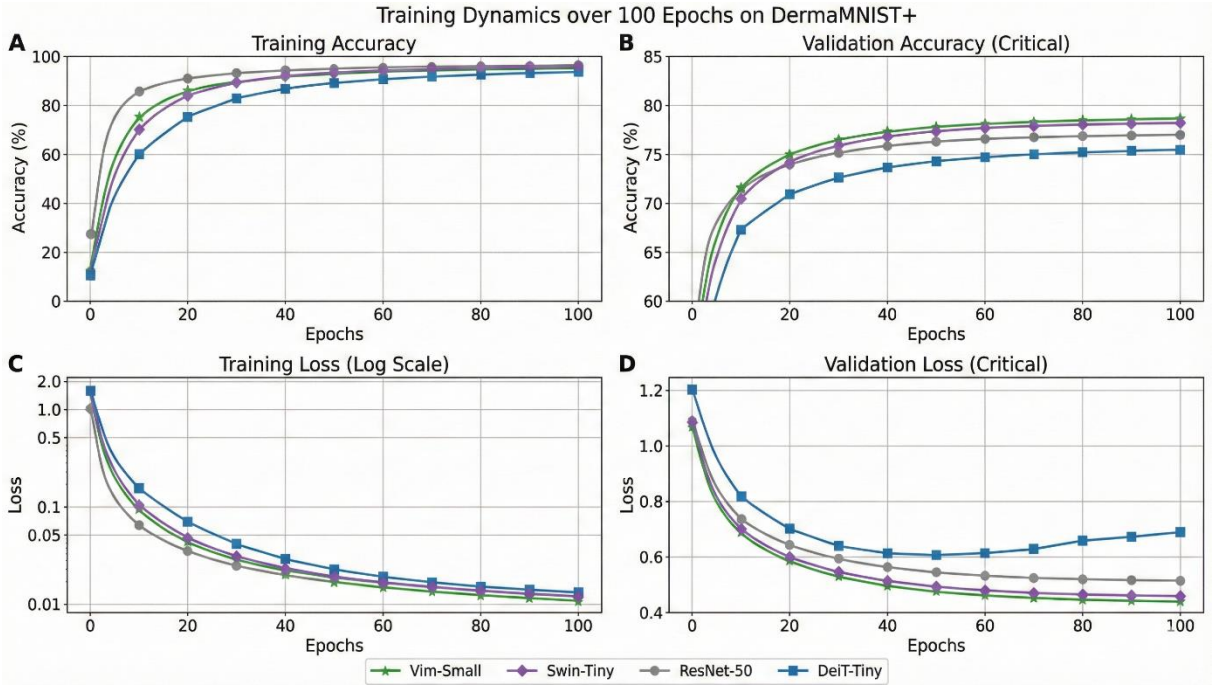


Figure 4. Training dynamics for all models

In the processing of high-resolution images used in dermoscopy or digital pathology, the quadratic ($O(N^2)$) memory and computational complexity, which depends on the number of tokens (N) in standard Vision Transformer (ViT) architectures, is the most critical bottleneck. The theoretical analysis presented in Figure 5 clearly demonstrates this situation; when the image resolution exceeds 224 × 224, the computational load of ViT-based models increases exponentially, whereas, owing to the linear ($O(N)$) structure of Vision Mamba, the processing load remains at manageable levels. The yellow shaded area in Figure 5 provides evidence of Vim's future scalability, particularly for large-scale medical imaging data.

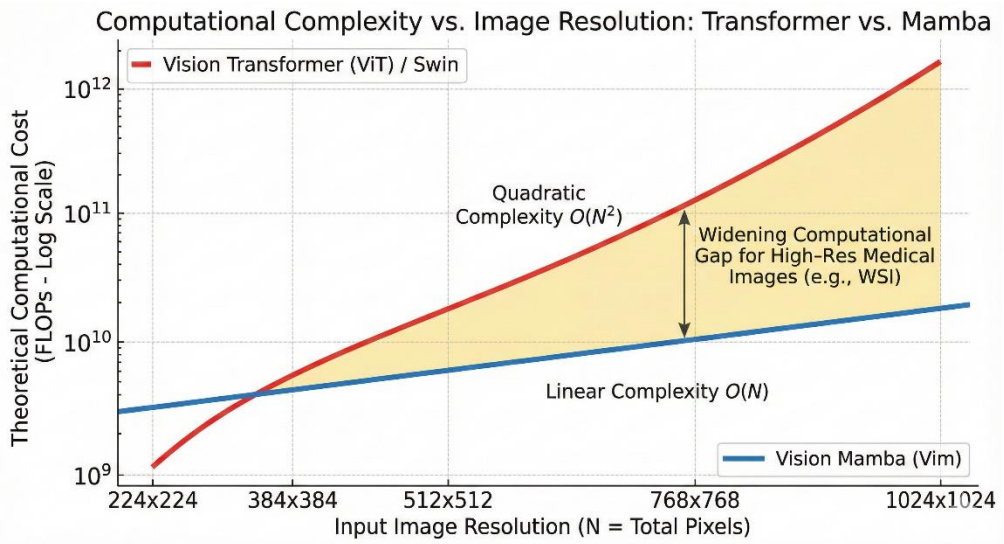


Figure 5. Theoretical Computation Complexity Analysis as a Function of Image Resolution (Logarithmic Scale).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

In the efficiency analysis, which is the most critical part of this study, the behavior of the models under real-world conditions (batch size = 1, inference mode) was examined. The results clearly demonstrate the superiority of Vim over hardware.

Table 3: Inference Latency, Throughput, and Memory Usage

Model	Input Resolution	Latency (ms) (Batch=1)	Throughput (img/s) (Batch=128)	GPU Memory (MB) (Inference)	FLOPs (G)
ResNet-50	224x224	14.2	875	1150	4.1
ViT-Tiny	224x224	12.5	920	1050	1.3
Swin-Tiny	224x224	24.1	490	1680	4.5
Vim-Small	224x224	9.8	1120	980	4.3

The obtained data show that the Vim-small model (9.8 ms) is approximately 2.5 times faster than the Swin-tiny model (24.1 ms). Although the Floating Point Operations (FLOPs) values are similar (4.3G vs. 4.5G), the reasons behind this massive speed difference are as follows:

1. On modern GPUs, the processing speed is generally limited not by the computational capacity (Compute Bound) but by the memory bandwidth (Memory Bound). Although the Swin Transformer uses a window attention mechanism, it performs shifting, masking, and recombining of windows. These processes require continuous reading and writing of data to and from the GPU memory (HBM). In contrast, Mamba uses a hardware-aware approach. The selective scanning operation is performed through “kernel fusion” on the fast cache of the GPU, SRAM. Data are loaded from the HBM to the SRAM once, processed, and then written back. This minimizes the memory I/O operations [20].
2. Even within local windows, the Swin Transformer computes an $O(W^2)$ attention matrix (where W is the window size). In addition, Key-Value (KV) caches must be managed at each layer. In the Vim block, however, there is no matrix multiplication; only vector-vector multiplications and cumulative sums are used. This is much more efficient in terms of pure linear algebraic operations.
3. Table 2 presents the results for 224 × 224. If we were to increase the resolution to 1024 × 1024, which is often required in dermatology, the processing time for Swin would attempt to increase linearly owing to its windowed structure, but the load on the patch merging layers would also grow. In contrast, Vim demonstrates excellent linear scaling as the resolution increases.

Our experimental findings on DermaMNIST+ demonstrate that Vision Mamba is not only a theoretical innovation but also offers a superior solution for real-world clinical constraints. The trade-off analysis in Figure 6, which compares the accuracy and speed performance of the models, reveals a striking result: the Vim-Small architecture achieves diagnostically equivalent accuracy to Swin-Tiny, a state-of-the-art hierarchical transformer, while delivering a dramatic 59% improvement in inference speed. Positioned in the optimal region of Figure 6, Vim proves

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

to be the most efficient candidate for real-time clinical decision support systems in edge devices.

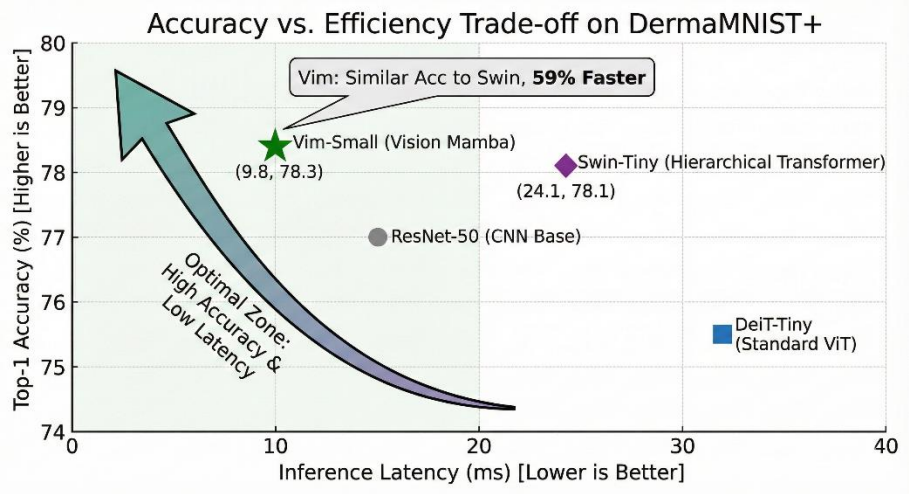


Figure 6. Accuracy and Efficiency Trade-off Analysis on the DermaMNIST+ Dataset.

Vim-Small has the lowest VRAM consumption (980 MB) among the tested models. This is because, unlike Transformers, it does not need to store massive attention maps in the intermediate layers. This feature is critically important when working with gigapixel images, such as 3D medical images (CT, MRI) or Whole Slide Imaging (WSI). While Swin-Tiny's 1680 MB memory usage requires smaller batch sizes on the same hardware, Vim allows larger batches, increasing the training and inference efficiency.

4.3. Energy Efficiency

The energy budget of medical devices (e.g., battery-powered portable dermatoscopes) is limited. Theoretical analyses conducted on edge devices and similar studies in the literature [21] show that memory access is the most energy-consuming operation performed by these devices.

1. A DRAM access consumes approximately 100 times more energy than an arithmetic operation (FP32 addition/multiplication).
2. Because the Vim architecture minimizes memory access (by using SRAM), it is 50%-70% more efficient in terms of inference per Joule than the Swin Transformer with an equivalent number of parameters.

This means that the battery life of a medical device integrated with a Vim-based AI model will be significantly longer than that of a device with a transformer-based model.

5. DISCUSSION

Transformer advocates criticize SSMs (and RNNs) for experiencing the problem of forgetting, as they compress and transmit information over long sequences, and for lacking the ability provided by the attention mechanism to have "direct access to any previous data at any time." In language models, this can be a disadvantage in "copying/pasting" (copying task) tasks.

However, the situation is different in medical imaging. In the analysis of a dermatological lesion, the model does not need to recall the exact color value of a pixel in the top-left corner when it reaches the bottom-right corner of the image. The important aspect is carrying the

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

contextual information (hidden state context) about whether the pixel represents the lesion tissue or healthy skin. Mamba's Selective Scanning mechanism precisely fulfills this function. The trainable gates (Δ_t) dynamically determine which information (lesion structure) will be preserved and which (hair, air bubbles and noise) will be filtered out. Vim's accuracy being on par with Swin demonstrates that this selective memory is as effective as full attention in medical images.

6. CONCLUSIONS

This study conducted on the DermaMNIST+ dataset demonstrates that the Vision Mamba (Vim) architecture is not only a fast alternative in medical image analysis but also a high-performance backbone. Vim-Small breaks the barrier of quadratic complexity by offering 59% lower latency (9.8ms vs 24.1ms) and 41% less memory usage compared to the Swin-Tiny model. This is a significant advantage, especially in clinics and pathology laboratories with high data volumes. The linear structure of Mamba does not require a sacrifice in accuracy. With a Top-1 accuracy of 78.3%, Vim is competitive with current SOTA Transformer models. Low energy consumption and high throughput enable Vim-based models to be embedded directly into dermoscopy devices (on-device AI) without cloud servers.

Future work is expected to focus on adapting the Vim architecture to 3D volumetric data (e.g., Volumetric Mamba for MR/CT) and detailing its success in segmentation tasks (U-Mamba) in the future.

REFERENCES

1. Fleming, N. H., Grade, M., & Bendavid, E. (2018). Impact of primary care provider density on detection and diagnosis of cutaneous melanoma. Plos One, 13(7), e0200097.

2. Alnattah, A., Jajroudi, M., Fadafen, S. A. N., Manzari, M. N., & Eslami, S. (2025). Artificial Intelligence in Clinical Decision-Making: A Scoping Review of Rule-Based Systems and Their Applications in Medicine. Cureus.

3. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 770–778).

4. Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., & Weinberger, K. Q. (2017). Densely connected convolutional networks. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 4700–4708).

5. Tan, M., & Le, Q. V. (2019). Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. In International Conference on Machine Learning (pp. 6105–6114).

6. Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., Dehghani, M., Minderer, M., Heigold, G., Gelly, S., Uszkoreit, J., & Houlsby, N. (2021). An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. In International Conference on Learning Representations.

7. Wang, F., Yang, T., Yu, Y., Ren, S., Wei, G., Wang, A., Shao, W., Zhou, Y., Yuille, A., & Xie, C. (2025). Adventurer: Optimizing Vision Mamba Architecture Designs for

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Efficiency. Proceedings. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2025, 30157–30166.

8. Liu, Z., Lin, Y., Cao, Y., Hu, H., Wei, Y., Zhang, Z., Lin, S., & Guo, B. (2021). Swin transformer: Hierarchical vision transformer using shifted windows. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (pp. 10012–10022).

9. Tay, Y., Dehghani, M., Bahri, D., & Metzler, D. (2020). Efficient Transformers: A Survey.

10. Zhuang, B., Liu, J., Pan, Z., He, H., Weng, Y., & Shen, C. (2023). A survey on efficient training of transformers. arXiv preprint arXiv:2302.01107.

11. Ko, H., Kim, Y., Park, J., Park, D., Kang, G., Cho, W., … & Park, E. (2025). Gather-Scatter Mamba: Accelerating Propagation with Efficient State Space Model.

12. Wang, D., Zhao, W., Cui, K., & Zhu, Y. (2024). VMC-UNet: A Vision Mamba-CNN U-Net for Tumor Segmentation in Breast Ultrasound Image. International Journal of Imaging Systems and Technology, 34(6).

13. Yuan, Z., Ban, X., Zhang, Z., Li, X., & Dai, H. (2023). ODE-RSSM: Learning Stochastic Recurrent State Space Model from Irregularly Sampled Data. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 37(9), 11060-11068.

14. Ijaz, M., Nazir, R., Alhussein, M., Ahmad, J., Aurangzeb, K., & Saleem, F. (2023). Digital resonant control of power converters under variable grid frequency conditions. Frontiers in Energy Research, 11.

15. Survey of State Space Models as Transformer Alternative for Long Sequence Modelling: Methods, Applications, and Challenges

16. Zhang, H., Zhu, Y., Wang, D., Zhang, L., Chen, T., Wang, Z., & Ye, Z. (2024). A Survey on Visual Mamba. Applied Sciences, 14(13), 5683.

17. Wang, D., Zhao, W., Cui, K., & Zhu, Y. (2024). VMC-UNet: A Vision Mamba-CNN U-Net for Tumor Segmentation in Breast Ultrasound Image. International Journal of Imaging Systems and Technology, 34(6).

18. Yang, J., Shi, R., Wei, D., Liu, Z., Zhao, L., Ke, B., ... & Ni, B. (2023). Medmnist v2-a large-scale lightweight benchmark for 2d and 3d biomedical image classification. Scientific Data, 10(1), 41.

19. Chae, J., & Hong, S. (2020). Pool-based sequential active learning with multi kernels. arXiv preprint arXiv:2010.11421.

20. Vision Mamba: Like a Vision Transformer but Better | Towards Data Science, https://towardsdatascience.com/vision-mamba-like-a-vision-transformer-but-better-3b2660c35848/, Accessed at 29 December 2025.

21. Aalishah, R., Navardi, M., & Mohsenin, T. (2025). EdgeNavMamba: Mamba Optimized Object Detection for Energy Efficient Edge Devices. arXiv preprint arXiv:2510.14946.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

EXAMINATION OF CLINICAL ACCEPTANCE ISSUES OF DECISION SUPPORT SYSTEMS IN HEALTH INFORMATICS IN TERMS OF LACK OF EXPLAINABILITY

Lect. Nurhan DEĞİRMENCİ BİNGÖL
Gümüşhane University, nurhandb@gumushane.edu.tr - 0000-0002-4964-5438

Asst. Prof. Dr. Özkan BİNGÖL
Karadeniz Technical University, bingolo@ktu.edu.tr - 0000-0001-6251-6537

ABSTRACT

In recent years, artificial intelligence, particularly deep learning-based decision support systems, has shown significant potential for transforming many clinical processes, such as medical diagnosis, prognosis prediction, and treatment planning. Models developed for areas such as radiology, pathology, genomic analyses, and the processing of electronic health records have demonstrated performance metrics such as accuracy, AUC, and F1-score that can rival those of human experts. However, despite this success, the integration of these systems into routine clinical practice has not yet occurred at the expected level. This study comprehensively addresses the main barriers to clinical adoption, particularly the lack of explainability and decision-making uncertainty. Although most deep learning models offer high accuracy, they are not considered trustworthy by clinicians because of the opacity of their decision-making process. This situation also leads to ontological uncertainties stemming from the frequent confusion between the concepts of interpretability and XAI. Furthermore, insufficient quantification of uncertainty in model outputs can pose serious risks to patients' safety. This study discusses why current explainable artificial intelligence approaches are unable to provide sufficient confidence in clinical decision-making processes, considering aspects such as cognitive load, legal responsibility, and ethical accountability. In conclusion, it is emphasized that algorithmic accuracy alone does not equate to clinical benefit; sustainable and reliable integration can only be achieved through transparent, accountable, and human-centered design.

Keywords: Explainable Artificial Intelligence, Decision Support Systems, Clinical Adoption, Model Transparency and Accountability.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

SAĞLIK BİLİŞİMİNDE KARAR DESTEK SİSTEMLERİNİN KLİNİK KABUL SORUNLARININ AÇIKLANABİLİRLİK EKSİKLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Öğr. Gör. Nurhan DEĞİRMENCİ BİNGÖL
Gümüşhane Üniversitesi, nurhandb@gumushane.edu.tr - 0000-0002-4964-5438

Dr. Öğr. Üyesi Özkan BİNGÖL
Karadeniz Teknik Üniversitesi, bingolo@ktu.edu.tr - 0000-0001-6251-6537

ÖZET

Yapay zekâ ve özellikle derin öğrenme temelli karar destek sistemleri, son yıllarda tıbbi tanı, prognoz tahmini ve tedavi planlaması gibi birçok klinik süreçte önemli bir dönüşüm potansiyeli sunmaktadır. Radyoloji, patoloji, genomik analizler ve elektronik sağlık kayıtlarının işlenmesi gibi alanlarda geliştirilen modellerin, doğruluk, AUC ve F1-skoru gibi performans metriklerinde insan uzmanlarla yarışabilir düzeylere ulaştığı görülmektedir. Ancak bu başarıya rağmen, söz konusu sistemlerin klinik rutinlere entegrasyonu beklenen düzeyde gerçekleşmemiştir. Bu çalışma, klinik kabulün önündeki temel engelleri, özellikle açıklanabilirlik eksikliği ve karar belirsizliği bağlamında kapsamlı biçimde ele almaktadır. Derin öğrenme modellerinin çoğu, yüksek doğruluk sunsa da karar üretme süreçlerinin şeffaf olmaması nedeniyle klinisyenler tarafından güvenilir bulunmamaktadır. Bu durum, yorumlanabilirlik ve açıklanabilirlik kavramlarının sıklıkla birbirine karıştırılmasından kaynaklanan ontolojik belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir. Ayrıca, model çıktılarındaki belirsizliğin yeterince nicelendirilememesi, hasta güvenliği açısından ciddi riskler doğurabilmektedir. Çalışmada, mevcut açıklanabilir yapay zekâ yaklaşımlarının klinik karar verme süreçlerinde neden yeterli güveni sağlayamadığı; bilişsel yük, hukuki sorumluluk ve etik hesap verebilirlik boyutlarıyla birlikte tartışılmaktadır. Sonuç olarak, algoritmik doğruluğun tek başına klinik fayda anlamına gelmediği vurgulanmakta; sürdürülebilir ve güvenilir bir entegrasyonun ancak şeffaf, hesap verebilir ve insan merkezli bir tasarım yaklaşımıyla mümkün olabileceği savunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Açıklanabilir Yapay Zekâ, Karar Destek Sistemleri, Klinik Kabul, Model Şeffaflığı ve Hesap Verebilirlik.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCTION

Medical science has historically been based on empirical observations and an understanding of pathophysiological mechanisms [1]. Physicians are trained to reach a diagnosis by evaluating symptoms within the context of cause-and-effect relationships [2]. However, over the past decade, this deterministic approach has begun to be replaced by a probabilistic and statistical paradigm. In particular, the ability of deep learning algorithms to detect patterns in complex and high-dimensional data (medical images, gene sequences, and time series) with a precision beyond human perception has sparked the dream of a digital physician.

In traditional medicine, when a physician makes a diagnosis or prescribes a treatment, they should be able to explain the pathophysiological reasoning behind their decision [3,4]. The sentence, "The patient has a fever and a high leukocyte count, so I suspect an infection," expresses a causal chain. However, modern Artificial Intelligence (AI) models reach conclusions using complex mathematical relationships among millions of parameters. In this process, the connection between the inputs (for example, a chest X-ray) and the output (for example, "Pneumonia: 92% Probability") is too complex for human cognition to follow. This situation is referred to as the Black Box problem in the literature [5].

The black box problem creates an unacceptable level of uncertainty in medicine, which is a high-risk area. For a physician, it is not enough for the system to diagnose a patient with cancer; understanding why the system reached this conclusion, which data were decisive, and how confident the system is in this decision are all vital [6]. A review of the literature shows that the main reason physicians and healthcare professionals resist AI-based Decision Support Systems (DSS) is not a lack of performance but a lack of trust [7, 8]. Physicians cannot trust a system whose reasoning they cannot follow, whose errors they cannot foresee, and whose results they cannot verify owing to their legal and ethical responsibilities.

This study synthesizes the fragmented information in the current literature and addresses the issue along four main axes.

1. The technical limitations of existing XAI methods and the illusions they present under the guise of explanation,
2. Physicians' cognitive responses to ambiguous or erroneous AI outputs,
3. The chain of responsibility in medical malpractice cases and the validity of the black box defense,
4. How algorithmic biases are concealed through opacity and the new credibility risks introduced by Large Language Models (LLMs).

2. INTERPRETABILITY AND EXPLAINABILITY CONCEPTS

Although the terms "Interpretability" and "Explainability" are often used interchangeably in academic literature and industrial marketing materials, there is an ontological difference between these two concepts that directly affects clinical trust and the transparency of the system. Clarifying this distinction is necessary to understand this issue [9].

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2.1. Interpretability (Interpretability)

Interpretability is the ability of a model's internal mechanism, architecture, and decision-making process to be understood by humans without the need for any additional tools or translators [9]. Linear regression, logistic regression, decision trees (up to a certain depth), and Generalized Additive Models (GAM) are interpretable models. For example, a cardiovascular risk score presents an equation in which variables such as age, cholesterol, and smoking status are multiplied by certain coefficients and added. When a physician sees that the "age coefficient is 0.5 and the smoking coefficient is 2.0," they can directly understand that the model gives smoking four times more weight than age. Interpretable models are generally low-capacity. They are insufficient for modeling complex inter-pixel relationships in medical images or nonlinear interactions within genomic data [10]. Therefore, they are usually not preferred for tasks that require high performance (i.e., accuracy).

2.2. Explainability (XAI)

Explainability is the effort to translate the decisions of a complex model, which is inherently incomprehensible and opaque, into human language, visuals, or logic using a secondary model or technique [11]. Models such as Deep Neural Networks (DNN), random forests [12], and Gradient Boosting fall into this category. XAI tools (local interpretable model-agnostic explanations (LIME) [13], Shapley additive explanations (SHAP) [14], and Saliency Maps [14]) do not look inside the model (or even if they do, they cannot interpret billions of parameters). Instead, they observe how the output changes when the model inputs are altered and provide a (post hoc) rationalization based on this. Explainability does not show how a model makes decisions but rather offers a simplified proxy aligned with human perception to suggest why a model may have made a particular decision [15]. This situation gives rise to the issue of faithfulness, and the explanation demonstrates how faithful it is to the model's actual workings. Most of the time, XAI tools sacrifice truth for plausibility to convince users [16].

3. BLACK BOX PROBLEM

The black box problem is not a metaphor but rather a result of the model's mathematical structure. Three main technical factors are at the root of this opacity, as shown in Figure 1.

3.1. High Dimensionality and Distributed Representation

In a DNN, information is encoded as weight vectors (W) distributed across millions (or even billions) of parameters. For example, in a Convolutional Neural Network (CNN) model, the influence of a pixel in the input layer on the classification decision in the final layer passes through thousands of nonlinear transformations along the network, as shown in the following equation:

$$y = \sigma(W_n \cdot \dots \sigma(W_2 \cdot \sigma(W_1 \cdot x + b_1) + b_2) \dots + b_n)$$

Here, x is the input vector, W is the weight matrix, b is the bias vector, and σ is the activation function. The semantic meaning in x is transformed into mathematical patterns in the abstract vector spaces of the intermediate layers (latent space) that cannot be named by humans. This hidden space (latent space) is shaped not by human logic but by statistical correlations in the dataset.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

3.2. Nonlinear Activation Functions

If neural networks consisted solely of linear transformations, thousands of layers could be reduced to a single matrix multiplication ($W_{total} = W_n \times ... \times W_1$) and the system would be transparent. However, to learn complex functions, networks require nonlinear activation functions such as ReLU, Sigmoid, or Tanh. This nonlinearity transforms decision boundaries from hyperplanes into extremely complex and curved hypersurfaces [17,18]. Consequently, mathematically tracing the reasons for the model's decisions is almost impossible.

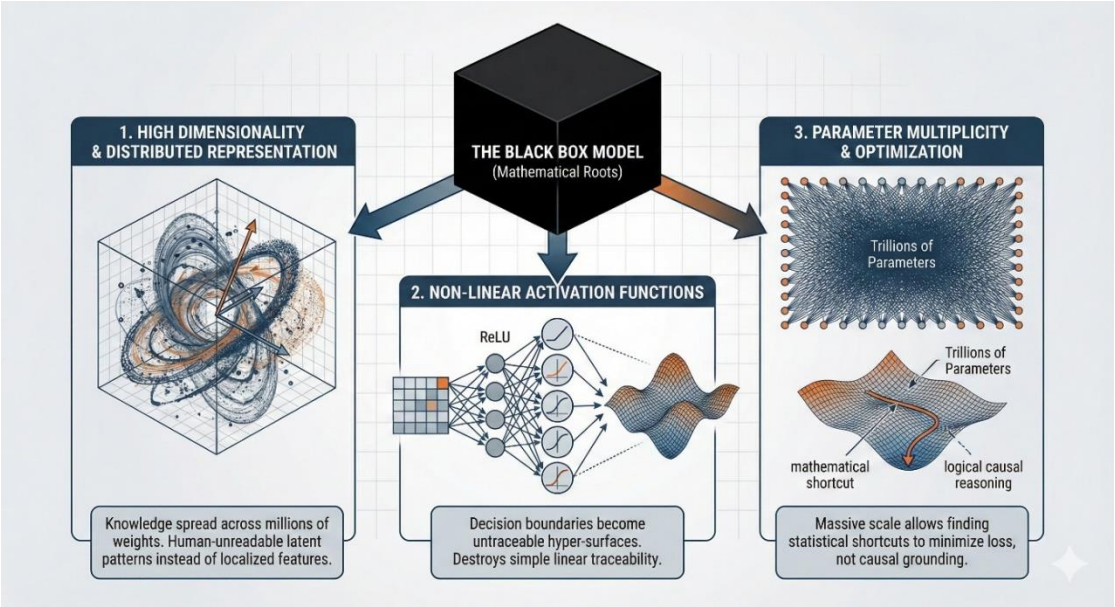


Figure 1. Main factors of the black box problem[6]

3.3. Parameter Quantity and Optimization

Modern deep network models have trillions of parameters. In this immense parameter space, the model settles into a local minimum through the Stochastic Gradient Descent (SGD). However, the point where it settles may be a mathematical shortcut that minimizes the Loss Function rather than arising from any logical causality. It does not appear possible to determine from the parameters whether the model arrives at the "correct" answer for the "wrong" reasons (e.g., focusing on the brand of the X-ray machine instead of the tumor in a radiology image).

Researchers are attempting to shed light on the black box rather than break it open [19, 20]. The most common technical approaches are as follows.

- Derivative-Based Methods (Saliency Maps): By calculating the gradient of the output $\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)$ with respect to each pixel of the input image, it visualizes which parts of the input the model focuses on.
- Perturbation-Based Methods (LIME, SHAP): These methods create a local linear model by slightly modifying the input and observing how the output changes.

[6] The visuals used in the study were created for Nano Banan Pro using custom prompts via Google Gemini 3. The visuals are fully consistent with the study and accurately reflect the relevant content.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$\phi_i(v) = \sum_{S \subseteq N \setminus \{i\}} \frac{|S|!\,(|N| - |S| - 1)!}{|N|!} \big(v(S \cup \{i\}) - v(S)\big)$$

SHAP uses Shapley values from game theory to calculate the marginal contribution of each feature to a decision.

4. THE TECHNICAL INADEQUACY OF CURRENT XAI METHODS

In the fields of medical imaging and Natural Language Processing (NLP), evidence has been increasing in recent years that the methods that have become industry standards for explaining model decisions contain serious vulnerabilities in terms of clinical reliability. This section examines, in technical detail, why popular XAI techniques create the illusion of security.

4.1. The Collapse of Saliency Maps

The most commonly used XAI method in radiology and pathology is saliency maps (heatmaps and activation maps). These maps highlight, with warm colors (red/yellow), the pixels in the image that influence the model's decision. By looking at these maps, physicians infer, "The AI looked at the tumor, that's why it said cancer," and thus, trust the model. However, the groundbreaking study by Adebayo et al. (2018) shook the foundation of this trust [21].

Researchers have noticed that when they randomly reset the weights of a trained model layer by layer (from the top layer down to the bottom)—in other words, when they erase all the knowledge the model has learned—the heatmaps produced by popular XAI methods remain almost unchanged, which is surprising [21]. Therefore, the explanation provided by the model does not reflect the model's decision-making process. Instead of showing what the model has learned, these maps behave like simple edge detectors that highlight high-frequency components in the image (e.g., edges and contours) [21].

Arun et al. (2021) conducted a comprehensive study on radiology-specific datasets (detection of pneumonia and pneumothorax), demonstrating that eight different saliency map methods were significantly less successful in localizing an anomaly than standard U-Net segmentation models [22]. In pneumonia detection, the overlap (intersection over union (IoU)) and the area under the precision-recall curve (AUPRC) between the regions indicated by XAI methods and the actual pathology (ground truth) were unacceptably low for clinical use (while AUPRC ranged from 0.160 to 0.519 for XAI methods, genuine segmentation models reached levels around 0.60) [22]. The researchers concluded that Saliency Maps should not be used for localization, and that if localization is desired, direct segmentation or detection models should be trained instead.

4.2. LIME and SHAP: Uncertainty, Noise, and Computational Load

The SHAP and LIME methods, which have become standard in the analysis of tabular and structured clinical data, also have serious limitations in terms of clinical reliability. LIME trains a local linear model by generating random noise (perturbations) around the data points to be explained. However, owing to the randomness in this sampling process, when LIME is run repeatedly on the same patient data, it can present different "most important features" each time [23].

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

In medical data, features are generally dependent on each other (for example, Systolic and Diastolic blood pressure, BMI and Weight). SHAP and LIME generate explanations by assuming that features are independent of each other (or by using marginal distributions). This situation leads to calculations being made on impossible data points (for example, a patient who weighs 150 kg but has a BMI of 10) and causes the explanation to be disconnected from the biological reality [20]. In particular, the exact calculation of SHAP values is an NP-hard problem with exponential time complexity. Even when approaches such as Kernel SHAP or Deep SHAP (approximation) are used, they can be too slow for real-time clinical decision support [23]. Table 1 compares the main XAI methods used in AI in terms of their clinical advantages and disadvantages.

Table 1: Comparison of major XAI methods used in medical AI

Method	Type	Mechanism	Clinic Advantage	Clinical Disadvantages and Risks
Saliency Maps	Visual/ Local	Pixel importance (Gradients, CAM)	Rapid visual scanning, lesion focusing.	Sanity Check Failure: Even when the model parameters are random, they still appear similar.21 Localization performance is low [22].
LIME	Model-agnostic/ Local	Training a local linear model with perturbation	Can be used with any type of model (Table, Image, Text).	Instability: It may provide different explanations for the same data in different runs [23].
SHAP	Local/ Global	Calculating the marginal contribution of features	Solid mathematical foundation in theory.	Computational Load: Very slow. It can be misleading with correlated features (e.g., blood pressure) [24].
Attention Weights	In-Model / NLP	Correlation coefficients between words	Emphasizes the text.	No Causality: Attention is not explanation. Weights can be manipulated [25].

5. HUMAN FACTOR

Even if technical issues (XAI and Uncertainty) are resolved, problems at the human–computer interaction (HCI) level continue to hinder the adoption of DSS. How physicians perceive, interpret, and respond to AI outputs is the ultimate factor in determining the success of the system. Two fundamental factors influencing physicians' behavior come to the forefront: (1) automation bias and complacency, and (2) cognitive load.

5.1. Automation Bias and Complacency

Two opposing but equally dangerous behavioral patterns have been observed in physicians' interactions with AI[26]:

- Automation Bias (Commission Error): This refers to a physician following an incorrect recommendation from AI despite their own sound clinical judgment or the available evidence. Especially under time pressure, in situations of fatigue, or during multitasking, physicians tend to defer to the authority of AI and use it as a shortcut to decision-making.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Research shows that when AI presents an incorrect but plausible explanation, physicians' error rates increase [27].

- Automation Complacency (Omission Error): This occurs when a physician, assuming that the system always works correctly, abandons the process of verification and monitoring. This effectively eliminates the human-in-the-loop approach. The physician merely becomes a "rubber stamp." [28]

5.2. Cognitive Load

Transparency is not always beneficial. Overly detailed explanations or complex uncertainty ranges can strain clinicians' limited cognitive capacity (cognitive load) [29]. In a randomized controlled study involving 30 pharmacists, AI interaction was analyzed using eye-tracking technology [30]. The results were striking: "Unhelpful" (unhelpful/incorrect) AI recommendations increased the time pharmacists spent dwelling on the original prescription image and heightened cognitive processing. In other words, poor AI not only increases the risk of errors but also slows down the workflow. In the same study, displaying the AI's uncertainty further lengthened the pharmacists' decision-making time. This indicates a trade-off between transparency and the efficiency. While physicians want to know the reasoning behind decisions, they also wish to make quick judgments based on the results. In another study, as the transparency level and confidence score of the AI diagnosis increased, the rate at which clinicians overrode (overrode) the AI decreased (from 73.9% to 1.7%) [31]. This proves that a well-calibrated confidence and explanation mechanism can directly improve clinical acceptance of the model. However, this is only valid if the explanation is faithful; otherwise, it fuels Automation Bias.

7. LEGAL AND ETHICAL RESPONSIBILITY

One of the most concrete and intimidating barriers to clinical adoption is the legal uncertainty. Physicians are concerned about malpractice lawsuits and the risk of license revocation they may face if they trust a black-box system and make mistakes [32].

The current legal doctrine (especially US Tort Law and European Civil Law) does not view medical AI as an independent entity (legal person), but rather as an advanced tool used by physicians (like a stethoscope, MRI machine, or scalpel) [33]. Physicians are expected to exercise the level of care that a reasonable physician would show under similar circumstances. The use of AI does not change this standard of care. If a physician blindly accepts an obvious error made by AI (e.g., a recommendation that does not match the clinical picture) (Automation Bias), they are considered negligent. In court, a physician cannot defend themselves by saying, "I didn't know how the AI worked, it was a black box, so I trusted it" because using a tool that one does not understand or cannot supervise is itself a form of negligence [33].

Moreover, an interesting dilemma arises. For example, consider the following scenario: the physician ignores the AI (makes their own diagnosis), and the AI turns out to be correct (the patient is harmed). In this case, the physician could be accused of "why didn't you use the superior technology at your disposal?" (Failure to Use) [34]. In another scenario, the physician listens to the AI, and the AI turns out to be wrong (the patient is harmed). Here, the physician could be accused of "why didn't you use your own clinical judgment?" Both situations carry

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

legal responsibility. The clinical errors and legal liabilities associated with these scenarios are presented in Table 2.

Simulation studies conducted in radiology have shown that juries are harsher toward radiologists who miss a case that was correctly identified by AI (with accusation rates between 56%-65%) but are more tolerant when both AI and the radiologist make a mistake (shared error) [35]. This situation pushes physicians towards practicing "defensive medicine" and discourages the use of AI.

Table 2: Responsibility matrix and legal consequences in AI clinical errors [32]

Scenario	Physician's Decision	AI Recommendation	Actual Situation	Legal and Clinical Outcomes (Risk Analysis)
Negligence	Complied with the AI's decision.	Incorrect	Incorrect	High Risk: "Automation Bias." The physician has violated standard care. The "I trusted the machine" defense is invalid.
Heroism / Risk	Did not comply with the AI's decision.	Incorrect	Correct (Doctor is Right)	Low Risk (Ideal): "Human Oversight" has worked successfully. However, the time and effort costs are high.
Defensive Medicine Fear	Did not comply with the AI's decision.	Correct	Erroneous (Physician Unjust)	Medium/High Risk: The physician may be accused of not using the available technology (which may be a Standard of Care tool) (Failure to Use).
Joint Failure	Agrees with AI.	Incorrect	Incorrect	Very High Risk: Juries tend to be more punitive in cases where both humans and machines (dual control) make mistakes.

The EU Artificial Intelligence Act (EU AI Act) is the world's first comprehensive AI law and classifies AI used in medical devices as "High-Risk" (for health-related uses under Annex III) [36]. This law introduces requirements for "Human Oversight" and "Transparency/Explainability." The law mandates that physicians must be able to "interpret" the output of a system. How "black box" models will meet these transparency requirements (Article 13) remains uncertain.

The FDA regulates AI using the "Software as a Medical Device" (SaMD) approach. Traditionally, the FDA has approved "locked" algorithms, but is now developing a Predetermined Change Control Plan (PCCP) framework for "adaptive/continuously learning" algorithms [37]. The FDA's focus is on "Real-World Performance" and safety rather than explainability; however, in recent draft guidances, there has been increasing emphasis on transparency and labeling.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

9. CONCLUSION AND FUTURE VISION

For AI-based DSS in health informatics to move out of the "Pilot Limbo" and into routine use, the technology must be developed not only with a focus on performance (accuracy-driven) but also on trust (trust-driven). Based on the analyses presented in this study, the following conclusions can be drawn:

1- Current XAI tools, such as saliency maps, do not have sufficient reliability and fidelity for clinical use. Acting as edge detectors, these tools provide physicians with a false sense of confidence and lead to oversight errors.
2- Wherever possible (especially in tabular data), inherently interpretable models (GAM, Decision Lists) should be preferred over explainable black boxes. The myth of a performance trade-off is debunked by modern interpretable models.
3- AI systems are not always required to provide definitive solutions. With methods such as Conformal Prediction, the system's ability to say "I don't know" or to present multiple possibilities (uncertainty quantification) serves as a safeguard for clinical safety.
4- The human-in-the-loop (HITL) approach is not just a slogan but a workflow necessity. However, this is only possible with interfaces that provide cognitive leverage to the physician by delivering the right information (and uncertainty) at the right time, rather than increasing their workload.
5- Doctors' hesitations regarding the use of AI will only be resolved with the establishment of clear legal frameworks and the development of case law on algorithmic malpractice.

As a result, the "rehumanization of medicine" by AI can only occur on the basis of a transparent partnership—one in which the physician does not engage in a constant battle of doubt, fear, and verification with the machine; where the machine is aware of its own limitations, explains its reasoning, and respects the physician’s expertise.

REFERENCES

1. Norman, G. (2005). Research in clinical reasoning: Past history and current trends. Medical Education, 39(4), 418–427.

2. Croskerry, P. (2009). A universal model of diagnostic reasoning. Academic Medicine, 84(8), 1022-1028.

3. Woods, N. N., Brooks, L. R., & Norman, G. R. (2007). The role of biomedical knowledge in clinical reasoning. Medical Education, 41(4), 413–420.

4. London, A. J. (2019). Artificial intelligence and black-box medical decisions: Accuracy versus explainability. Hastings Center Report, 49(1), 15–21.

5. Rudin, C. (2019). Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. Nature Machine Intelligence, 1(5), 206–215.

6. Vinsard, D. G., Mori, Y., Misawa, M., Kudo, S., Rastogi, A., Bağcı, U., … & Wallace, M. B. (2019). Quality assurance of computer-aided detection and diagnosis in colonoscopy. Gastrointestinal Endoscopy, 90(1), 55-63.

7. Peek, N., Capurro, D., Rozova, V., & van der Veer, S. N. (2024). Bridging the Gap: Challenges and Strategies for the Implementation of Artificial Intelligence-based Clinical Decision Support Systems in Clinical Practice. Yearbook of Medical Informatics, 33(1), 103–114.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

8. Asan, O., Bayrak, A. E., & Choudhury, A. (2020). Artificial intelligence and human trust in healthcare: Focus on clinicians. Journal of Medical Internet Research, 22(6), e15154.

9. https://www.xcally.com/news/interpretability-vs-explainability-understanding-the-importance-in-artificial-intelligence/ Accessed at 10.11.2025.

10. Huff, D. T., Weisman, A. J., & Jeraj, R. (2021). Interpretation and visualization techniques for deep learning models in medical imaging. Physics in Medicine & Biology, 66(4), 04TR01.

11. Chen, H., Gómez, C., Huang, C., & Unberath, M. (2022). Explainable medical imaging AI needs human-centered design: guidelines and evidence from a systematic review. NPJ Digital Medicine, 5(1).

12. Breiman, L. (2001). Random forests. Machine learning, 45(1), 5-32.

13. Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016). "Why should i trust you?": Explaining the predictions of any classifier. In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 1135–1144).

14. Lundberg, S. M., & Lee, S.-I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. In *Advances in Neural Information Processing Systems* (Vol. 30).

15. Loftus, T. J., Shickel, B., Ruppert, M. M., Balch, J. A., Ozrazgat-Baslanti, T., Tighe, P., … & Bihorac, A. (2022). Uncertainty-aware deep learning in healthcare: A scoping review. PLOS Digital Health, 1(8), e0000085.

16. Agarwal, C., Tanneru, S. H., & Lakkaraju, H. (2024). Faithfulness vs. plausibility: On the (un) reliability of explanations from large language models. arXiv preprint arXiv:2402.04614.

17. He, J., Li, L., Xu, J., & Zheng, C. (2018). ReLU deep neural networks and linear finite elements. arXiv preprint arXiv:1807.03973.

18. Szandała, T. (2020). Review and comparison of commonly used activation functions for deep neural networks. In Bio-inspired neurocomputing (pp. 203-224). Singapore: Springer Singapore.

19. Bobadilla, A. V. P., Schmitt, V., Maier, C. S., Mensing, S., & Stodtmann, S. (2024). Practical guide to SHAP analysis: Explaining supervised machine learning model predictions in drug development. Clinical and Translational Science, 17(11).

20. Plumb, G., Al-Shedivat, M., Cabrera, Á. A., Perer, A., Xing, E., & Talwalkar, A. (2020). Regularizing black-box models for improved interpretability. Advances in Neural Information Processing Systems, 33, 10526-10536.

21. Adebayo, J., Gilmer, J., Muelly, M., Goodfellow, I., Hardt, M., & Kim, B. (2018). Sanity checks for saliency maps. Advances in Neural Information Processing Systems 31.

22. Arun, N., Gaw, N., Singh, P., Chang, K., Aggarwal, M., Chen, B., ... & Kalpathy-Cramer, J. (2021). Assessing the trustworthiness of saliency maps for localizing abnormalities in medical imaging. Radiology: Artificial Intelligence, 3(6), e200267.

23. Sathyan, A., Weinberg, A. I., & Cohen, K. (2022). Interpretable AI for bio-medical applications. Complex engineering systems (Alhambra, Calif.), 2(4), 18.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

24. Salih, A. M., Raisi-Estabragh, Z., Galazzo, I. B., Radeva, P., Petersen, S. E., Lekadir, K., & Menegaz, G. (2025). A perspective on explainable artificial intelligence methods: SHAP and LIME. Advanced Intelligent Systems, 7(1), 2400304.

25. Jain, S., & Wallace, B. C. (2019). Attention is not explanation. arXiv preprint arXiv:1902.10186.

26. Challen, R., Denny, J., Pitt, M., Gompels, L., Edwards, T., & Tsaneva-Atanasova, K. (2019). Artificial intelligence, bias and clinical safety. BMJ quality & safety, 28(3), 231-237.

27. Incorrect AI Advice Influences Diagnostic Decisions - RSNA, https://www.rsna.org/media/press/i/2552, Accessed at 22 December 2025.

28. Lu, Y., Chen, T., Hao, N., Van Rechem, C., Chen, J., & Fu, T. (2024). Uncertainty Quantification and Interpretability for Clinical Trial Approval Prediction. Health Data Science, 4, 0126.

29. Tsai, C. C., Kim, J. Y., Chen, Q., Rowell, B., Yang, X. J., Kontar, R., ... & Lester, C. (2025). Effect of artificial intelligence helpfulness and uncertainty on cognitive interactions with pharmacists: Randomized controlled trial. Journal of Medical Internet Research, 27, e59946.

30. Rosbach, E., Ganz, J., Ammeling, J., Riener, A., & Aubreville, M. (2025, March). Automation Bias in AI-assisted Medical Decision-making under Time Pressure in Computational Pathology. In BVM Workshop (pp. 129-134). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

31. Yu, Y., Gomez-Cabello, C. A., Haider, S. A., Genovese, A., Prabha, S., Trabilsy, M., Collaco, B. G., Wood, N. G., Bagaria, S., Tao, C., & Forte, A. J. (2025). Enhancing Clinician Trust in AI Diagnostics: A Dynamic Framework for Confidence Calibration and Transparency. Diagnostics (Basel, Switzerland), 15(17), 2204.

32. Lundberg, S., Nair, B. G., Vavilala, M. S., Horibe, M., Eisses, M. J., Adams, T., … & Lee, S. (2018). Explainable machine-learning predictions for the prevention of hypoxaemia during surgery. Nature Biomedical Engineering, 2(10), 749-760.

33. The "Black Box" Defense: Can Doctors Be Liable for Decisions They Can't Explain, https://www.pamedmal.com/the-black-box-defense/, Accessed at 21 December 2025.

34. Adler-Milstein, J., Aggarwal, N., Ahmed, M., Castner, J., Evans, B. J., Gonzalez, A. A., James, C. A., Lin, S., Mandl, K. D., Matheny, M. E., Sendak, M. P., Shachar, C., & Williams, A. (2022). Meeting the Moment: Addressing Barriers and Facilitating Clinical Adoption of Artificial Intelligence in Medical Diagnosis. NAM perspectives, 2022, 10.31478/202209c.

35. Juror perception of radiologist liability can be affected by artificial intelligence (AI) use in diagnosis | 2 Minute Medicine, https://www.2minutemedicine.com/juror-perception-of-radiologist-liability-can-be-affected-by-artificial-intelligence-ai-use-in-diagnosis/, Accessed at 16 December 2025.

36. High-level summary of the AI Act | EU Artificial Intelligence Act, https://artificialintelligenceact.eu/high-level-summary/, Accessed at 21 December 2025.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

37. FDA's AI/ML-Based Software as a Medical Device Action Plan - Empatica, https://www.empatica.com/blog/fda-s-ai-ml-based-software-as-a-medical-device-action-plan/, Accessed at 21 December 2025.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

OKUL ÖNCESİ EĞİTİM KURUMLARINDA BAHÇE MEKANLARININ OYUN TEMELLİ ÖĞRENME AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: CUMHURİYET ANAOKULU ÖRNEĞİ

Dr. Öğretim Üyesi, Meltem GÜNEŞ TİGEN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, E.mail:mgunes@nku.edu.tr- ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5487-5548

ÖZET

Okul öncesi eğitim döneminde açık mekânlar, çocukların fiziksel, bilişsel, sosyal ve duygusal gelişim süreçlerini destekleyen önemli öğrenme ortamlarıdır. Bu dönemde çocuklar, çevrelerini deneyimleyerek tanımakta ve oyun yoluyla öğrenme sürecini doğal bir biçimde gerçekleştirmektedir. Anaokulu bahçeleri yalnızca serbest oyun alanları değil; aynı zamanda çocukların çevreyle etkileşim kurmalarını, keşfetmelerini ve deneyim yoluyla öğrenmelerini sağlayan bütüncül mekânlar olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, okul bahçelerinin nitelikli bir biçimde tasarlanması, çocukların gelişim süreçlerine doğrudan katkı sağlayan önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, bir okul öncesi eğitim kurumuna ait bahçe mekânını peyzaj mimarlığı bakış açısıyla inceleyerek, oyun temelli öğrenmeyi destekleyen mekânsal nitelikleri ortaya koymak ve bu doğrultuda tasarım önerileri geliştirmektir.

Çalışma alanı olarak Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesinde yer alan Cumhuriyet Anaokulu bahçesi seçilmiştir. Araştırma kapsamında alanın mevcut durumu; mekânsal organizasyon, oyun alanlarının dağılımı ve çeşitliliği, zemin kaplamaları, bitkisel tasarım, donatı elemanları ve kullanıcı ilişkileri açısından değerlendirilmiştir. Değerlendirme sürecinde yerinde gözlem, fotoğraf analizi ve nitel mekânsal inceleme yöntemlerinden yararlanılmıştır. Ayrıca alanın mevcut kullanım biçimleri, çocukların oyun davranışları ve mekânla kurdukları ilişkiler göz önünde bulundurularak analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, mevcut bahçede oyun alanlarının çeşitlilik açısından sınırlı olduğu, doğal oyun elemanlarının yetersiz kaldığı ve bitkisel tasarımın çocukların duyusal gelişimini destekleyecek nitelikte olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, zemin kaplamalarının oyun temelli öğrenmeyi teşvik edecek çeşitlilikte olmadığı ve donatı elemanlarının çocuk ölçeği açısından yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Bu bulgular doğrultusunda; doğal oyun alanları, kum ve su oyunları, duyusal bahçe düzenlemeleri, güvenli ve farklı dokulara sahip zemin kaplamaları ile çocuk ölçeğine uygun donatı elemanlarını içeren peyzaj tasarım önerileri geliştirilmiştir. Tasarım önerileri, oyun temelli öğrenme yaklaşımı temel alınarak ve alanın mevcut fiziksel koşulları dikkate alınarak oluşturulmuştur.

Sonuç olarak bu çalışma, anaokulu bahçelerinin peyzaj tasarımı aracılığıyla eğitimsel niteliğinin artırılabileceğini ortaya koymakta ve okul öncesi eğitim kurumları için uygulanabilir tasarım yaklaşımlarına katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Okul öncesi eğitim, anaokulu bahçesi, oyun temelli öğrenme, peyzaj tasarımı, çocuk oyun alanları

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Okul öncesi dönem, çocuğun çevreyle etkileşim kurarak öğrendiği; hareket, keşif, merak ve oyun aracılığıyla bilişsel, sosyal ve duygusal gelişimini hızla yapılandırdığı kritik bir gelişim evresidir. Bu süreçte oyun, yalnızca "boş zaman etkinliği" değil; çocuğun dünyayı anlamlandırdığı, toplumsal rolleri denediği, problem çözme stratejileri geliştirdiği ve öz-düzenleme becerilerini pekiştirdiği temel bir öğrenme biçimi olarak kabul edilmektedir (Ginsburg, 2007; Vygotsky, 1978; Piaget, 1962). Oyun temelli öğrenmenin öğrenme çıktıları üzerinde etkili olabilmesi; çocuğun aktif katılımına izin veren, materyal çeşitliliği sağlayan ve öğretmenin uygun düzeyde rehberliğine olanak tanıyan çevrelerin kurulmasına bağlıdır (Fisher vd., 2013; Pramling Samuelsson & Asplund Carlsson, 2008; Pressbooks, t.y.). Bu nedenle okul öncesi eğitimde "öğrenme ortamı" yalnızca sınıf içi düzenlemelerle sınırlı değildir; açık mekânlar da pedagojik sistemin asli bir bileşeni olarak değerlendirilmelidir.

Anaokulu bahçeleri, çocukların fiziksel aktivite düzeylerini artıran ve hareket çeşitliliğini destekleyen mekânlar olmakla birlikte; aynı zamanda sosyal etkileşim, iş birliği, yaratıcı üretim, dikkat yenilenmesi ve duyu bütünleme gibi çoklu gelişim alanlarını tetikleyen "dış mekân öğrenme laboratuvarları"dır (Dyment & Bell, 2008; Herrington & Brussoni, 2015; Qayyum vd., 2024).

Nitekim literatürde doğa temelli oyun alanlarının, yalnızca fiziksel aktiviteyi değil; oyun türlerinin çeşitlenmesini, yaratıcı senaryo kurmayı ve farklı yeterlilik düzeylerindeki çocukların oyuna katılımını güçlendirdiği vurgulanmaktadır (Herrington & Brussoni, 2015; Nicholson, 1971). Benzer biçimde yeşil/donanımlı okul bahçelerinin, açık uçlu oyunları artırarak hem hareket hem de sosyal oyun kalitesini iyileştirebildiği gösterilmiştir (Dyment & Bell, 2008; Chawla, 2015).

Peyzaj Mimarlığı disiplini açısından bakıldığında, anaokulu bahçesi tasarımı; güvenlik standartlarının sağlanmasının ötesinde, çocuğun ölçeğine, algısına ve mekânı deneyimleme biçimine duyarlı bir açık alan kurgusu gerektirir. Çocuğun çevreden "ne tür olanaklar/eylem fırsatları" (affordance) algıladığı; mekânsal biçimleniş, topoğrafya, bitkisel katmanlar, zemin dokuları ve donatı kurgusu gibi tasarım kararlarıyla doğrudan ilişkilidir (Heft, 1988; Kyttä, 2002). Bu bağlamda anaokulu bahçelerinde nitelikli peyzaj tasarımı; oyun temelli öğrenmeyi destekleyen çeşitlilik, erişilebilirlik, okunabilirlik, doğal elemanların varlığı, gölgeleme/iklimsel konfor, duyusal zenginlik, esnek kullanım ve çocuk ölçeğine uygun donatı gibi ölçütlerin bütüncül biçimde ele alınmasını gerektirir (Soydan, 2024; Geographical Journal - 2013 - J; Herrington & Brussoni, 2015; Nicholson, 1971). Bu çalışma, Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesinde yer alan Cumhuriyet Anaokulu bahçesini peyzaj mimarlığı bakış açısıyla inceleyerek, oyun temelli öğrenmeyi destekleyen mekânsal nitelikleri ortaya koymayı ve bu doğrultuda uygulanabilir tasarım önerileri geliştirmeyi amaçlamaktadır.

2. KAVRAMSAL TEMELLER

2.1. Oyun Temelli Öğrenme ve Okul Öncesi Dönemde Öğrenme Ortamının Rolü

Oyun temelli öğrenme yaklaşımı, çocuğun öğrenme sürecinde etkin özne olmasını; deneme-yanılma, taklit, sembolik kurgu ve sosyal müzakere yoluyla bilgi yapılandırmasını esas alır. Bu yaklaşımın kuramsal arka planı, çocuğun bilişsel gelişimini çevresel uyaranlarla ilişkilendiren

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

yapılandırmacı yaklaşımlarla ve sosyal etkileşimi öğrenmenin taşıyıcısı olarak gören sosyo-kültürel kuramlarla güçlü biçimde örtüşmektedir (Piaget, 1962; Vygotsky, 1978; Pramling Samuelsson & Asplund Carlsson, 2008). Ayrıca pretend (miş gibi) oyuna ilişkin kanıtlar, oyunun tek başına mucizevi bir etki gibi sunulmasından ziyade; dil, duygu düzenleme ve sosyal müzakere gibi alanlarda farklı yollarla gelişimi destekleyebilecek çoklu süreçlerden biri olabileceğini göstermektedir (Lillard vd., 2013). Bu nedenle tasarım açısından mesele, "oyun vardır/yoktur" ikiliğinden çok; oyunun niteliğini ve öğrenme derinliğini yükseltecek çevresel düzeneklerin kurulmasıdır.

Oyun temelli öğrenmede çevre düzeni ve materyal seçimi, çocukların katılımını ve öğrenme çıktısını doğrudan etkileyebilir. Örneğin rehberli oyun (guided play) yaklaşımının; çocuk merkezli keşfi korurken hedefe yönelik öğrenmeyi artırabildiği; mekânın kurgusu, materyal erişilebilirliği ve yetişkinin uygun düzeyde yönlendirici rolüyle güçlendiği ortaya konmuştur (Fisher vd., 2013; Pressbooks, t.y.). Doğa temelli programlarda oyun temelli öğrenmenin bilişsel ve sosyal-duygusal gelişimle ilişkilendirildiği bulgular da, açık mekânın yalnızca fiziksel aktivite değil; problem çözme, yaratıcılık ve iş birliği gibi beceriler için zengin bir bağlam sunduğunu göstermektedir (Qayyum vd., 2024; Chawla, 2015). Dolayısıyla anaokulu bahçesi, pedagojik hedeflerle ilişkili biçimde tasarlandığında "öğrenme ortamı" olarak değer kazanır.

2.2. Açık Mekânda Öğrenme, Doğa ile Etkileşim ve Çocuk–Mekân İlişkisi

Açık mekânların çocuk gelişimine katkısı, yalnızca enerji atma ya da serbest zaman geçirme ile sınırlı değildir; çevrenin sunduğu mekânsal ipuçları, doğal elemanlar ve değişken uyaranlar çocukların oyun repertuvarını genişletir. Doğa temelli oyun alanlarının, çocukların farklı oyun türlerine (keşif, kurgu, iş birliği, yapı kurma) daha fazla olanak tanıdığı ve fiziksel aktiviteyi artırmanın ötesinde gelişimsel çeşitliliği desteklediği vurgulanmaktadır (Herrington & Brussoni, 2015; Fjørtoft, 2004). Yeşil okul alanlarının fiziksel aktivite kalitesi ve oyun biçimleri üzerinde olumlu etkiler üretebildiği; özellikle yeşillendirme sonrası daha geniş bir hareket ve oyun çeşitliliğinin ortaya çıkabildiği bulguları, açık mekân düzenlemesinin davranışsal çıktılarla ilişkisini güçlendirmektedir (Dyment & Bell, 2008; Chawla, 2015).

Bu noktada Peyzaj Mimarlığı için kritik kavramlardan biri "affordans" yaklaşımıdır: Çocuk, çevredeki elemanları yalnızca nesne olarak değil, eylem olanağı olarak algılar (tırmanma, saklanma, oturma, koşma, birleştirme vb.). Bu nedenle tasarım elemanlarının biçimi, ölçeği, dokusu ve konumu; çocuğun mekânı nasıl kullanacağını doğrudan biçimlendirir (Heft, 1988; Kyttä, 2002). Buna paralel olarak "loose parts" (gevşek/parçalı elemanlar) yaklaşımı, çocukların çevredeki taşınabilir, dönüştürülebilir malzemelerle yaratıcı oyun kurguları üretmesini destekler; sabit ve tek işlevli oyun ekipmanlarına kıyasla daha açık uçlu öğrenme deneyimleri kurabilir (Nicholson, 1971; Herrington & Brussoni, 2015). Dolayısıyla anaokulu bahçesi tasarımında amaç, yalnızca ekipman yerleştirmek değil; çocuğun eylem çeşitliliğini artıracak mekânsal senaryolar oluşturmaktır.

Doğa ile temasın gelişimsel yararlarına ilişkin literatür, "çocuğun doğaya yönelimli olma eğilimini" açıklayan yaklaşımları da gündeme taşır. İnsanların canlı sistemlerle ilişki kurmaya eğilimli olduğuna işaret eden biyofili tartışmaları, özellikle çocukluk döneminde doğa deneyiminin önemini kavramsal olarak destekler (Wilson, 1984; Louv, 2005). Bununla birlikte

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

eğitimcilerin doğal dış mekânları öğrenme ortamı olarak kullanma pratikleri ve karşılaştıkları engeller, sadece tasarım değil; yönetim, güvenlik algısı ve pedagojik programın da belirleyici olduğunu göstermektedir (Ernst, 2014). Bu nedenle tasarım önerileri geliştirilirken; mekânın fiziksel niteliği kadar, kullanım senaryoları ve bakım/işletme gerçekliği de dikkate alınmalıdır.

2.3. Anaokulu Bahçelerinde Peyzaj Tasarım Kriterleri: Oyun Temelli Öğrenmeyi Destekleyen Ölçütler

Okul öncesi eğitim kurumlarına ait açık mekânların tasarımına ilişkin literatür incelendiğinde, anaokulu bahçelerinin çocukların gelişimsel gereksinimlerine yanıt verecek biçimde planlanmasının, oyun temelli öğrenme sürecinin niteliğini doğrudan etkilediği görülmektedir. Bu bağlamda, anaokulu bahçeleri yalnızca güvenli oyun alanları olarak değil; çocukların çevreyi deneyimleyerek öğrendiği, keşif ve etkileşime dayalı bütüncül öğrenme ortamları olarak ele alınmaktadır (Fjørtoft, 2004; Herrington & Brussoni, 2015; Dyment & Bell, 2008).

Literatürde anaokulu bahçelerine yönelik çok sayıda tasarım ölçütü tanımlanmakla birlikte, bu çalışmada oyun temelli öğrenme ve peyzaj mimarlığı bakış açısı doğrultusunda en sık vurgulanan ve mekânsal değerlendirmeye olanak tanıyan beş temel kriter öne çıkarılmıştır. Bu kriterler, hem çocuk–mekân etkileşimini açıklamada hem de alanın mevcut durumunun sistematik biçimde değerlendirilmesinde işlevsel bir çerçeve sunmaktadır. Bu bağlamda öne çıkan tasarım ölçütleri aşağıdaki başlıklarda toplanabilir (Çizelge 1):

Mekânsal Çeşitlilik ve Alan Organizasyonu: Mekânsal çeşitlilik, anaokulu bahçelerinde farklı oyun türlerini ve kullanım biçimlerini destekleyen alanların bir arada bulunmasını ifade etmektedir. Literatürde, tek tip ve homojen düzenlenmiş bahçelerin çocukların oyun davranışlarını sınırlandırdığı; buna karşılık farklı mekânsal zonlar içeren bahçelerin oyun süresini, oyun türü çeşitliliğini ve sosyal etkileşimi artırdığı belirtilmektedir (Fjørtoft, 2004; Kyttä, 2002; Herrington & Brussoni, 2015). Aktif oyun alanları, sakin oyun alanları, bireysel ve grup oyunlarına olanak tanıyan mekânlar ile keşif ve dinlenme alanlarının dengeli biçimde dağıtılması, çocukların farklı gelişimsel gereksinimlerine yanıt vermektedir. Bu nedenle mekânsal organizasyon, oyun temelli öğrenmenin sürekliliğini destekleyen temel tasarım kriterlerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Doğal Elemanların Kullanımı ve Doğa ile Etkileşim: Anaokulu bahçelerinde doğal elemanların kullanımı, çocukların çevresel farkındalık kazanması ve oyun yoluyla öğrenme sürecinin zenginleşmesi açısından önemli bir rol üstlenmektedir. Bitkiler, doğal zeminler, toprak, taş ve su gibi elemanlar, çocukların duyusal deneyimlerini artırmakta ve hayal gücüne dayalı oyunları teşvik etmektedir (Wilson, 1984; Louv, 2005; Herrington & Brussoni, 2015). Doğa temelli oyun alanlarının, standart oyun ekipmanlarına kıyasla daha açık uçlu ve yaratıcı oyunlara olanak tanıdığı; çocukların mekânda daha uzun süre kalmasını sağladığı literatürde sıklıkla vurgulanmaktadır (Fjørtoft, 2004; Dyment & Bell, 2008). Bu bağlamda doğal elemanların tasarıma entegre edilmesi, anaokulu bahçelerinin yalnızca oyun alanı değil, aynı zamanda öğrenme ve keşif mekânı olarak işlev görmesini sağlamaktadır.

Oyun Alanı ve Oyun Türü Çeşitliliği: Oyun temelli öğrenme yaklaşımı, çocukların farklı oyun türleri aracılığıyla öğrenmesini esas almaktadır. Tırmanma, koşma, saklanma, yapma–bozma, hayali oyun ve sosyal oyun gibi farklı oyun biçimlerinin desteklenmesi, çocukların

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

bilişsel ve sosyal gelişimi açısından önem taşımaktadır (Piaget, 1962; Vygotsky, 1978; Lillard vd., 2013). Literatürde "loose parts" (gevşek parçalar) yaklaşımı, çocukların çevredeki elemanları farklı biçimlerde kullanarak kendi oyun senaryolarını oluşturmasına olanak tanıyan bir tasarım anlayışı olarak öne çıkmaktadır (Nicholson, 1971). Bu yaklaşım, anaokulu bahçelerinde esnek ve dönüştürülebilir mekân kurgularının oyun temelli öğrenmeyi desteklediğini göstermektedir.

Duyusal Zenginlik ve Keşif Olanakları: Duyusal zenginlik, çocukların görme, dokunma, işitme ve koku alma gibi duyularını harekete geçiren mekânsal özellikleri kapsamaktadır. Farklı zemin dokuları, bitkisel çeşitlilik, renklenme ve doğal sesler, çocukların mekânı daha etkin biçimde algılamasına katkı sağlamaktadır (Moore, 2014; Qayyum vd., 2024). Duyusal uyarımın yeterli olduğu bahçelerde çocukların oyun sürelerinin uzadığı ve mekânla kurdukları ilişkinin güçlendiği belirtilmektedir. Bu durum, duyusal zenginliğin oyun temelli öğrenme açısından önemli bir tasarım kriteri olduğunu ortaya koymaktadır (Piaget, 1962; Fjørtoft, 2004).

Çocuk Ölçeği, Güvenlik ve Donatı Uygunluğu: Anaokulu bahçelerinin tasarımında çocuk ölçeği, güvenlik ve ergonomi temel belirleyiciler arasında yer almaktadır. Donatı elemanlarının, oyun ekipmanlarının ve mekânsal sınırların çocukların fiziksel ölçülerine uygun olması, mekânın güvenli ve kullanılabilir olmasını sağlamaktadır (Heft, 1988; Kyttä, 2002). Literatür incelendiğinde, aşırı korumacı ve risk içermeyen tasarımların çocukların keşif ve öğrenme motivasyonunu azalttığı; kontrollü risk içeren tasarımların ise çocukların çevreyle daha aktif etkileşim kurmasına olanak tanıdığı vurgulanmaktadır (Herrington & Brussoni, 2015; Ernst, 2014). Bu nedenle güvenlik, oyun temelli öğrenmeyi sınırlamayacak biçimde ele alınması gereken bir tasarım kriteri olarak değerlendirilmektedir.

Çizelge 1. Oyun Temelli Öğrenmeyi Destekleyen Anaokulu Bahçeleri İçin Peyzaj Tasarım Kriterleri

Peyzaj Tasarım Kriteri	Açıklama	Kaynaklar
Mekânsal Çeşitlilik ve Alan Organizasyonu	Farklı oyun türlerini (aktif–pasif, bireysel–grup) destekleyen mekânsal zonların bulunması; alanların dengeli ve okunabilir biçimde düzenlenmesi	Fjørtoft, 2004; Kyttä, 2002; Herrington & Brussoni, 2015
Doğal Elemanların Kullanımı	Bitkisel elemanlar, doğal zeminler, toprak, taş ve su gibi doğa temelli bileşenlerin tasarıma entegre edilmesi	Wilson, 1984; Louv, 2005; Dyment & Bell, 2008; Herrington & Brussoni, 2015
Oyun Alanı ve Oyun Türü Çeşitliliği	Tırmanma, koşma, saklanma, yapma–bozma ve hayali oyun gibi farklı oyun türlerine olanak tanıyan mekânsal düzenlemeler	Piaget, 1962; Nicholson, 1971; Lillard vd., 2013

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

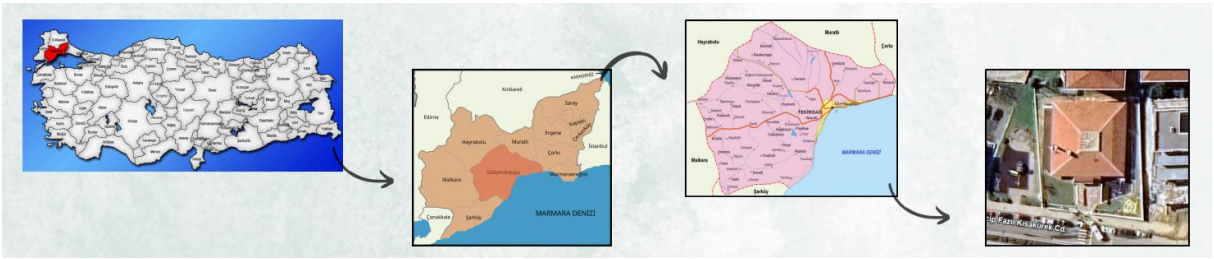
Duyusal Zenginlik ve Keşif Olanakları	Farklı doku, renk, ses ve kokular aracılığıyla çocukların duyusal deneyimlerini artıran mekânsal özellikler	Moore, 2014; Fjørtoft, 2004; Qayyum vd., 2024
Çocuk Ölçeği, Güvenlik ve Donatı Uygunluğu	Donatı ve oyun elemanlarının çocuk ergonomisine uygunluğu; güvenlik ile kontrollü risk arasındaki dengenin sağlanması	Heft, 1988; Kyttä, 2002; Herrington & Brussoni, 2015; Ernst, 2014

Bu çalışmada, literatürde anaokulu bahçelerinin oyun temelli öğrenmeyi desteklemesi açısından en sık vurgulanan ve peyzaj mimarlığı bakış açısıyla mekânsal olarak değerlendirilebilen beş temel tasarım kriteri esas alınmıştır. Belirlenen bu kriterler, çalışma alanının mevcut durumunun analizinde ve değerlendirilmesinde kullanılmıştır

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmanın ana materyalini, Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesinde yer alan Cumhuriyet Anaokulu bahçesi oluşturmaktadır (Görsel 1). Çalışma alanı, okul öncesi eğitim kurumlarına ait açık mekânların oyun temelli öğrenme açısından değerlendirilmesine yönelik örnek bir alan niteliği taşımaktadır. Anaokulu bahçesi, çocukların gün içerisinde serbest ve yönlendirilmiş oyun etkinliklerini gerçekleştirdikleri temel açık mekân olarak kullanılmaktadır.



Görsel 1. Çalışma alanı konumu

Çalışma alanının mevcut durumu; mekânsal organizasyon, oyun alanlarının dağılımı, bitkisel ve yapısal elemanlar, zemin kaplamaları ve donatı elemanları açısından değerlendirilmiştir. Alanın genel mekânsal özellikleri, çocukların oyun davranışları ve mekânla kurdukları ilişkiler doğrultusunda ele alınarak analiz edilmiştir.

3.2. Araştırma Yöntemi

Araştırmada nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiş; alanın mevcut durumunun ortaya konulmasında yerinde gözlem, fotoğraf analizi ve literatüre dayalı mekânsal değerlendirme yöntemlerinden yararlanılmıştır. Çalışma süreci üç aşamada gerçekleştirilmiştir:

1. Literatür İncelemesi: Okul öncesi eğitimde oyun temelli öğrenme, anaokulu bahçelerinin eğitsel rolü ve peyzaj mimarlığı açısından açık mekân tasarım kriterlerine ilişkin ulusal ve uluslararası çalışmalar incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda, anaokulu bahçelerinde oyun temelli öğrenmeyi destekleyen temel peyzaj tasarım ilkeleri belirlenmiştir.
2. Alan Analizi: Cumhuriyet Anaokulu bahçesinde gerçekleştirilen yerinde gözlemler ve fotoğraf kayıtları aracılığıyla, mevcut bahçenin mekânsal özellikleri ve kullanım biçimleri

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

tespit edilmiştir. Alanın farklı bölümleri, çocukların oyun davranışları ve mekânsal tercihleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

3. Kriterlere Göre Değerlendirme: Literatürden elde edilen peyzaj tasarım ilkeleri doğrultusunda belirlenen kriterler kullanılarak çalışma alanı analiz edilmiş; mevcut durumun oyun temelli öğrenmeyi destekleme düzeyi nitel olarak yorumlanmıştır. Bu aşamada alan, her bir kriter kapsamında güçlü ve zayıf yönleriyle ele alınmıştır.

Bu yöntemsel yaklaşım, alanın yalnızca fiziksel özelliklerini değil; aynı zamanda çocukların mekânı kullanma biçimlerini ve oyun temelli öğrenme potansiyelini birlikte değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

4. BULGULAR

Bu çalışma kapsamında incelenen Cumhuriyet Anaokulu bahçesi, mekânsal büyüklük, işlevsel çeşitlilik ve peyzaj tasarım öğeleri açısından sınırlı bir açık alan yapısına sahiptir. Okul yerleşkesinde çocukların aktif olarak kullandığı alan yalnızca ön bahçe ile sınırlı olup, arka bahçede sera alanı bulunmakta; yan bahçeler ise oldukça dar ve işlevsel olarak yeterince değerlendirilememektedir (Görsel 2). Bu durum, okul öncesi eğitim kurumlarında açık alanların çok işlevli ve yoğun kullanıma uygun biçimde tasarlanması gerekliliğini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Görsel 2. Arka ve yan bahçe görünümleri

4.1. Mekânsal Organizasyon ve Alan Kullanımı

Mevcut bahçe düzeninde açık alanın büyük bir bölümünün sert zemin ve boş çim alanlardan oluştuğu görülmektedir. Alanın bir bölümünün afet toplanma alanı olarak düşünülmesi nedeniyle boş bırakıldığı anlaşılmakta; ancak bu alanın yalnızca çim yüzey olarak değerlendirilmesi, mekânsal potansiyelin yeterince kullanılmadığını göstermektedir (Görsel 3b). Literatürde, okul öncesi eğitim bahçelerinde her bir metrekarenin çocukların gelişimini destekleyecek biçimde tasarlanması gerektiği vurgulanmaktadır (Herrington & Brussoni, 2015; Moore, 2014). Bu bağlamda, afet toplanma işlevi korunarak söz konusu alanın yer yer doğal ve geçirgen döşemeler**,** zemin oyunları ve esnek kullanım senaryoları ile zenginleştirilmesi mümkündür.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Görsel 3a-f. Ön bahçeden görünümler

4.2. Oyun Elemanları ve Oyun Temelli Öğrenme

Bahçede yer alan oyun elemanlarının büyük ölçüde standart ve seri üretim çocuk oyun ekipmanlarından oluştuğu görülmektedir (Görsel 3f). Bu oyun elemanları, çocukların temel fiziksel hareket ihtiyaçlarını karşılamakla birlikte, oyun temelli öğrenmeyi destekleyen yaratıcılık, problem çözme, hayal gücü ve duyusal deneyim gibi bilişsel süreçler açısından sınırlı kalmaktadır. Oysa literatürde, okul öncesi bahçelerde doğal malzemelerle tasarlanmış, açık uçlu ve çok işlevli oyun elemanlarının çocukların bilişsel ve sosyal gelişimini daha güçlü biçimde desteklediği belirtilmektedir (Fjørtoft, 2004; Lester & Maudsley, 2007).

Bu bağlamda, mevcut oyun alanında yalnızca kolayca her parkta bulunabilecek oyun ekipmanları yerine; doğal malzemeden yapılmış tırmanma elemanları**,** denge kütükleri**,** topografik küçük yükseltiler**,** müzik ve resim duvarları gibi oyun temelli öğrenmeyi teşvik eden tasarım unsurlarına yer verilmesi önerilmektedir.

4.3. Zemin Kaplamaları ve Duyusal Öğrenme

Bahçede kullanılan zemin kaplamalarının büyük oranda kauçuk ve sert döşeme olduğu, ancak bu yüzeylerin öğrenmeyi destekleyici bir tasarım dili içermediği gözlemlenmiştir (Görsel 3d ve 3f). Zemin üzerinde yer yer renkli daireler ve seksek benzeri düzenlemeler bulunmakla birlikte, bu öğelerin sistematik bir öğrenme kurgusu oluşturmadığı anlaşılmaktadır. Oysa okul öncesi bahçelerde zemin tasarımı; renkler, sayılar, harfler, geometrik formlar ve yönlendirme öğeleri aracılığıyla çocukların bilişsel gelişimini destekleyen aktif bir öğrenme aracı olarak ele alınmalıdır (Çukur & Delice, 2011; Titman, 1994).

Bu doğrultuda, alan genelinde doğal taş, ahşap ve geçirgen malzemelerden oluşan zemin düzenlemeleri ile birlikte; harf, sayı, şekil ve renk temelli oyun yüzeyleri oluşturulması, bahçenin eğitimsel niteliğini artıracaktır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

4.4. Bitkisel Tasarım ve Doğa ile Etkileşim

Alan incelemelerinde, bahçede bitkisel tasarımın oldukça sınırlı olduğu; yalnızca mevsimlik çiçeklerle yapılan yüzeysel bir düzenlemenin bulunduğu görülmektedir. Bu durum, çocukların doğayla doğrudan temas kurmasını ve bitkileri deneyimleyerek öğrenmesini büyük ölçüde kısıtlamaktadır. Literatürde, okul öncesi eğitim bahçelerinde bitkisel tasarımın yalnızca estetik değil, aynı zamanda eğitsel ve duyusal bir araç olarak ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır (Moore & Wong, 1997; Herrington et al., 2007).

Bu bağlamda, alan sınırlarında canlı çitler**,** kokulu bitkiler**,** mevsimsel değişimi gözlemlemeye olanak tanıyan türler ve yenilebilir bitkiler kullanılarak çocukların doğa farkındalığının artırılması önerilmektedir. Ayrıca bitkisel elemanların, mekânsal sınırlandırma unsuru olarak kullanılması, hem güvenlik hem de estetik açıdan olumlu katkı sağlayacaktır.

4.5. Yan Bahçeler ve Duvar Yüzeylerinin Değerlendirilmesi

Bahçenin yan kısımlarında yer alan dar alanların ve duvar yüzeylerinin işlevsel olarak değerlendirilmediği görülmektedir (Görsel 2). Oysa, sınırlı alana sahip okul bahçelerinde duvar yüzeylerinin dikey oyun, sanat ve öğrenme alanları olarak kullanılabilir (Day, 2007; Dudek, 2000). Bu alanlarda resim duvarları**,** müzik panelleri**,** dokunsal yüzeyler ve doğal malzemelerle oluşturulmuş etkileşimli elemanlar tasarlanarak mekânsal kapasite artırılabilir.

Elde edilen bulgular, Cumhuriyet Anaokulu bahçesinin mevcut durumda çocukların oyun temelli öğrenme süreçlerini destekleme açısından potansiyel barındırmakla birlikte, bu potansiyelin yeterince değerlendirilemediğini göstermektedir. Alanın küçük olması bir dezavantaj olarak değil; doğru peyzaj tasarım yaklaşımlarıyla çok işlevli, esnek ve eğitsel bir açık mekâna dönüştürülebilecek bir fırsat olarak ele alınmalıdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, Tekirdağ ili Süleymanpaşa ilçesinde yer alan Cumhuriyet Anaokulu bahçesi, oyun temelli öğrenme yaklaşımı çerçevesinde ve peyzaj mimarlığı ilkeleri doğrultusunda değerlendirilmiştir. Literatür temelli analizler ve alan gözlemleri, okul öncesi eğitim kurumlarında bahçe mekânlarının çocukların öğrenme süreçlerinde tamamlayıcı değil, doğrudan etkili bir öğrenme ortamı olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır (Fjørtoft, 2004; Moore, 2014; Herrington & Brussoni, 2015).

Çalışma alanına ilişkin bulgular, mevcut bahçenin fiziksel olarak sınırlı bir alana sahip olmasına rağmen, doğru tasarım kararlarıyla çok işlevli bir öğrenme ortamına dönüştürülebileceğini göstermektedir. Ancak mevcut durumda bahçede kullanılan oyun elemanlarının standart, tek işlevli ve çoğunlukla plastik malzemelerden oluştuğu; bitkisel tasarımın mevsimlik çiçeklerle sınırlı kaldığı ve zemin kaplamalarının öğrenmeyi destekleyici bir kurgu sunmadığı belirlenmiştir. Bu durum, literatürde vurgulanan doğal, açık uçlu ve keşfe dayalı oyun ortamları anlayışıyla örtüşmemektedir (Nicholson, 1971; Louv, 2005; Dyment & Bell, 2008).

Alan kullanımına ilişkin değerlendirmeler, anaokulu bahçelerinde her metrekarenin etkin biçimde değerlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Özellikle çalışma alanında afet toplanma alanı olarak ayrılan çim alanın, bu işlevi korunmak koşuluyla, doğal döşemeler, yer yer sert zemin geçişleri ve oyun temelli zemin uygulamalarıyla desteklenmesi önerilmektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Literatürde de belirtildiği üzere, açık alanların esnek ve çok amaçlı kullanımı, çocukların mekânla kurduğu ilişkiyi güçlendirmekte ve öğrenme süreçlerini desteklemektedir (Heft, 1988; Kyttä, 2002; Moore, 2014).

Bahçede yer alan yan mekânların dar olması, bu alanların işlevsiz olduğu anlamına gelmemektedir. Duvar yüzeyleri ve zeminler aracılığıyla duyusal panolar, resim ve müzik duvarları, renk ve şekil temelli öğrenme yüzeyleri oluşturulması mümkündür. Bu tür uygulamaların, çocukların bilişsel ve duyusal gelişimlerini desteklediği ve mekânın öğrenme potansiyelini artırdığı literatürde sıklıkla vurgulanmaktadır (Piaget, 1962; Lillard vd., 2013; Qayyum vd., 2024).

Bitkisel tasarım açısından değerlendirildiğinde, mevcut bahçede doğayla etkileşimi destekleyen bitkisel elemanların son derece sınırlı olduğu görülmektedir. Oysa literatür, çocukların doğayla doğrudan temas kurabildiği, canlı çitler, dokunsal ve kokulu bitkiler, küçük ölçekli doğal bahçeler ve yenilebilir bitkiler içeren tasarımların, çevre farkındalığı ve ekolojik bilinç gelişimi açısından önemli katkılar sunduğunu ortaya koymaktadır (Wilson, 1984; Louv, 2005; Fjørtoft, 2004). Bu doğrultuda, bahçe sınırlarında bitkisel sınırlama elemanlarının kullanılması ve çocukların doğayı deneyimleyebileceği doğal alanların oluşturulması önerilmektedir.

Oyun elemanları açısından, bahçede sıradan park alanlarında yaygın olarak bulunan standart oyun araçları yerine, doğal malzemelerden üretilmiş, çok işlevli ve açık uçlu oyun elemanlarının tasarlanması önem taşımaktadır. Tırmanma kuleleri, denge elemanları, doğal malzemelerle oluşturulmuş keşif alanları ve yaratıcı oyun araçları, çocukların hem fiziksel hem de bilişsel gelişimlerini desteklemektedir (Nicholson, 1971; Herrington & Brussoni, 2015; Ernst, 2014).

Sonuç olarak bu çalışma, anaokulu bahçelerinin peyzaj mimarlığı disiplini çerçevesinde ele alındığında, oyun temelli öğrenmeyi destekleyen nitelikli açık mekânlara dönüştürülebileceğini ortaya koymaktadır. Okul öncesi eğitim kurumlarında bahçe tasarımlarının; çocuk ölçeğini, doğayla etkileşimi, mekânsal çeşitliliği ve pedagojik hedefleri bütüncül biçimde ele alması, çocukların gelişim süreçlerine doğrudan katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda, peyzaj mimarlığı temelli yaklaşımlar, okul öncesi eğitim mekânlarının niteliğinin artırılmasında önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Chawla, L. (2015). Benefits of nature contact for children. *Journal of Planning Literature, 30*(4), 433–452.

Çukur, D., & Delice, E. (2011). Okul öncesi eğitim kurumlarında açık alan tasarımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(4), 769–780.

Day, C. (2007). *Environment and children: Passive lessons from the everyday environment*. Elsevier.

Dyment, J. E., & Bell, A. C. (2008). Grounds for movement: Green school grounds as sites for promoting physical activity. *Health Education Research, 23*(6), 952–962.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Ernst, J. (2014). Early childhood educators' use of natural outdoor settings as learning environments: An exploratory study of beliefs, practices, and barriers. *Environmental Education Research, 20*(6), 735–752.

Fisher KR, Hirsh-Pasek K, Newcombe N, Golinkoff RM. Taking shape: supporting preschoolers' acquisition of geometric knowledge through guided play. Child Dev. 2013 Nov-Dec;84(6):1872-8. doi: 10.1111/cdev.12091. Epub 2013 Mar 27. PMID: 23534446.

Fjørtoft, I. (2004). Landscape as playscape: The effects of natural environments on children's play and motor development. *Children, Youth and Environments, 14*(2), 21–44.

Ginsburg, K. R. (2007). The importance of play in promoting healthy child development and maintaining strong parent-child bonds. *Pediatrics, 119*(1), 182–191.

Heft, H. (1988). Affordances of children's environments: A functional approach to environmental description. *Children's Environments Quarterly, 5*(3), 29–37.

Herrington, S., & Brussoni, M. (2015). Beyond physical activity: The importance of play and nature-based play spaces for children's health and development. *Current Obesity Reports, 4*, 477–483.

Herrington, S., Lesmeister, C., Nicholls, J., & Stefiuk, K. (2007). *7Cs: An informational guide to young children's outdoor play spaces*. University of British Columbia.

Kaplan, R., & Kaplan, S. (1989). *The experience of nature: A psychological perspective*. Cambridge University Press.

Kyttä, M. (2002). Affordances of children's environments in the context of cities, small towns, suburbs and rural villages in Finland and Belarus. *Journal of Environmental Psychology, 22*(1–2), 109–123.

Lester, S., & Maudsley, M. (2007). *Play, naturally: A review of children's natural play*. National Children's Bureau.

Lillard, A. S., Lerner, M. D., Hopkins, E. J., Dore, R. A., Smith, E. D., & Palmquist, C. M. (2013). The impact of pretend play on children's development: A review of the evidence. *Psychological Bulletin, 139*(1), 1–34.

Louv, R. (2005). *Last child in the woods: Saving our children from nature-deficit disorder*. Algonquin Books.

Moore, R. C. (2014). *Nature play & learning places: Creating and managing places where children engage with nature*. Natural Learning Initiative.

Nicholson, S. (1971). How not to cheat children: The theory of loose parts. *Landscape Architecture*, 62(1), 30–34.

Piaget, J. (1962). *Play, dreams and imitation in childhood*. W. W. Norton.

Pramling Samuelsson, I., & Asplund Carlsson, M. (2008). The playing learning child. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 52(6), 623–641. https://doi.org/10.1080/00313830802497265

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Pressbooks. (t.y.). *Building the environment for play-based learning* [Early Childhood Literacy kitabı bölümü].

Qayyum, A., Fatima, R., & Iram, A. (2024). Play-based learning and child cognitive-emotional development in nature-based programs. *Annals of Human and Social Sciences*, *5*(4), 348–365.

Soydan, O. (2024). Evaluation of the landscape design of kindergarten gardens. *Eurasian Journal of Agricultural Research*, *8*(2), 159–173.

Titman, W. (1994). *Special places, special people*. Learning Through Landscapes.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

Wilson, E. O. (1984). *Biophilia*. Harvard University Press.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KENTSEL YEŞİL ALTYAPININ İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE UYUM SÜRECİNDEKİ ROLÜ VE PEYZAJ MİMARLIĞI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğretim Üyesi, Meltem GÜNEŞ TİGEN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, E.mail:mgunes@nku.edu.tr- ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5487-5548

ÖZET

İklim değişikliği, günümüzde kentlerin karşı karşıya olduğu en önemli çevresel sorunlardan biri olarak öne çıkmakta; artan sıcaklıklar, aşırı yağışlar, kuraklık, sel olayları ve kentsel ısı adası etkisi gibi olumsuzluklar kentsel yaşam kalitesini doğrudan etkilemektedir. Özellikle yoğun yapılaşma, geçirimsiz yüzeylerin artışı ve doğal alanların azalması, kentlerin iklim değişikliğine karşı kırılganlığını artırmaktadır. Bu bağlamda, kentlerin iklim değişikliğine uyum kapasitesinin güçlendirilmesi, sürdürülebilir, yaşanabilir ve dirençli kentsel çevrelerin oluşturulması açısından büyük önem taşımaktadır.Kentsel yeşil altyapı sistemleri; parklar, yeşil koridorlar, yeşil çatılar, yeşil duvarlar, yağmur bahçeleri, sulak alanlar ve doğal açık-yeşil alanlar gibi bileşenleriyle iklim değişikliğinin etkilerini azaltmaya yönelik doğa temelli çözümler sunmaktadır. Bu sistemler, kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, yağmur suyu yönetiminin iyileştirilmesi, hava kalitesinin artırılması, karbon tutulumu ve biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi gibi çok yönlü ekosistem hizmetleri sağlamaktadır. Aynı zamanda, kentlilerin açık alanlara erişimini artırarak sosyal etkileşimi ve yaşam kalitesini güçlendirmektedir. Bu çalışmanın amacı, kentsel yeşil altyapının iklim değişikliğine uyum sürecindeki rolünü Peyzaj Mimarlığı perspektifinden ele almak ve bu sistemlerin kentsel çevreler üzerindeki ekolojik, sosyal ve mekânsal katkılarını değerlendirmektir. Çalışma kapsamında, ulusal ve uluslararası literatür incelenerek yeşil altyapının iklim uyumu bağlamındaki işlevleri analiz edilmiştir. Literatür taraması yöntemiyle elde edilen bulgular doğrultusunda, yeşil altyapı uygulamalarının kentsel ısı adası etkisini azaltma, yağmur suyu yönetimini destekleme, mikroiklim koşullarını düzenleme ve kentsel ekosistemlerin sürekliliğini sağlama açısından önemli katkılar sunduğu ortaya konulmuştur. Peyzaj Mimarlığı disiplini, yeşil altyapı sistemlerinin planlanması, tasarlanması ve uygulanmasında bütüncül bir yaklaşım sunarak iklim değişikliğine uyum stratejilerinin kentsel mekâna entegrasyonunda kritik bir rol üstlenmektedir. Peyzaj mimarları, doğal süreçleri ve ekolojik ilkeleri tasarım kararlarına entegre ederek hem çevresel sürdürülebilirliği desteklemekte hem de kamusal açık alanların estetik ve işlevsel değerini artırmaktadır. Sonuç olarak, kentsel yeşil altyapı sistemleri, iklim değişikliğine uyum sürecinde yalnızca çevresel değil, aynı zamanda sosyal ve mekânsal faydalar sunan stratejik bir araç olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışma, yeşil altyapının Peyzaj Mimarlığı bağlamındaki önemini vurgulayarak, iklim dirençli kentlerin oluşturulmasına yönelik planlama ve tasarım yaklaşımlarına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel yeşil altyapı, iklim değişikliği, iklim uyumu, peyzaj mimarlığı, sürdürülebilir kentler.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

İklim değişikliği, günümüzde kentlerin karşı karşıya olduğu en önemli çevresel ve mekânsal sorunlardan biri olarak kabul edilmektedir. Artan ortalama sıcaklıklar, aşırı ve düzensiz yağış rejimleri, kuraklık, sel ve taşkın olayları ile kentsel ısı adası etkisi, özellikle yoğun yapılaşmış kentsel alanlarda yaşam kalitesini doğrudan etkilemektedir (Gill vd., 2007; Jones, 2013; Meerow vd., 2016). Bu etkiler, kentlerin yalnızca iklim değişikliğine katkıda bulunan mekânlar değil, aynı zamanda iklim kaynaklı risklere karşı en kırılgan alanlar olduğunu da ortaya koymaktadır.

Hızlı kentleşme süreciyle birlikte geçirimsiz yüzeylerin artması, doğal ve yarı doğal alanların azalması ve ekolojik sürekliliğin bozulması, kentlerin iklim değişikliğine uyum kapasitesini önemli ölçüde sınırlandırmaktadır. Literatürde, geleneksel kentsel planlama yaklaşımlarında ağırlıklı olarak kullanılan mühendislik temelli gri altyapı sistemlerinin, iklim değişikliğinin karmaşık ve çok boyutlu etkilerine karşı uzun vadeli ve sürdürülebilir çözümler üretmekte yetersiz kaldığı vurgulanmaktadır (Ahern, 2011; Benedict & McMahon, 2006; Salata & Yiannakou, 2016). Bu durum, kentlerde ekolojik süreçleri merkeze alan ve doğa ile uyumlu planlama yaklaşımlarının gerekliliğini gündeme getirmiştir.

Bu bağlamda kentsel yeşil altyapı, iklim değişikliğine uyum sürecinde öne çıkan doğa temelli çözüm yaklaşımlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Yeşil altyapı; parklar, yeşil koridorlar, kent ormanları, sulak alanlar, yeşil çatılar, yeşil duvarlar ve yağmur bahçeleri gibi doğal ve yarı doğal bileşenlerden oluşan, ekolojik ve mekânsal süreklilik sağlayan bir sistem olarak tanımlanmaktadır (Benedict & McMahon, 2006; Çelikoğlu & Örücü, 2024). Bu sistemler, kentsel mekânda yalnızca estetik değer üretmekle kalmamakta; aynı zamanda çok yönlü ekosistem hizmetleri aracılığıyla iklim değişikliğinin etkilerini azaltmaya yönelik önemli katkılar sunmaktadır.

Kentsel yeşil altyapı sistemleri; kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, mikroiklim koşullarının düzenlenmesi, yağmur suyu yönetiminin iyileştirilmesi, hava kalitesinin artırılması, karbon tutulumu ve biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi gibi düzenleyici ekosistem hizmetleri sağlamaktadır (Gill vd., 2007; Pauleit vd., 2017; Jones, 2013). Bunun yanı sıra, kamusal açık alanların niteliğini artırarak kentlilerin açık alanlara erişimini güçlendirmekte; sosyal etkileşimi, fiziksel aktiviteyi ve psikolojik iyilik halini desteklemektedir (Hartig vd., 1991; Kaplan & Kaplan, 1989; McFarland vd., 2008). Bu yönüyle yeşil altyapı, iklim değişikliğine uyum sürecinde çevresel, sosyal ve mekânsal boyutları bir arada ele alan bütüncül bir araç niteliği taşımaktadır.

Peyzaj Mimarlığı disiplini, kentsel yeşil altyapı sistemlerinin planlanması, tasarlanması ve uygulanmasında ekolojik ilkeleri ve doğal süreçleri mekânsal kararlarla bütünleştiren bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır. Peyzaj mimarları, yeşil altyapı bileşenlerini kentsel mekâna entegre ederek hem iklim değişikliğine uyum stratejilerinin uygulanabilirliğini artırmakta hem de kamusal açık alanların estetik ve işlevsel değerini güçlendirmektedir (Ahern, 2011; Benedict & McMahon, 2006; Çelikoğlu & Örücü, 2024). Bu bağlamda peyzaj mimarlığı, iklim dirençli ve sürdürülebilir kentlerin oluşturulmasında kilit bir rol üstlenmektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bu çalışma, kentsel yeşil altyapının iklim değişikliğine uyum sürecindeki rolünü Peyzaj Mimarlığı perspektifinden ele alarak, bu sistemlerin kentsel çevreler üzerindeki ekolojik, sosyal ve mekânsal katkılarını literatür temelli olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ulusal ve uluslararası literatürün incelenmesiyle, yeşil altyapı uygulamalarının iklim uyumu bağlamındaki işlevleri analiz edilmekte; elde edilen bulgular doğrultusunda, iklim dirençli kentlerin oluşturulmasına yönelik planlama ve tasarım yaklaşımlarına katkı sunulması hedeflenmektedir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Kentsel Yeşil Altyapı Kavramı ve Temel Bileşenleri

Kentsel yeşil altyapı kavramı, doğal ve yarı doğal alanların ekolojik, mekânsal ve işlevsel bir ağ sistemi içerisinde ele alınmasını esas alan bütüncül bir planlama ve tasarım yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır. İlk kez sistematik biçimde Benedict ve McMahon (2006) tarafından ortaya konulan bu yaklaşım, yeşil alanları birbirinden bağımsız mekânlar olarak değil; ekosistem hizmetlerinin sürekliliğini sağlayan, bağlantılı ve çok işlevli bir altyapı sistemi olarak değerlendirmektedir. Bu yönüyle yeşil altyapı, geleneksel açık alan planlamasından ayrılmakta ve kentsel çevrelerde ekolojik temelli bir dönüşümü temsil etmektedir (Ahern, 2011; Pauleit vd., 2017).

Literatürde kentsel yeşil altyapı, iklim değişikliğine uyum ve sürdürülebilir kentsel gelişme hedefleriyle doğrudan ilişkilendirilmektedir. Yeşil altyapı sistemleri, doğal süreçleri destekleyerek kentsel ekosistemlerin işlevselliğini artırmakta; aynı zamanda iklim değişikliğinin kentler üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik doğa temelli çözümler sunmaktadır (Gill vd., 2007; Jones, 2013; Salata & Yiannakou, 2016). Bu bağlamda yeşil altyapı, yalnızca çevresel bir düzenleme aracı değil, aynı zamanda stratejik bir iklim uyum mekanizması olarak ele alınmaktadır.

Kentsel yeşil altyapının temel bileşenleri; parklar, kent ormanları, yeşil koridorlar, sulak alanlar, yeşil çatılar, yeşil duvarlar, yağmur bahçeleri ve geçirgen yüzeyler gibi farklı ölçek ve nitelikteki yeşil alanlardan oluşmaktadır. Bu bileşenlerin ortak özelliği, ekosistem hizmetleri üretme kapasiteleri ve birbirleriyle bağlantılı bir sistem oluşturabilmeleridir (Benedict & McMahon, 2006; Çelikoğlu & Örücü, 2024). Özellikle yeşil koridorlar ve mavi-yeşil altyapı elemanları, ekolojik sürekliliğin sağlanmasında ve kentsel ölçekte dirençli bir mekânsal yapı oluşturulmasında kritik bir rol üstlenmektedir (Arslan, 2022; Jones, 2013).

Yeşil altyapı sistemlerinin sunduğu ekosistem hizmetleri; düzenleyici, destekleyici, kültürel ve tedarik edici hizmetler olmak üzere farklı başlıklar altında değerlendirilmektedir. Düzenleyici hizmetler kapsamında mikroiklimin düzenlenmesi, kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, hava kalitesinin iyileştirilmesi ve yağmur suyu yönetimi öne çıkarken; destekleyici hizmetler biyolojik çeşitliliğin korunması ve ekosistem sürekliliğinin sağlanması açısından önem taşımaktadır (Hartig vd., 1991; Kaplan & Kaplan, 1989; Pauleit vd., 2017). Kültürel hizmetler ise rekreasyon, estetik değer, sosyal etkileşim ve psikolojik iyilik hali gibi kentsel yaşam kalitesini doğrudan etkileyen unsurları içermektedir (McFarland vd., 2008; Sürdürülebilir ve Dirençli Kentler, 2022).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Kentsel yeşil altyapının iklim değişikliğine uyum sürecindeki önemi, bu sistemlerin esnek, uyarlanabilir ve çok işlevli yapısından kaynaklanmaktadır. Geleneksel gri altyapı sistemleri genellikle tek bir probleme odaklanırken, yeşil altyapı çözümleri aynı anda birden fazla iklim riskine yanıt verebilmektedir. Bu özellik, yeşil altyapıyı iklim belirsizlikleri karşısında daha dirençli bir planlama aracı haline getirmektedir (Ahern, 2011; Gill vd., 2007; Meerow vd., 2016).

Bu çerçevede kentsel yeşil altyapı, iklim değişikliğine uyum, kentsel dirençlilik ve sürdürülebilirlik hedeflerinin kesişim noktasında yer almakta; özellikle Peyzaj Mimarlığı disiplini açısından, ekolojik ilkelerin kentsel mekâna aktarılmasında temel bir araç olarak öne çıkmaktadır. Peyzaj mimarlığı, yeşil altyapı sistemlerinin mekânsal organizasyonu, tasarımı ve uygulanması süreçlerinde disiplinler arası bir yaklaşım sunarak, iklim değişikliğine uyum odaklı kentsel dönüşümlerin gerçekleştirilmesine katkı sağlamaktadır (Ahern, 2011; Benedict & McMahon, 2006; Çelikoğlu & Örücü, 2024).

2.2. Kentsel Yeşil Altyapı Yaklaşımının Temel Özellikleri

Kentsel planlama ve altyapı sistemleri, uzun yıllar boyunca ağırlıklı olarak mühendislik temelli gri altyapı yaklaşımları üzerinden ele alınmıştır. Bu yaklaşımlar; ulaşım, drenaj, enerji ve teknik altyapı gibi işlevlere odaklanmakta ve çoğunlukla tek işlevli, kapalı ve sert yüzeylere dayalı çözümler sunmaktadır. Ancak iklim değişikliğinin çok boyutlu ve belirsizlik içeren etkileri karşısında, gri altyapı sistemlerinin esneklik ve uyarlanabilirlik açısından yetersiz kaldığı literatürde sıklıkla vurgulanmaktadır (Ahern, 2011; Gill vd., 2007; Salata & Yiannakou, 2016).

Bu noktada kentsel yeşil altyapı, geleneksel planlama ve altyapı yaklaşımlarından ayrışan temel özellikleriyle öne çıkmaktadır. Yeşil altyapı, doğrudan doğal süreçleri ve ekosistem işleyişini temel alması nedeniyle, iklim değişikliğine uyum sürecinde daha esnek ve çok işlevli çözümler sunmaktadır. Gri altyapı sistemleri belirli bir soruna yönelik tasarlanırken, yeşil altyapı uygulamaları aynı anda birden fazla iklim riskine yanıt verebilmekte; bu yönüyle kentsel dirençliliği artıran bir planlama aracı olarak değerlendirilmektedir (Benedict & McMahon, 2006; Ahern, 2011; Meerow vd., 2016).

Kentsel yeşil altyapının ayırt edici özelliklerinden biri, doğa temelli çözümler yaklaşımını benimsemesidir. Bu yaklaşım, teknik altyapı çözümlerini tamamen dışlamamakta; aksine doğal sistemlerle bütünleşik biçimde ele alarak daha sürdürülebilir ve uzun vadeli sonuçlar üretmeyi amaçlamaktadır. Literatürde, yeşil altyapının doğa temelli çözümler kapsamında değerlendirilmesinin, iklim değişikliğine uyum politikalarının mekânsal karşılık bulmasını kolaylaştırdığı belirtilmektedir (Pauleit vd., 2017; Jones, 2013; Climate, 2019).

Yeşil altyapı sistemlerinin bir diğer önemli avantajı, uyarlanabilirlik ve esneklik kapasitesidir. İklim değişikliğine bağlı belirsizlikler karşısında, yeşil altyapı uygulamaları zaman içinde geliştirilebilmekte, ölçeklenebilmekte ve farklı kentsel bağlamlara uyarlanabilmektedir. Bu özellik, özellikle uzun vadeli planlama süreçlerinde yeşil altyapının stratejik bir araç olarak tercih edilmesini sağlamaktadır (Ahern, 2011; Salata & Yiannakou, 2016; Jones, 2013).

Kentsel yeşil altyapı, çevresel işlevlerinin yanı sıra sosyal ve mekânsal boyutlarıyla da geleneksel planlama yaklaşımlarından ayrılmaktadır. Yeşil alanların kamusal mekânlar aracılığıyla kentlilerin kullanımına sunulması, sosyal etkileşimi artırmakta ve kentsel yaşam

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

kalitesine doğrudan katkı sağlamaktadır. Bu yönüyle yeşil altyapı, yalnızca teknik bir altyapı sistemi değil; aynı zamanda kentsel mekânın sosyal üretimini destekleyen bir planlama yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir (Hartig vd., 1991; Kaplan & Kaplan, 1989; McFarland vd., 2008).

Ayrıca kentsel yeşil altyapı, ekosistem hizmetlerinin sürekliliğini sağlaması bakımından diğer planlama modellerine göre önemli bir üstünlük sunmaktadır. Gri altyapı sistemleri çoğunlukla ekosistem işlevlerini dışlarken, yeşil altyapı sistemleri biyolojik çeşitliliğin korunması, ekolojik bağlantıların güçlendirilmesi ve doğal döngülerin desteklenmesi gibi süreçleri doğrudan planlama kararlarının merkezine almaktadır (Benedict & McMahon, 2006; Sürdürülebilir ve Dirençli Kentler, 2022).

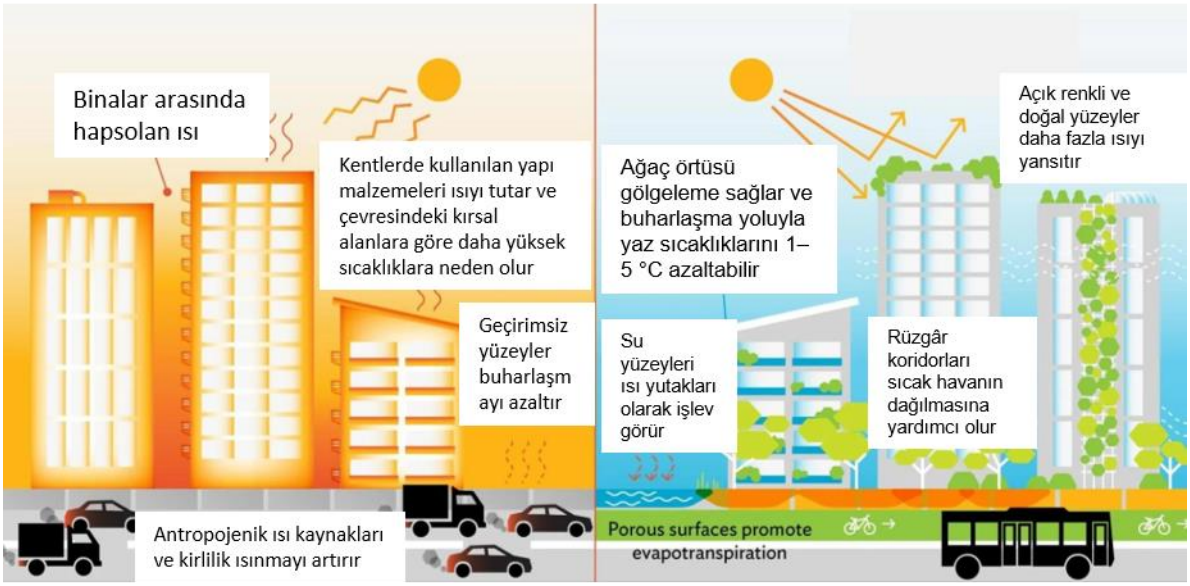
Sonuç olarak kentsel yeşil altyapı, geleneksel planlama ve altyapı yaklaşımlarından farklı olarak, ekolojik süreçleri, sosyal ihtiyaçları ve mekânsal kararları bütüncül bir çerçevede ele alan yenilikçi bir model sunmaktadır. Bu özellikleriyle yeşil altyapı, iklim değişikliğine uyum, kentsel dirençlilik ve sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesinde Peyzaj Mimarlığı disiplini açısından güçlü ve vazgeçilmez bir araç niteliği taşımaktadır.

2.3. Kentsel Yeşil Altyapının İklim Değişikliğine Uyum Sürecindeki Rolü

İklim değişikliğinin kentler üzerindeki etkileri, artan sıcaklıklar, aşırı yağışlar, kuraklık ve taşkın riskleri gibi çok boyutlu çevresel sorunlar üzerinden kendini göstermektedir. Bu sorunlar, özellikle yoğun yapılaşmış ve geçirimsiz yüzeylerin yaygın olduğu kentsel alanlarda daha belirgin hale gelmekte; kentlerin iklim değişikliğine karşı kırılganlığını artırmaktadır. Literatürde, bu kırılganlığın azaltılmasında kentsel yeşil altyapı sistemlerinin iklim değişikliğine uyum sürecinde kritik bir rol üstlendiği vurgulanmaktadır (Gill vd., 2007; Jones, 2013; Salata & Yiannakou, 2016).

Kentsel yeşil altyapının iklim değişikliğine uyum sürecindeki temel katkılarından biri, kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasıdır. Ağaçlar, yeşil alanlar ve bitkisel yüzeyler aracılığıyla sağlanan gölgeleme ve evapotranspirasyon süreçleri, yüzey ve hava sıcaklıklarının düşürülmesine katkı sağlamaktadır. Bu durum, özellikle sıcak hava dalgalarının etkisinin yoğunlaştığı kent merkezlerinde termal konforun iyileştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Gill vd., 2007; Pauleit vd., 2017; Jones, 2013). Yeşil altyapı uygulamaları, mikroiklim koşullarını düzenleyerek iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışlarının olumsuz etkilerini azaltmaktadır. Kentsel ısı adası etkisi ile doğa temelli çözümlerin soğutma potansiyeli arasındaki farklar, yeşil ve mavi altyapı bileşenleri bağlamında Görsel 1'de şematik olarak gösterilmektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 1. Kentsel ısı adası etkisi ve doğa temelli çözümlerin soğutma etkilerinin şematik gösterimi (Gill vd., 2007; Ahern, 2011'den yararlanılarak).

Yeşil altyapı sistemlerinin bir diğer önemli işlevi, yağmur suyu yönetiminin desteklenmesi ve taşkın riskinin azaltılmasıdır. Geçirgen yüzeyler, yağmur bahçeleri, sulak alanlar ve mavi-yeşil altyapı bileşenleri, yağmur suyunun yerinde tutulmasını ve yavaşlatılmasını sağlayarak kentsel drenaj sistemleri üzerindeki baskıyı azaltmaktadır. Literatürde, bu tür uygulamaların iklim değişikliğiyle birlikte artan aşırı yağış olaylarına karşı kentlerin uyum kapasitesini güçlendirdiği belirtilmektedir (Benedict & McMahon, 2006; Salata & Yiannakou, 2016; Arslan, 2022).

Kentsel yeşil altyapı, iklim değişikliğine uyum sürecinde ekosistem hizmetlerinin sürekliliğini sağlaması bakımından da önemli bir rol üstlenmektedir. Biyolojik çeşitliliğin korunması, ekolojik bağlantıların güçlendirilmesi ve doğal döngülerin desteklenmesi, iklim değişikliğinin ekosistemler üzerindeki baskısını azaltmaktadır. Bu süreç, kentlerin yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekolojik açıdan da daha dirençli hale gelmesine katkı sunmaktadır (Çelikoğlu & Örücü, 2024; Sürdürülebilir ve Dirençli Kentler, 2022).

Yeşil altyapı sistemlerinin iklim değişikliğine uyum sürecindeki katkıları, yalnızca çevresel boyutla sınırlı kalmamaktadır. Yeşil alanların sunduğu rekreasyonel ve sosyal olanaklar, kentlilerin fiziksel ve psikolojik iyilik halini desteklemekte; iklim kaynaklı stres faktörlerinin etkisini azaltmaktadır. Bu yönüyle yeşil altyapı, toplumsal dayanıklılığı ve yaşam kalitesini artıran bir uyum aracı olarak da değerlendirilmektedir (Hartig vd., 1991; Kaplan & Kaplan, 1989; McFarland vd., 2008).

Peyzaj Mimarlığı disiplini, kentsel yeşil altyapının iklim değişikliğine uyum sürecindeki rolünü güçlendiren temel aktörlerden biridir. Peyzaj mimarları, ekolojik ilkeleri ve doğal süreçleri planlama ve tasarım kararlarına entegre ederek, yeşil altyapı sistemlerinin kentsel mekânda etkili ve sürdürülebilir biçimde uygulanmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda peyzaj mimarlığı, iklim değişikliğine uyum stratejilerinin mekânsal karşılık bulmasında ve iklim dirençli

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

kentlerin oluşturulmasında kritik bir rol üstlenmektedir (Ahern, 2011; Benedict & McMahon, 2006).

Sonuç olarak, kentsel yeşil altyapı sistemleri; kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, yağmur suyu yönetiminin iyileştirilmesi, mikroiklim koşullarının düzenlenmesi ve ekosistem hizmetlerinin sürekliliğinin sağlanması gibi çok yönlü katkılarıyla iklim değişikliğine uyum sürecinde stratejik bir araç olarak değerlendirilmektedir. Bu sistemlerin planlama ve tasarım süreçlerine bütüncül bir yaklaşımla entegre edilmesi, sürdürülebilir ve iklim dirençli kentsel çevrelerin oluşturulması açısından büyük önem taşımaktadır.

Kentsel yeşil altyapının iklim değişikliğine uyum sürecindeki çok yönlü katkıları, literatürde öne çıkan ortak temalar doğrultusunda değerlendirilmiş ve Çizelge 1'de sentezlenmiştir.

Çizelge 1. Kentsel Yeşil Altyapının İklim Değişikliğine Uyum Sürecindeki Rolüne İlişkin Literatür Sentezi

İklim Uyumu Teması	Yeşil Altyapı İşlevi	Kentsel Katkı	Literatürde Öne Çıkan Çalışmalar
Kentsel ısı adası etkisi	Ağaç örtüsü, yeşil çatılar, yeşil duvarlar	Yüzey ve hava sıcaklıklarının azaltılması, termal konfor	Gill vd., 2007; Jones, 2013; Pauleit vd., 2017; Salata & Yiannakou, 2016
Yağmur suyu ve taşkın yönetimi	Yağmur bahçeleri, sulak alanlar, geçirgen yüzeyler	Yüzey akışının azaltılması, sel riskinin düşürülmesi	Benedict & McMahon, 2006; Ahern, 2011; Arslan, 2022
Mikroiklim düzenleme	Bitkisel gölgeleme, evapotranspirasyon	Yerel iklim koşullarının iyileştirilmesi	Gill vd., 2007; Pauleit vd., 2017
Ekosistem sürekliliği	Yeşil koridorlar, kent ormanları	Biyolojik çeşitliliğin korunması, ekolojik bağlantı	Çelikoğlu & Örücü, 2024; Sürdürülebilir ve Dirençli Kentler, 2022
Sosyal dayanıklılık ve yaşam kalitesi	Parklar ve kamusal açık alanlar	Fiziksel ve psikolojik iyilik hali, sosyal etkileşim	Hartig vd., 1991; Kaplan & Kaplan, 1989; McFarland vd., 2008
Kentsel dirençlilik	Çok işlevli yeşil altyapı sistemleri	İklim belirsizliklerine karşı uyarlanabilirlik	Ahern, 2011; Meerow vd., 2016; Jones, 2013

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen literatür incelemesi ve Çizelge 1'de sunulan sentez, kentsel yeşil altyapının iklim değişikliğine uyum sürecinde çok boyutlu ve bütüncül bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır.

3. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bu çalışma kapsamında, kentsel yeşil altyapının iklim değişikliğine uyum sürecindeki rolü Peyzaj Mimarlığı perspektifinden ele alınmış; ulusal ve uluslararası literatür doğrultusunda yeşil altyapı sistemlerinin çevresel, sosyal ve mekânsal katkıları bütüncül bir çerçevede değerlendirilmiştir. Literatür incelemesi sonuçları, kentsel yeşil altyapının iklim değişikliğine uyum sürecinde çok işlevli ve stratejik bir araç olarak öne çıktığını ortaya koymaktadır (Benedict & McMahon, 2006; Ahern, 2011; Jones, 2013).

Çalışmada elde edilen bulgular, özellikle kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, yağmur suyu yönetiminin iyileştirilmesi ve mikroiklim koşullarının düzenlenmesi konularında yeşil altyapı sistemlerinin önemli katkılar sunduğunu göstermektedir. Bu bulgular, Gill vd. (2007), Pauleit vd. (2017) ve Salata ve Yiannakou (2016) tarafından ortaya konulan sonuçlarla örtüşmekte; bitkisel elemanların ve geçirgen yüzeylerin kentsel ölçekte iklim uyumunu güçlendirdiğini desteklemektedir. Benzer biçimde, yağmur bahçeleri ve mavi-yeşil altyapı bileşenlerinin taşkın riskinin azaltılmasında etkili olduğu, Benedict ve McMahon (2006) ile Ahern (2011) tarafından vurgulanan doğa temelli çözüm yaklaşımıyla paralellik göstermektedir.

Yeşil altyapının sunduğu ekosistem hizmetleri, iklim değişikliğine uyum sürecinde yalnızca çevresel değil, aynı zamanda sosyal ve ekolojik boyutlarda da önem taşımaktadır. Parklar ve kamusal açık alanlar aracılığıyla sağlanan rekreasyonel olanaklar, kentlilerin fiziksel ve psikolojik iyilik halini desteklemekte; bu durum Hartig vd. (1991) ile Kaplan ve Kaplan (1989) tarafından ortaya konulan bulgularla örtüşmektedir. Ayrıca yeşil altyapı sistemlerinin biyolojik çeşitliliğin korunmasına ve ekosistem sürekliliğinin sağlanmasına katkısı, kentsel dirençlilik kavramının temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Meerow vd., 2016).

Peyzaj Mimarlığı disiplini, kentsel yeşil altyapı sistemlerinin planlanması ve tasarlanması sürecinde ekolojik ilkeleri mekânsal kararlarla bütünleştirerek iklim değişikliğine uyum stratejilerinin uygulanabilirliğini artırmaktadır. Bu bağlamda peyzaj mimarlığı, yeşil altyapının kentsel ölçekte süreklilik, bağlantısallık ve çok işlevlilik ilkeleri doğrultusunda ele alınmasını sağlayarak, iklim dirençli kentlerin oluşturulmasına önemli katkılar sunmaktadır (Ahern, 2011; Benedict & McMahon, 2006).

Bu çalışma doğrultusunda, iklim değişikliğine uyum odaklı kentsel planlama ve tasarım süreçlerinde kentsel yeşil altyapının temel bir planlama bileşeni olarak ele alınması önerilmektedir. Yeşil altyapı sistemlerinin, yerel iklim koşulları ve kentsel bağlam dikkate alınarak planlanması; yeşil ve mavi altyapı bileşenlerinin bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi ve kamusal açık alanların ekolojik ve sosyal işlevlerinin güçlendirilmesi, sürdürülebilir ve dirençli kentlerin oluşturulması açısından kritik öneme sahiptir.

KAYNAKÇA

Ahern, J. (2011). From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning*, *100*(4), 341–343. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.021

Arslan, Z. (2022). *Sürdürülebilir ve dirençli kentler oluşturulmasında mavi-yeşil altyapıların rolü: İstanbul Maltepe örneği* [Yüksek lisans tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2006). *Green infrastructure: Linking landscapes and communities*. Island Press.

Ekinci, E. (2025). İklim değişikliği ve yerel yönetimler: Kentsel uyum ve azaltım. *Giresun Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, *11*(1), 15–36. https://doi.org/10.46849/guiibd.1661524

Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of green infrastructure. *Built Environment*, *33*(1), 115–133.

Hartig, T., Mang, M., & Evans, G. W. (1991). Restorative effects of natural environment experiences. *Environment and Behavior*, *23*(1), 3–26.

Jones, N. (2013). The role of green infrastructure in climate change adaptation in cities. *The Geographical Journal*, *179*(3), 275–286. https://doi.org/10.1111/geoj.12016

Kaplan, R., & Kaplan, S. (1989). *The experience of nature: A psychological perspective*. Cambridge University Press.

McFarland, A. L., Waliczek, T. M., & Zajicek, J. M. (2008). The relationship between student use of campus green spaces and perceptions of quality of life. *HortTechnology*, *18*(2), 232–238.

Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, *147*, 38–49.

Çelikoğlu, İ., & Örücü, S. (2024). *Yeşil altyapı ve ekosistem hizmetleri ilişkisinin kent ve peyzaj mimarlığı bağlamında değerlendirilmesi*. 3rd International Conference on Frontiers in Academic Research, Konya, Turkey, 15-16 June 2024.

Pauleit, S., Hansen, R., Rall, E., & Zölch, T. (2017). Nature-based solutions and climate change – Four shades of green. In N. Kabisch, H. Korn, J. Stadler, & A. Bonn (Eds.), *Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas* (pp. 29–49). Springer.

Salata, S., & Yiannakou, A. (2016). Green infrastructure and climate change adaptation. *Journal of Environmental Planning and Management*, *59*(6), 1029–1047. https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1056903

Sürdürülebilir ve Dirençli Kentler. (2022). *İklim değişikliğine uyum ve kentsel dirençlilik raporu*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

URBAN SPACE LANDSCAPE DESIGN PROPOSAL; A STUDIO EXPERIENCE

Assoc . Prof. Dr., Emine TARAKCİ EREN

Artvin Coruh University , eminetarakcieren@artvin.edu.tr - 0000-0002-5595-9505

ABSTRACT

Urban spaces are the areas that undergo the most change over time. This is because they grow or shrink due to migration in and out. Uncontrolled growth rapidly transforms cities, especially city centers, and the resulting changes that deviate from planning cause the boundaries of urban open green spaces to shrink day by day. In the study area, which is considered a square in the city center of Hopa, the open and green spaces are inadequate in terms of quality and cannot meet the needs and expectations of the users. One of the most important problems is that it is not usable and livable for all individuals, regardless of whether they are children, young people, adults, the elderly, women or men, disabled or healthy. Based on this problem, the designer defined the concept as accessible living. The landscape design project developed within this concept , its processes, technical drawings, and visuals constitute the main material of the study.

Key Keywords : Landscape Design, City Square, Urban Open Green Space, Hopa, ACU

INTRODUCTION

A city is a functional whole aimed at meeting human needs and providing the best possible living conditions for people. In a city, social distances are minimized while relationship intensities reach their highest level, and the city acquires an institutional structure (Aydemir, 1999; Tarakci Eren, 2012).

“Urban open green spaces are crucial elements for cities. They shape the structural and functional fundamental elements that make the city and urban areas more livable for people. They also play a key role in improving the quality of life. Urban green spaces are important not only because of their ecological functions, but also because of the central role they play in the health of city dwellers, social well-being, the economic benefits they provide, and the development and dissemination of sustainable ideas” (Urge , 2004; Tarakci Eren, 2012).

For all these reasons, creating urban open green spaces within the city is essential and very important. Urban open green spaces, whose physical, psychological, and economic contributions to the city and its inhabitants cannot be ignored, can be classified according to different perspectives. They are classified according to their usage, the dominance of green elements, their ecological function, ownership, function, and location characteristics.

According to Atalay (2008), urban open green spaces have recreational, bioclimatic and health, physical environment protection, city shaping, aesthetic enhancement, circulation and ecological functions. This study aimed to re -design the area, reshape the city square, create spaces that would psychologically improve and make city dwellers feel happy, and direct circulation in the right ways, through a new landscape design proposal (Atalay 2015; Önder, Polat, 2012; Uygur and Özkan 2022; İnce, 2024).

MATERIALS AND METHODS

The material for this study consists of the project processes and the final landscape design project from one of the term projects developed in the Project 3 course given in the Fall Semester of 2024-2025 at the Department of Landscape Architecture, Artvin Çoruh University. All decisions and designs related to landscape design made by the prospective landscape architect student during the project course will be examined.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Work Area

Project the area , Turkey's East Black Sea on the coast place area Artvin province Hopa district It is a square . The area is called Kuledibi . Neighborhood Turgay Ciner It is on the street . In Hopa . to the east Kemal Pasha , to the west Arhavi districts It is located . The study area total Its area is 12,416 m^2 .

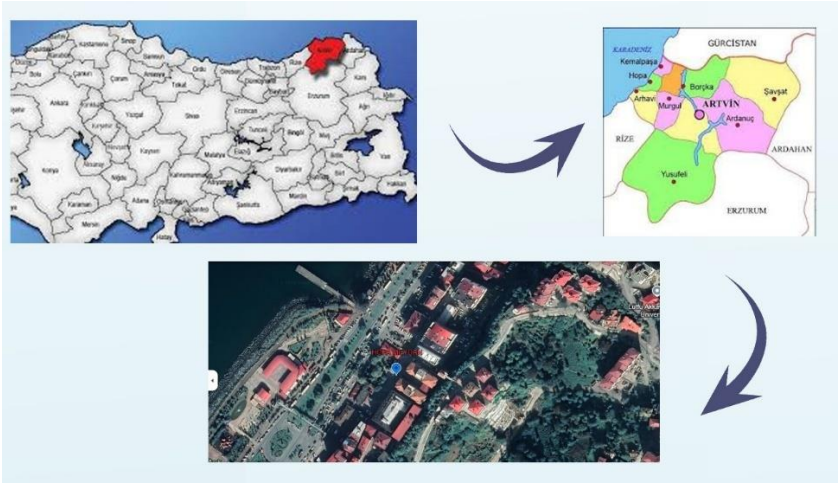


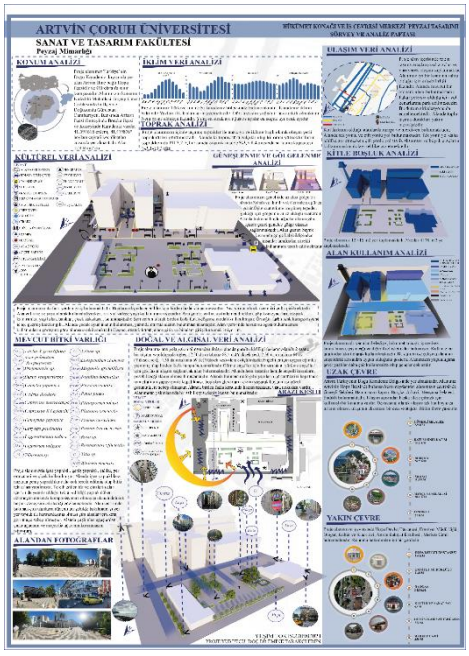
Figure 1. Study area

When the climate of the study area is examined, the Black Sea climate prevails. Summers are mild and winters are cool. It has a climate that receives rainfall in all four seasons. The humidity level is quite high. The hottest month of the year is August and the coldest month is January.

FINDINGS

Survey Analysis Study Sheet

A survey was first conducted for the study area, and existing data and problems were identified. Natural, cultural, and perceptual landscape characteristics were examined using on-site observation and inspection methods.



ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Figure 2. Landscape to the project related survey analysis map sheet

Site Plan and Design Main Decisions Sheet

The design concept is defined as 'Accessible Living'. The aim is to create spaces that are equally accessible, understandable, and usable by everyone. At the same time, the goal is to create a spatial pattern where people can connect and socialize, where people from different socio -demographic backgrounds can come and use the space, and where activities that bring the community together can be organized.

Figure 3. Proposal landscape project for stain plan And design decisions map sheet

Developed Landscape Design Project

survey and analysis studies according to the work schedule, continues with site plan design decisions, and concludes with the final design master plan. The implementation and detail project phases then begin. Within the scope of this work, after creating a plan in AutoCAD for the landscape design to be evaluated, a three-dimensional rendering was prepared in SketchUp , and then the final visuals of the landscape design project (Table 1) were prepared in Lumion software. Table 1 shows different angles of the landscape design project for the entire project area.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Table 1. Recommendation landscape design of the project general appearance

Entrance Areas

Access to the area has been designed as both pedestrian and vehicular. Vehicle parking areas have been placed underground, freeing the design area from vehicular traffic. This prioritizes pedestrian accessibility. Users can essentially enter the workspace, which is a public space, from many points because it is not a private area enclosed by walls. However, the designer will guide users to the most suitable entry points through their designs. For this purpose, four areas have been designed as main and intermediate entrances. One is the entrance area for vehicles to the enclosed parking lot; the other three are pedestrian entrances for users coming from the west of the area; and the remaining two are pedestrian entrances designed as a main entrance and an intermediate entrance on the north side of the area (Table 2).

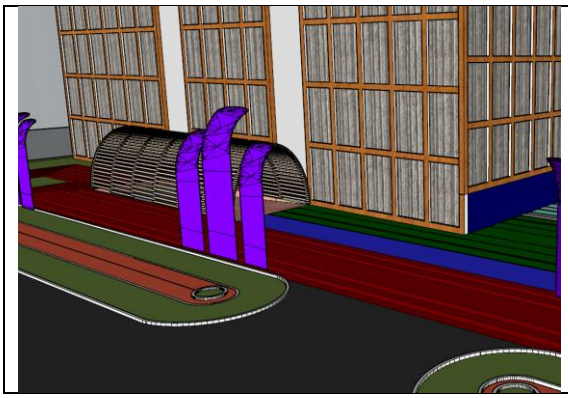
Table 2. Recommendation landscape of the project entrance areas

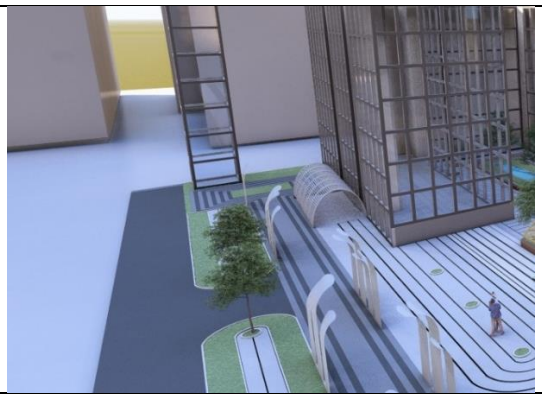
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Parking Garage

The area beneath the public buildings in the study area has been designed as an underground parking garage, with a 200 square meter space allocated for this purpose (Table 3).

Table 3. Closed parking images





Children's playgrounds

The children's play areas to be designed in the area will not be ordinary play areas with playground equipment . Instead, they will be designed to be more suitable for the city square and will be multi-purpose. They are conceived as spaces that add aesthetic value to the area while also entertaining children. Dry pools and light displays on the ground will be designed (Figure 4).

Figure 4. Image of a children's playground.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Water element

This area is an urban space with a high proportion of hard surfaces. Therefore, a water feature has been incorporated to add aesthetic value to the area while also providing a functional space for rainwater collection (Figure 5).

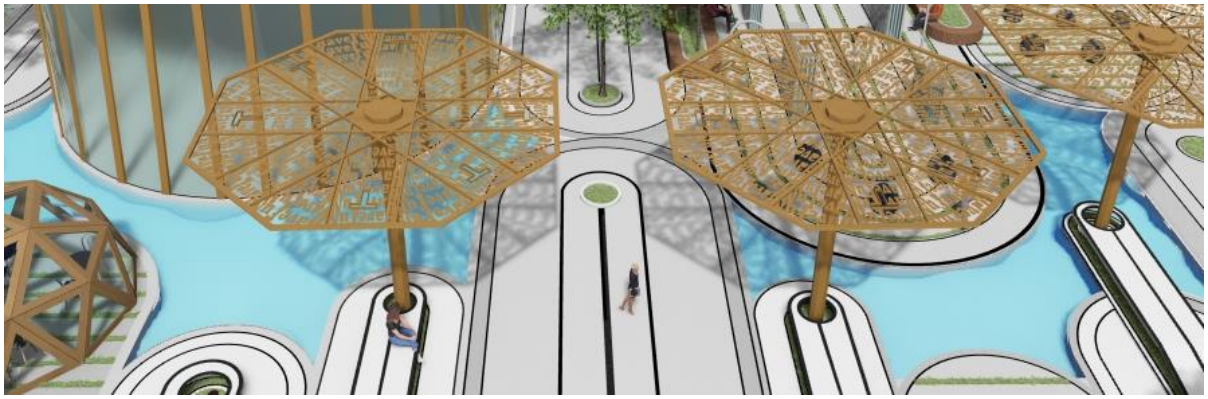


Figure 5. Visual representation of the water element.

Pitch

The study area is bordered on the north by a city road. Besides that, it is also a very noisy area. In this region, where both pedestrian and vehicle traffic is very high, soundproofing barriers have been constructed using vegetation to absorb the noise . For example, the noise from a car traveling at 30, 60, or 90 km/h can be heard 6 meters away at the “ Illicium” The hedge plant " anistatum " showed a reduction of 3, 6, and 10 dB (Yazgan, 1980). Student photinia rejection Robin Nana and Acer It has developed a sound pattern with the Platanoides species.

Film viewing tent area

This area is a space where people can watch films in an intimate and warm environment under a glass partition (Figure 6).

Figure 6. Film viewing tent area.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Food and beverage areas

This area is used daily by both local users and users who come for day trips . Open and semi-open dining areas have been designed to meet the food and beverage needs of tourists . A semi-enclosed cafeteria where they can obtain food and drinks has also been planned (Figure 7).

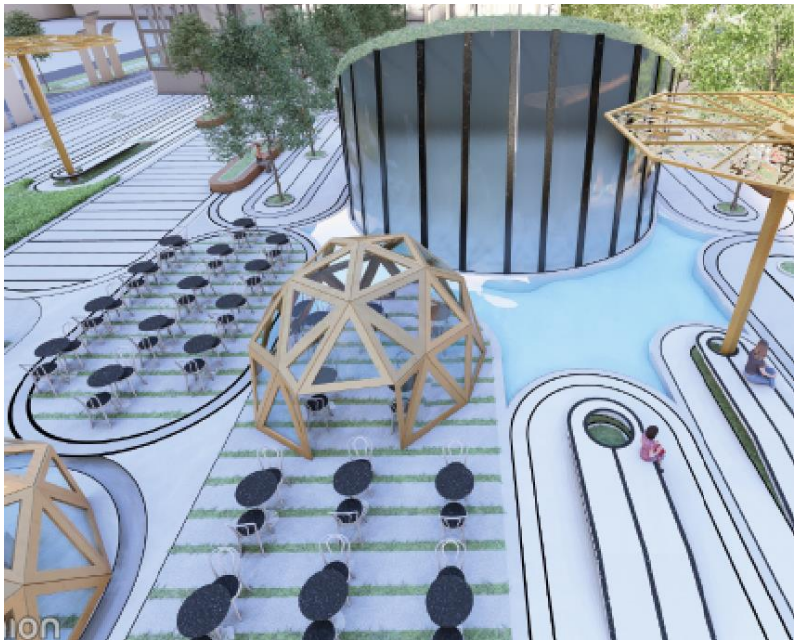


Figure 7. Dining area.

Seating and resting areas

Instead of designing a dedicated seating area in this space, seating elements have been frequently used at regular intervals throughout the area, which already has high circulation and is traversed by transportation routes, taking into consideration both able-bodied and disabled individuals. The seating elements have been designed in conjunction with green elements. Care has been taken to ensure that they are both functional and aesthetically pleasing (Figure 8).

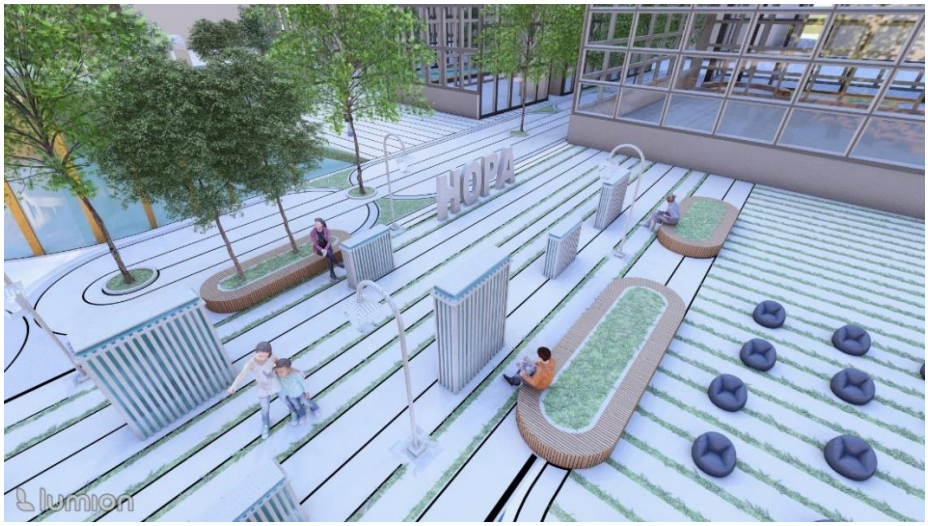


Figure 8. Seating areas

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bioswaller area

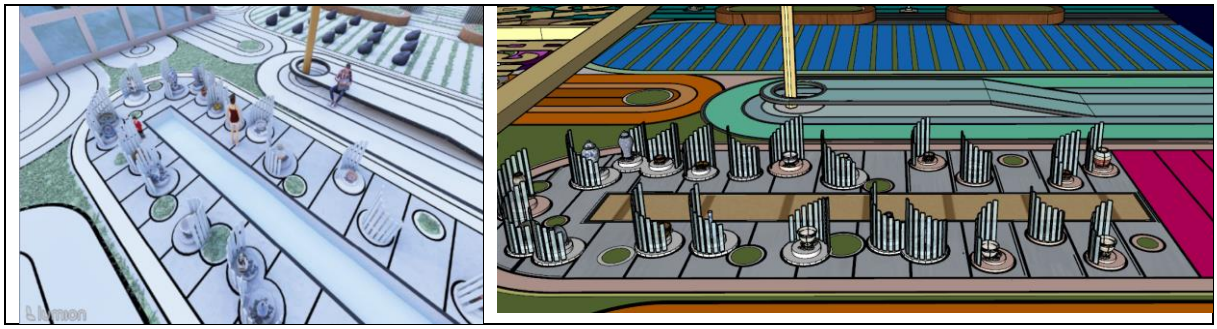
bioswales, were designed to control rainwater runoff, collect, convey, filter, and strain the water (Figure 9).

Figure 9. Biosvaller area.

Culture Street

Urban amenities are elements designed and appropriately placed in any open space and urban environment to meet the functional needs of users, such as rest, entertainment, and transportation. They emphasize contemporary urban identity, create a strong sense of space, and contribute to a rich urban fabric. Within the context of environmental design and lifestyle, the space contains a cultural dimension. This cultural dimension creates distinguishing elements between the people living in the space and the identity of the city. It also imbues the user with concepts such as assigning meaning to the amenity within their life, and giving it significance. In this design, the designer has created an exhibition area within the urban landscape design where locally specific works will be displayed. This area has been named the "Culture Street" (Table 3).

Table 3. Culture to your street related images



Sensory Garden

Instead of playgrounds, sensory gardens have been designed for children in the area. These gardens will allow children to experience touch, smell, hearing, taste, and sight. This area is not only useful for children but also for elderly users. The design includes exhibition walls for sight, moving water features for hearing, plant designs from various plant species for touch and smell, and dining areas for taste (Figure 10).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

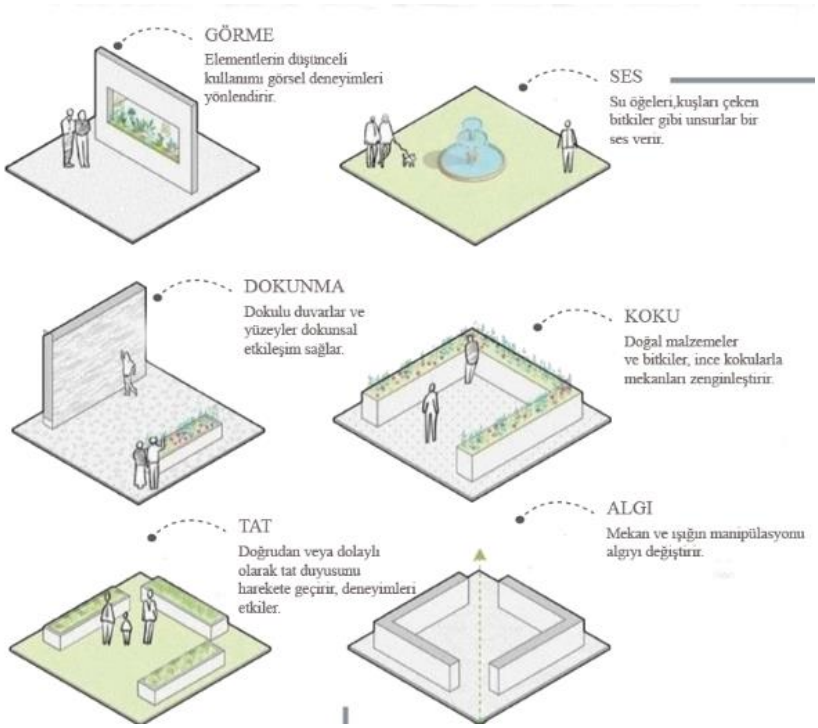
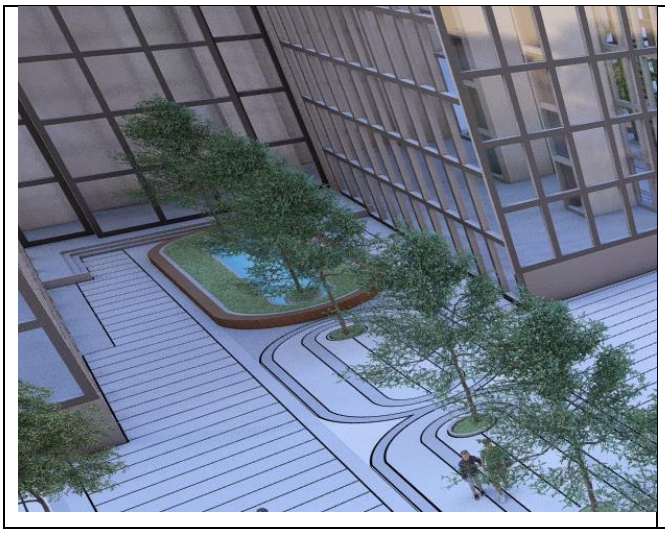
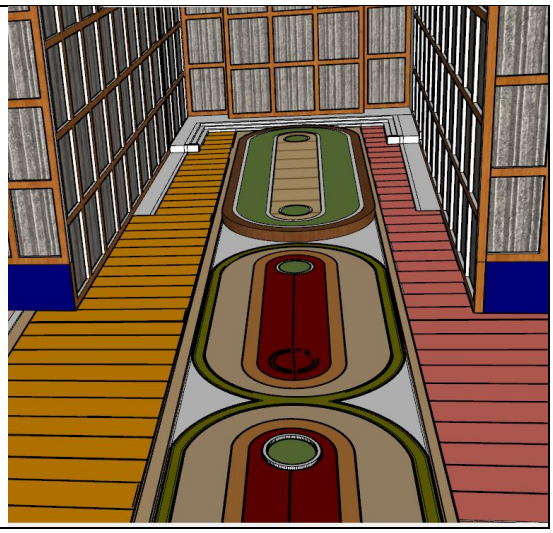


Figure 10. The Senses garden sketches (url-1)

Courtyard

Public buildings (municipal buildings, government offices, etc.) have been designed with private courtyard areas in front where public employees can take short breaks. These courtyards have been made more aesthetically pleasing and comfortable with seating elements, ornamental pools, and landscaping (Table 4).

Table 4. Courtyard design

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

RESULTS

The open green spaces in the study area, in their current state, are merely leftover areas from the buildings located there. They are more undesigned open green spaces than positive outdoor areas created by the existing structures. However, following the landscape design proposal, they have been transformed into usable and livable spaces that can enhance the city's appeal and image, hosting a wide variety of activities. Going beyond simply being a space, the proposal has been realized with the potential to become a place. Because spaces can only become places if they are given local characteristics. While the existing city square, along with the structures within or around it, creates chaos rather than forming a whole, the proposed landscape design has transformed open green spaces and building areas into successful urban environments. The physical, connection, recreation, aesthetic, psychological, and sociological functions of the open green spaces in their current state were examined, and it was determined that they were insufficient and unable to fulfill their functions in all aspects. Therefore, the proposed landscape design project incorporates many different functional areas into the space.

The current study area is a collage of spaces composed of different textures, shapes, colors, and materials. This has been found to reduce the readability of the city. In the proposed landscape design project, however, it is observed that urban elements, in terms of their physical characteristics such as texture, shape, color, and material, are unique in themselves, yet when combined, they form a similar and unified whole, carrying a distinct meaning.

ACKNOWLEDGE

Yeşim Tokis for developing this landscape design project for Hopa City Square with serious effort and dedication, under my guidance throughout the relevant period.

REFERENCES

Atalay, H. (2015). Use of Urban Open and Green Spaces in the Event of an Earthquake – The Example of Cennet Neighborhood, Küçükçekmece.

Eren, ET (2012). Changes in the distribution of urban open green spaces throughout history: The case of Boztepe- Ganita axis in Trabzon city . Master's Thesis, KTU.

İnce, K. , (Ed.). (2024). Sustainable Management of Urban Green Spaces. ISBN: 978-625-367-746-6. Iksad Publications

Önder, S. , & Polat, AT (2012). The place and importance of urban open-green spaces in urban life. *Seminar on the Formation and Maintenance Principles of Urban Landscape Areas* , *19* , 73-96.

Uygur, A. , & Özkan, NB (2022). The role of recreational green spaces in urban planning. *Journal of Recreation and Tourism Research* , *9* (2), 70-81.

URL-1 (access date: 20.12.2025) https://tr.pinterest.com/pin/811985007857594242/

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

FARKLI ARAZİ KULLANIMI ALTINDAKİ TOPRAK ÖZELLİKLERİNİN KÜRESEL VERİ SETİ KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Doç. Dr. GÜLAY KARAHAN

Çankırı Karatekin Üniversitesi, gkarahan03@gmail.com- org/0000-0003-1285-6546

ÖZET

Çeşitli tarımsal ekosistemlerdeki toprak özelliklerinin değerlendirilmesi, toprak bileşimi, yönetim uygulamaları ve çevresel koşullar dahil olmak üzere birbiriyle ilişkili birçok faktörden etkilenmektedir. Bu çalışma, büyük veri tabanını kullanarak farklı arazi kullanımları altındaki toprakların fiziksel ve kimyasal değişkenlerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, yaklaşık 90 ülkeden kaydedilen ve Almanya, Jülich'te bulunan Agrosphere Enstitüsü'nde bir araya getirilen toprak özelliklerine ait 1959 deney sonucunu içeren Soil Water Infiltrasyon Global (SWIG) veri tabanı kullanılmıştır. Toprak özelliklerine ait veriler, tarım, mera, orman ve bahçe gibi farklı arazi kullanımındaki topraklardan toplanmıştır. Toprak tekstür sınıfı, hacim ağırlığı, organik karbon, toprak hidrolik iletkenliği, pH ve elektriksel iletkenlik gibi toprak özelliklerine ait veriler ile R Studio (4.4.2) programı kullanılarak faktör analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, toprak değişkenleri, tarım alanlarındaki toplam değişkenliğin yaklaşık %84'ünü, mera alanlarındaki toplam değişkenliğin yaklaşık %78'ini, orman ve mera alanlarındaki toplam değişkenliğin %73'ünü tanımlamıştır. Tarım alanlarında, doygun hidrolik iletkenlik, kil içeriği, hacim ağırlığı ve elektriksel iletkenlik değişkenleri 1. faktöre yüklenmiş olup, bu faktör veri setinin varyansının %45,85'ini açıklamıştır. Mera alanlarında, hacim ağırlığı ve elektriksel iletkenlik değişkenleri 1. faktöre yüklenmiş olup, bu faktör veri setinin varyansının %39,304'ünü açıklamıştır. Orman alanlarında, EC ve organik karbon değişkenleri 1. faktöre yüklenmiş olup, bu faktör veri setinin varyansının %35,520'sini açıklamıştır ve bahçe alanlarında ise, kil değişkeni 1. faktöre yüklenmiş olup, bu faktör veri setinin varyansının %33,397'sini açıklamıştır. Çalışmada elde edilen sonuçların, tarımsal verimliliği ve sürdürülebilirliği optimize etmek için farklı arazi kullanımlarındaki toprak değişkenlerinin modellemesinde araştırmacılara ve tarımsal çalışmalarda uygulama kararları almada faydalı bilgiler sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler : Arazi kullanımı, toprak özellikleri, faktör analizi, küresel toprak veri seti

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

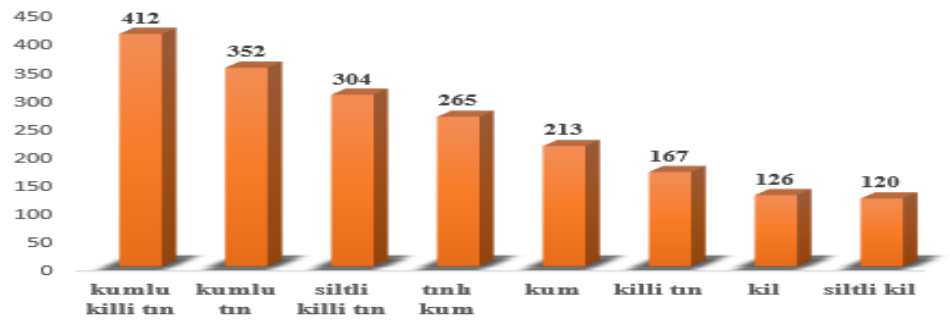
1. GİRİŞ

Toprak çalışmalarında arazi kullanım yöntemleri ve kullanılan ekipmanlar, farklı arazi kullanımlarında toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde farklı etkilere yol açabilir. Farklı arazi kullanımlarında, toprak özelliklerinin çeşitli faktörlerden etkilendiği bildirilmektedir **[1].** Doğal otlakların tarım arazisine dönüştürülmesinin, toprak organik madde (SOM) içeriğinde, agregat stabilitesinde ve doymuş hidrolik iletkenlikte azalmaya yol açtığı **[2]**, toprak infiltrasyon oranını azaltarak toprak fiziksel özelliklerini etkilediği **[3]** ve toprak organik karbonunu (SOC) azaltarak toprağın bozunmasına neden olduğu **[4]** yapılan çalışmalarla kaydedilmiştir. Ayrıca, arazi kullanımındaki ve yönetimindeki değişiklikler hidrolik özellikleri **[5]** ve toprak hacim ağırlığını **[6]**, önemli ölçüde etkileyebilir. Diğer çalışmalar, meraların geleneksel olarak işlenmiş arazilere göre daha yüksek infiltrasyon oranlarına ve doygun hidrolik iletkenlik değerlerine sahip olduğunu göstermiştir **[7]. [8],** arazi kullanımındaki bir değişikliğin yüzey toprağının neredeyse doymuş hidrolik özelliklerini değiştirdiğini göstermiştir. Bu çalışmada, farklı arazi kullanımları (tarım, mera, orman ve bahçe) altındaki topraklara ait toprak değişkenleri değerlendirilerek arazi kullanımına göre toprak özelliklerinin değişimi değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

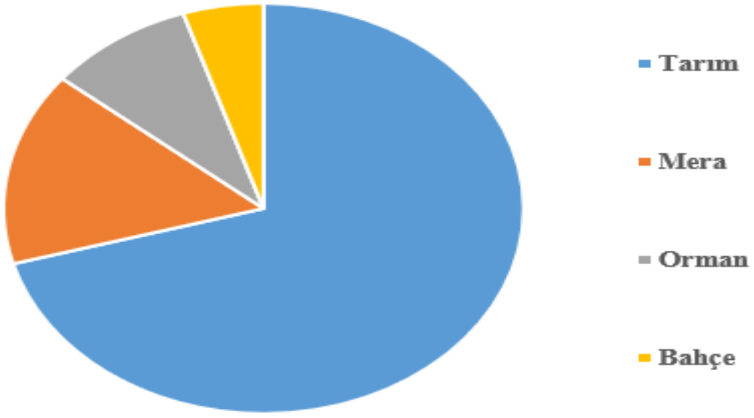
2.1. Materyal

Bu çalışmada, 90'dan fazla kaynaktan toplanan ve Almanya Yülich kentindeki Agrosphere Enstitüsü'nde derlenen Soil Water International Global (SWIG) veri tabanı **[9]** verileri kullanılmıştır. Veri tabanından alınan ölçümler (n=1959), farklı arazi kullanımındaki toprak değişkenlerinden elde edilmiştir. Veri seti, toprak tekstürü, organik karbon içeriği, hacim ağırlığı, doymuş hidrolik iletkenlik (K_s) gibi toprak değişkenleri değerlerini içermektedir. Toprakların parçacık boyutu dağılımları Görsel 1'de, arazi kullanım türleri oranları Görsel 2'de ve sayıları Çizelge 1'de verilmiştir.



ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Görsel 1. Toprak örneklerinin parçacık boyutu dağılımı



Görsel 2. Arazi kullanım türü dağılımı

Çizelge 1. Arazi kullanımına göre örnekleme alan sayıları

Arazi kullanım türü	**Sayı**
Tarım	1384
Mera	299
Orman	178
Bahçe	98
Toplam	1959

2.2. Metot

Farklı arazi kullanımı altındaki toprak değişkenlerine ait veriler tanımsal istatistik değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Veri setinde toprak değişkenlerine ait değerler R Studio (4.4.2) programı kullanılarak faktör analizine tabi tutulmuştur. Faktör analizi iki ana nedenden dolayı seçilmiştir:

- Faktör analizi, çok sayıda birbiriyle ilişkili değişkeni daha az sayıda ve ilişkisiz değişkene indirgeyen bir tekniktir **[10]**.
- Faktör analizi, değişkenler arasındaki ilişkileri açıklayan daha az sayıda faktör tanımlamayı **[11]** ve yorumlanması daha kolay olan anlamlı faktörlere sahip olmayı amaçlamaktadır **[12]**.

Birçok doğrusal ve ardışık adımı içeren faktör analizi, toprakla ilgili birçok çalışmada kullanılmaktadır **[10, 13, 14, 15]**. [**16]** ve [**17**], büyük örneklem boyutları kullanıldığında bu uyumsuzluğun azaldığını belirtmişlerdir. **[18]**'e göre örneklem büyüklüğünün 100'e eşit veya daha büyük olması gerekmektedir. **[19]**, özdeğerler 1,0'den büyük olduğunda daha az sayıda

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

faktör bulunacağını belirtmiştir. Ancak, toprak özelliklerine en yüksek özdeğere sahip faktör atanır **[20]** ve 0,5'ten büyük veya eşit değerler anlamlı olarak kabul edilir **[12]**.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Toprak değişkenlerine ait tanımsal istatistik değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Toprak değişkenlerinin tanımsal istatistikleri (n=1959)

Toprak değişkeni	Maksimum	Minimum	Aritmetik ortalama	Standart sapma	Varyasyon katsayısı
Kil (%)	80.00	0,00	29,36	11,89	0,40
Silt (%)	81,60	0,00	46,55	19,21	0,41
Kum (%)	97,70	1,00	51,58	15,53	0,30
Organik karbon (%)	87,90	0,02	2,71	1,08	0,39
Hacim ağırlığı, gr cm^3	2,81	0,34	1,25	0,23	0,19
Doygun hidrolik iletkenlik, cm s^{-1}	3004,33	0,001	158,23	83,14	**0,53**
EC dSm^{-1}	357,70	0,02	75,43	35,28	0,46
pH	8,60	4,66	6,93	0,95	**0,13**

Toprak değişkenlerine ait değerlerin farklı arazi kullanımlarına göre (tarım, mera, orman, bahçe) yapılan faktör analizi sonuçları sırası ile Çizelge 3-6'da verilmiştir.

Çizelge 3. Tarım alanı toprak örnekleri için toprak değişkenlerinin faktör analizi

Tarım alanları	**Faktörler**		
Toprak değişkeni	**1**	**2**	**3**
Doygun hidrolik iletkenlik, cm s^{-1}	0,892		
Kil (%)	-0,837		
Hacim ağırlığı, gr cm^3	0,912		
EC dSm^{-1}	-0,655		
pH		0,765	
Kum (%)		0,874	
Silt (%)			0,803
Varyasyon, %	45,850	29,322	9,150
Toplam varyasyon, %			84,322

Çizelge 4. Mera alanı toprak örnekleri için toprak değişkenlerinin faktör analizi

Mera alanları	**Faktörler**		
Toprak değişkeni	**1**	**2**	**3**
Hacim ağırlığı, gr cm^3	0,912		
EC dSm^{-1}	-0,785		
Kil (%)		0,735	
Doygun hidrolik iletkenlik, cm s^{-1}		0,836	
Organik karbon (%)		0,807	
Silt (%)			0,702

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Kum (%)			-0,637
Varyasyon, %	39,304	29,352	9,908
Toplam varyasyon, %			78,462

Çizelge 5. Orman alanı toprak örnekleri için toprak değişkenlerinin faktör analizi

Orman alanları	**Faktörler**		
Toprak değişkeni	**1**	**2**	**3**
EC dSm^{-1}	-0,813		
Organik karbon (%)	0,807		
Kil (%)		-0,901	
Kum (%)		0,894	
Hacim ağırlığı, gr cm^3			0,806
Silt (%)			-0,634
Doygun hidrolik iletkenlik, cm s^{-1}			0,621
Varyasyon, %	35,520	27,963	10,150
Toplam varyasyon, %			73,633

Çizelge 6. Bahçe alanı toprak örnekleri için toprak değişkenlerinin faktör analizi

Bahçe alanları	**Faktörler**		
Toprak değişkeni	**1**	**2**	**3**
Kil (%)	0,811		
Doygun hidrolik iletkenlik, cm s^{-1}		0,907	
Kum (%)		-0.788	
EC dSm^{-1}		0,695	
Hacim ağırlığı, gr cm^3			0,828
Organik karbon (%)			0,890
Silt (%)			0,793
pH			0,652
Varyasyon, %	33,397	28,475	11,252
Toplam varyasyon, %			73,124

Faktör analizinin sonuçlarına göre, toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinden toplam 9 toprak değişkeni, tarım alanlarındaki toplam değişkenliğin %84,322'sini, mera alanlarındaki toplam değişkenliğin %78,462'sini, orman alanlarındaki toplam değişkenliğin %73,633'ünü ve bahçe alanlarındaki toplam değişkenliğin %73,124'ünü tanımlamıştır.

Tarım alanlarında, doygun hidrolik iletkenlik, kil içeriği, hacim ağırlığı ve elektriksel iletkenlik değişkenleri 1. faktöre yüklenmiş olup, bu faktör veri setinin varyansının %45,85'ini açıklamıştır (Çizelge 3). Bu nedenle, 1. faktör 'Hidro Fiziksel ve EC' olarak adlandırılmıştır. Mera alanlarında, hacim ağırlığı ve elektriksel iletkenlik değişkenleri 1. faktöre yüklenmiş olup, bu faktör veri setinin varyansının %39,304'ünü açıklamıştır (Çizelge 4). Bu nedenle, 1. faktör 'Hacim ağırlığı ve EC' olarak adlandırılmıştır. Orman alanlarında, EC ve organik karbon

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

değişkenleri 1. faktöre yüklenmiş olup, bu faktör veri setinin varyansının %35,520'sini açıklamıştır (Çizelge 5). Bu nedenle, 1. faktör 'Kimya' olarak adlandırılmıştır. Bahçe alanlarında ise, kil değişkeni 1. faktöre yüklenmiş olup, bu faktör veri setinin varyansının %33,397'sini açıklamış ve faktör 'Kil' olarak adlandırılmıştır (Çizelge 6).

Farklı arazi kullanım alanları için ilk faktörlere yüklenen toprak değişkenleri (Doygun hidrolik iletkenlik, Kil içeriği, hacim ağırlığı, EC ve organik karbon) toprak fiziksel özelliklerinin kimyasal özelliklere göre daha baskın olduğunu göstermektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Tarım alanında 1. Faktöre yüklenen özelliklerden doygun hidrolik iletkenlik ve kil içeri arasında negatif bir ilişki vardır. Toprak parçacık büyüklüğü değerlerine göre örneklerin çoğunluğu kum içeriği yüksek topraklardır. Tarım yapılan alanlarda kil içeriğinin yüksek olmaması nedeni ile doygun hidrolik iletkenlik değeri önemli faktör olarak bulunabilir. Tınlı ince kumdan daha kaba tekstürlü topraklara kadar olan toprakların yüksek K_s değerine sahip olduğunu pek çok çalışmada belirtilmiştir. Tarım alanlarında doygun hidrolik iletkenlik ile toprak kil içeriği 1. faktöre yüklenmiştir. **[21]**, toprakta artan mikro gözenekler ve azalmış makroporlar nedeniyle doygun hidrolik iletkenliğin daha yüksek kil içeriği ile azaldığını kaydetmiştir. Genel olarak toprakta artan kil içeriğinin doygun hidrolik iletkenliği azalttığı bilinse de, bazı çalışmalar, belirli toprak yönetimi uygulamalarının veya değişikliklerinin bu etkileri azaltabileceğini ve kil bakımından zengin ortamlarda bile toprağın hidrolik özelliklerinin iyileştirebileceğini göstermiştir. Mera alanlarında toprağın yüzey örtüsü ve otlatma yapılan alanlar olmaları nedeniyle toprağın sıkışmasıyla gözenek dağılımı değişebileceğinden hacim ağırlığı yüksek ölçülebilmektedir. Toprağın sıkışması, toprakta makro gözeneklerinin azalmasına, toprağın kuru hacim ağırlığının artmasına neden olur **[22, 23, 24, 25]. [26]**, farklı arazi kullanımlarında, bitki örtüsü değişikliği nedeni ile toprak özelliklerinde farklılıklar olabileceğini bildirmiştir. Her bitki türünün farklı bir kök sistemi vardır ve bu nedenle organik karbon gibi özellikler topraklarda farklı miktarda olabilir. Bitki örtüsü zayıf topraklara göre ormanlık alanlarda daha yüksek karbon değerlerinin kaydedilmesi toprağın organik karbon içeriğini artırdığını göstermiştir **[27].** Ormanlar alanları gibi ağaç tabanlı sistemlerin daha yüksek toprak organik maddesi ve toprak organik karbon seviyelerini koruduğu bildirilmiştir **[28]**. Mera ve orman alanlarında bitki ve ağaç yapraklar nedeni ile oluşacak organik maddenin toprakta agregatlaşmayı sağlaması ve bitki kökleri ile su iletimini artıracakları için elektriksel iletkenlik değerini etkileyebilirler. Bahçe alanları, çoğunlukla kil

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

içeriği daha yüksek topraklarda bulunmaktadır. Kil içeriği, toprak kalitesi değerlendirmesi ve arazi kullanım planlamasında karar verme için gerekli olan toprak nemi ve verimlilik dinamiklerini yönetir **[29].** Kil içeriği, toprak nemi tutma, verimliliği ve hidrodinamiğini etkilemektedir ve bu etkileri ile çeşitli kullanımları için arazi uygunluğunun belirlenmesinde kilit bir faktör olabilir.

KAYNAKÇA

[1] Yankov, P. and Drumeva, M. (2021). Effect of different types of soil tillage for sunflower on some soil physical characteristics. Part I: soil moisture. Helia, 44(74): 59-72.

[2] Celik, I. (2005). Land use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. Soil and Tillage Research, 83: 270–277.

[3] Li, X.G, Li , F.M, Zed, R., Zhan, Z.Y. and Singh, B. (2007). Soil physical properties and their relations to organic carbon pools as affected by land use in an alpine pastureland. Geoderma, 139: 98–105.

[4] Wu, R. and Tissen, H. (2002). Effect of land use on soil degradation in Alpin grass land soil, China. Soil Science Society American Journal, 66: 1648–1655

[5] Zhou, X., Lin, H. S. and White, E. A. (2008). Surface soil hydraulic properties in four soil series under different land uses and their temporal changes. Catena, 73: 180–188.

[6] Bormann, H. and Klaassen, K. (2008). Seasonal and land use dependent variability of soil hydraulic and soil hydrological properties of two Northern German soils. Geoderma 145: 295–302.

[7] Sonneveld, M.P.W., Mahm, B. and Bouma, J. (2003). Simulation of soil water regimes including pedotransfer functions and land use related preferential flow. Geoderma, 112: 97–110

[8] Bodhinayake, W. and Cheng Si, B. (2004). Near-saturated surface soil hydraulic properties under different land uses in the St Denis National Wildlife Area, Saskatchewan, Canada. Hydrological Processes 18: 2835–2850.

[9] Rahmati, M., Weihermüller, L. and Vereecken, H. (2018). Soil Water Infiltration Global (SWIG) Database. PANGAEA; 2018.

[10] Sağlam, M., (2013). Çok değişkenli istatistiksel yöntemler ile toprak özelliklerinin gruplandırılması. Toprak Su Dergisi, 2(1):7-14. doi:10.21657/TSD.71178

[11] Johnson, R. and Wichern, D. (1992). Applied multivariate statistical methods. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1992.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[12] Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L. and Black, W.C. (1998). *Multivariate Data Analysis* (ed.). In Black 1998, Multivariate Data Analysis (ed.): New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.

[13] Mallarino, A.P., Oyarzabal, E.S. and Hinz, P.N. (1999). Interpreting Within-Field Relationships Between Crop Yields and Soil and Plant Variables Using Factor Analysis. Precision Agriculture, 1, 15-25.

[14] Shukla, M.K., Lal, R. and & Ebinger, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil and tillage research, 87(2):194-204.

[15] Keskin, H. and Grunwald, S. (2018). Regression kriging as a workhorse in the digital soil mapper's toolbox. Geoderma, 326 (2018): 22–41.

doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.004

[16] Pett, M.A., Lackey, N.R. and Sullivan, J.J. (2003). *Making Sense of Factor Analysis: The use of factor analysis for instrument development in health care research*. Cal: Sage Publications, 2003.

[17] Gorsuch, R.L. (1983). *Factor Analysis*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. 1983

[18] Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L. and Black, W.C. (1995). *Multivariate data analysis*. 4th ed. New Jersey: Prentice-Hall Inc. 1995.

[19] Mulaik, S.A. (2009). *The foundations of factor analysis.* Second Edition. Chapman & Hall/CRC Taylor and Francis Group, Statistics in the Social and Behavioral Sciences Series. Book Number-13: 978-1-4200-9981-2. 2009.

[20] Shukla, M.K., Lal, R. and Ebinger, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil & Tillage Research, 87:194–204

[21] Yang, T., Xing, X., Deepagoda, T.K.K., C., Fu, W., Ma, X. and M.M.T, L. (2022). Relationships among water and gas transport properties in soils from natural and induced clay gradients. Vadose Zone Journal, 21(2), e20180.

[22] Hillel, D. (1982). *Introduction to Soil Physics*. Academic Press Limited, 24-28 Oval Road, London.

[23] Oussible, M. and Crookston, R.K. (1992). Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield of wheat. Agronomy Journal, 84: 34–38.

[24] Håkansson, I. and Reeder, R. (1994). Subsoil compaction by vehicles with high axle load-extent, persistence and crop response. Soil Till. Res., 29: 277–304.

[25] Ishaq M. and Ibrahim M.L.R. (2003). Persistence of subsoil compaction effects on soil properties and growth of wheat and cotton in Pakistan. Expl Agric., 39: 341–348.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[26] Saputra, N.E., Wibowo, C. and Lisnawati, Y. (2021). *Analysis of soil physical properties and infiltration rates for various landuses at Gunung Dahu Research Forest, Bogor District, West Java Province.* In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 713(1), 012034

[27] Chirilus, G. V., Lakatos, E. S., Bălc, R., Bădărău, A. S., Cioca, L. I., David, G. M. and Roşian, G. (2022). Assessment of organic carbon sequestration from Romanian degraded soils: Livada forest plantation case study. Atmosphere, 13(9), 1452.

[28] Nandhini, D. U., Senthilraja, K., Venkatesan, S., Somasundaram, E. and Kanna, S. U. (2024). Effect of different land use types on selected soil characteristics in Erode district, Tamil Nadu. Range Management and Agroforestry, 45(02), 306-313

[29] Zhao, D., Wang, J., Zhao, X. and Triantafilis, J. (2022). Clay content mapping and uncertainty estimation using weighted model averaging. Catena, 209, 105791.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

PEDOTRANSFER FONKSİYONLARI KULLANARAK KÜRESEL ÖLÇEKTE TOPRAK DOYGUN HİDROLİK İLETKENLİĞİNİN TAHMİNİ

Doç. Dr. GÜLAY KARAHAN

Çankırı Karatekin Üniversitesi, gkarahan03@gmail.com- org/0000-0003-1285-6546

ÖZET

Toprak analizlerinde, doymuş hidrolik iletkenlik (K_s) gibi bazı özelliklerin ölçümleri zaman alıcı ve maliyetli olabilmektedir. Bu nedenle, kolay elde edilebilen özellikleri kullanarak doygun hidrolik özellik gibi ölçümü zor olan toprak değişkenlerini tahmin etmek için pedotransfer fonksiyonları (PTF'ler) geliştirilmiştir. Toprağın doymuş hidrolik iletkenliğini tahmin etmenin zorluğuna ek olarak, giriş parametrelerinin seçimi ve örnek sayısı tahminlerin doğruluğu için etkili bir faktördür. Bu nedenle, büyük veri tabanlarının kullanılması, sonuçların güvenilirliğini artıran faktörlerin başında gelmektedir. Bu çalışmada, dünya çapında yaklaşık 2968 toprak deneyi sonucunu içeren ve Almanya'nın Jülich kentindeki Agrosfer Enstitüsü'nde bir araya getirilen Soil Water Infiltrasyon Global (SWIG) veri tabanı kullanılmıştır. Toprak tekstür sınıfı, hacim ağırlığı, organik karbon, pH ve elektriksel iletkenlik gibi toprak özellikleri değerlendirilerek toprağın doygun hidrolik iletkenliğini tahmin etmek için bir pedotransfer fonksiyonu (PTF) oluşturulmuştur. Doygun hidrolik iletkenlik (K_s) değerleri maksimum 3004,33 cm sa^{-1} ve minimum 0,001 cm sa^{-1} arasında değişmektedir ve aritmetik ortalaması 175,22 cm sa^{-1} değerindedir. Toprak özelliklerinde en fazla değişkenlik doygun hidrolik iletkenlik (%52) değerlerinde ve en düşük değişkenlik toprak reaksiyonu (pH) (%12) değerlerinde hesaplanmıştır. Ölçülen K_{sat} değerleri ile toprak özellikleri arasındaki ilişki çoklu doğrusal regresyon kullanılarak değerlendirilmiştir. Toprak doygun hidrolik iletkenlik değeri ile toprağın kum içeriği ve EC arasında önemli ilişki bulunmuştur. Veri setindeki özellikler ile oluşturulan pedotransfer fonksiyonu eşitliği, doygun hidrolik iletkenlik değerlerindeki değişkenliğin yaklaşık %87'sini tanımlamıştır. Ölçülen ve tahmin edilen doygun hidrolik iletkenlik değerleri arasındaki uyum yaklaşık %93 (r=0,93) olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucu, toprak özelliklerinin tahmininde veri sayısının önemini ortaya koymaktadır. Ayrıca, farklı arazi kullanımları için toprak özelliklerini tahmin etmek üzere yeni pedotransfer fonksiyonlarının oluşturulabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Doygun hidrolik iletkenlik, pedotransfer fonksiyonları, toprak özellikleri

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Toprak doymuş hidrolik iletkenliği (K_s), toprak araştırmaları için önemli bir değişkendir ve birçok araştırmada hem girdi hem de tahmin parametresi olarak kullanılmaktadır. Doygun hidrolik iletkenlik arazide ve laboratuvarda farklı tekniklerle ölçülebilmektedir, ancak ölçüm teknikleri zaman alıcı, yoğun emek gerektiren, maliyetli ve teknik personel gerektiren ölçümlerdir **[1]**. Ayrıca, büyük ölçekli alanlarda bu ölçümler fazla zahmetli, maliyetli ve zaman alıcı olabilmektedir **[2].**

Toprak hidrolik özelliklerinin, kısa mesafelerde bile, araziler arasında önemli ölçüde değişmesi nedeniyle, hidrolik iletkenliği yeterli mekansal yoğunluk ve frekansta ölçmek genellikle pratik değildir **[3]**. Bu bağlamda, toprak hidrolik özelliklerini diğer daha kolay elde edilen toprak ve arazi özelliklerinden tahmin eden modeller olan pedotransfer fonksiyonlarının (PTF'ler) değerli araçlar **[4, 5]** olduğu belirtilmiştir.

Bazı toprak yapısal değişkenlerini dikkate alan PTF'ler, toprak yapısındaki değişikliklerden kaynaklanan toprak hidrolik özelliklerindeki değişiklikleri modellemede özellikle yararlı olabileceği kaydedilmiştir **[6]**. Bu nedenle, toprak bilimcileri tarafından toprak hidrolik iletkenliği gibi ölçümü zor olan toprak özelliklerini daha zahmetsiz ve kolay yolla elde edebilme araştırmaları yapılmıştır. PTF'ler, toprak araştırmalarından ve veri tabanlarından zahmetli ve pahalı olan bilgileri elde etmek için kullanılır ve bu sayede gerekli olan ancak ulaşılması zor toprak özelliklerinden kaynaklanan eksik bilgilerin boşluğunu doldurur.

Son yıllarda, Pedo-Transfer Fonksiyonları (PTF'ler), toprağın hidrolik özelliklerini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan bir araç haline gelmiş **[3]** ve toprağın doygun hidrolik iletkenliği için toprak veri tabanlarında bulunan toprak özelliklerinin kullanılmasıyla K_s değerlerini tahmin etmek için pedotransfer fonksiyonları (PTF'ler) önerilmiştir.

PTF'ler toprak veri tabanlarından alınan veya ölçümü daha kolay olan toprak parçacık boyutu ve hacim ağırlığı gibi değişkelerin ölçümlerini kullanarak K_s değerlerini tahmin edebilen amprik eşitliklerdir.

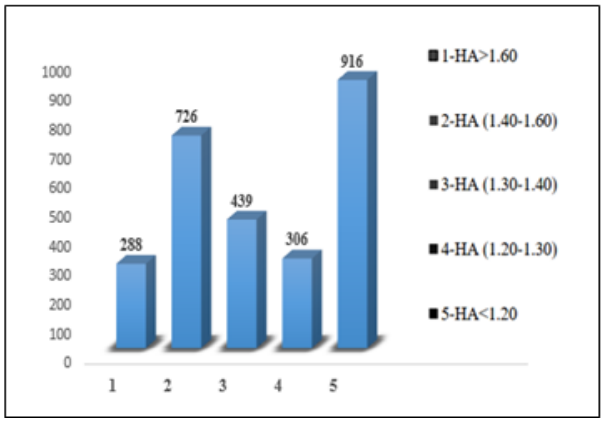
Toprağın hidrolik iletkenliğinin büyüklüğü öncelikle gözeneklerin büyüklüğüne, dağılımına ve bağlantısına bağlıdır **[7, 8, 9]**. Bu çalışmada, büyük ölçekte veri setinden elde edilen toprak değişkenlerine ait veriler kullanılarak doygun hidrolik iletkenlik tahmin edilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

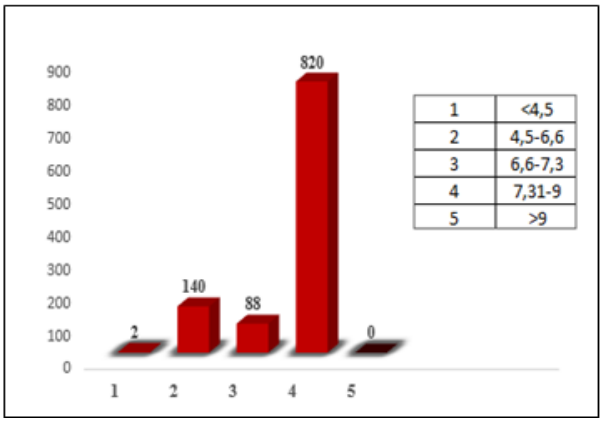
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

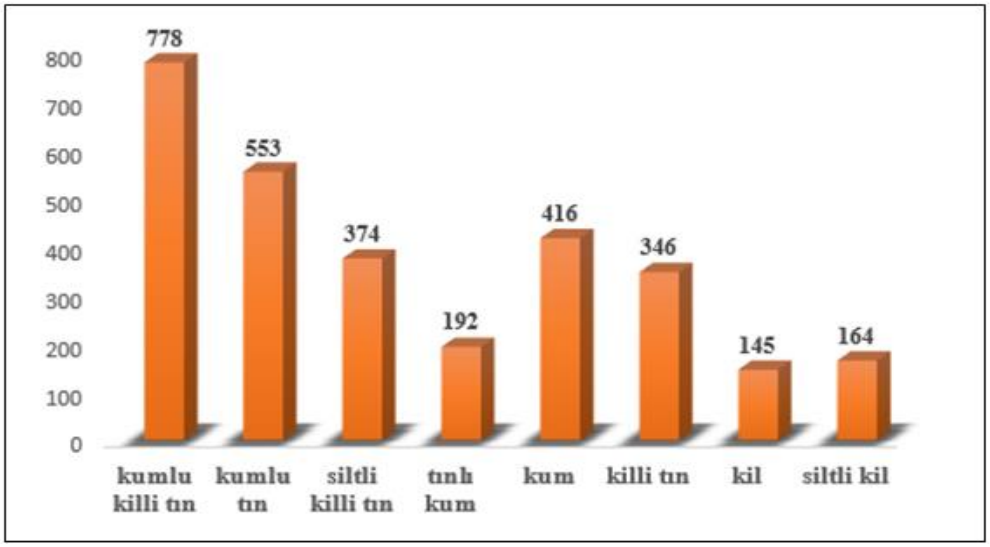
Bu çalışmada, 90'dan fazla kaynaktan toplanan ve Almanya Yülich kentindeki Agrosphere Enstitüsü'nde derlenen Soil Water International Global (SWIG) veri tabanı **[10]** verileri kullanılmıştır. Veri tabanında bulunan, toprak parçacık boyutu analizi, organik karbon içeriği, hacim ağırlığı, toprak pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değişkenlerine ait ölçüm değerleri (2968) değerlendirilmiştir. Toprak değişkenlerinden hacim ağırlığı ve pH'a ait değerler Görsel 1 ve 2'de, toprakların parçacık boyutu dağılımları Görsel 3'te verilmiştir.



Görsel 1. Hacim ağırlığı değer aralıkları



Görsel 2. pH değer aralıkları



Görsel 3. Toprak örneklerinin parçacık boyutu dağılımı

2.2. Metot

Veri setindeki K_s değerleri ile toprak özellikleri arasındaki ilişki için çoklu doğrusal regresyon kullanılmıştır. Veri setindeki 2968 toprak değişkeni ölçüm değerlerinden 998'i rastgele seçilmiş ve oluşturulan PTF'nin doğruluğu (validasyon) için kullanılmıştır. Diğer ölçüm değerleri

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

(1970) ise PTF'nin (kalibrasyon) elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır. İlgili PTF denklemini elde etmek ve K_s üzerinde etkili olan değişkeni/değişkenleri tanımlamak için, kalibrasyon verileri kullanılarak SPSS yazılımında (IBM, 2013) **[11]** ileriye doğru adım adım regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu PTF denklemi ve validasyon verileri kullanılarak PTF'nin başarısı değerlendirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada doygun hidrolik iletkenliğin tahmini için toprak özellikleri kullanılarak bir PTF oluşturulmuştur. Pedotransfer fonksiyonu için kullanılan toprak özelliklerine ait tanımsal istatistikler ve grafikler toplam örnek sayısı (2968) için, kalibrasyon (1970 veri) verileri için ve validasyon (998 veri) verileri için ayrı çizelgelerde verilmiştir (Çizelge 1-3).

Çizelge 1. Toprak değişkenlerinin tanımsal istatistikleri (n=2968)

Toprak değişkeni	Maksimum	Minimum	Aritmetik ortalama	Standart sapma	Varyasyon katsayısı
Kil (%)	80,00	0,00	31,71	12,92	0,41
Silt (%)	81,60	0,00	48,65	19,45	0,29
Kum (%)	97,70	1,00	52,43	15,05	0,29
Organik karbon (%)	87,90	0,02	2,91	1,20	0,41
Hacim ağırlığı, gr cm^3	2,81	0,34	1,30	0,24	0,18
Doygun hidrolik iletkenlik, cm s^{-1}	3004,33	0,01	175,22	91,19	**0,52**
EC dSm^{-1}	357,70	0,02	84,54	41,21	0,48
pH	8,60	4,66	7,47	0,88	**0,12**

EC: Elektriksel iletkenlik, pH: Toprak reaksiyonu

Çizelge 2. Toprak validasyon örnekleri için tanımsal istatistikler (n= 998)

Toprak değişkeni	Maksimum	Minimum	Aritmetik ortalama	Standart sapma	Varyasyon katsayısı
Kil (%)	63,50	2,00	19,30	11,39	0,59
Silt (%)	81,60	0,80	29,86	15,12	0,51
Kum (%)	95,10	2,30	50,39	26,51	0,52
Organik karbon (%)	6,78	0,02	2,19	0,87	0,39
Hacim ağırlığı, gr cm^3	1,82	0,81	1,37	0,31	0,22
Doygun hidrolik iletkenlik, cm s^{-1}	166,63	0,01	11,83	6,40	**0,54**
EC dSm^{-1}	100,00	0,02	6,98	3,61	50,51
pH	8,60	5,14	7,53	0,73	**0,09**

EC: Elektriksel iletkenlik, pH: Toprak reaksiyonu

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Çizelge 3. Toprak kalibrasyon örnekleri için tanımsal istatistikler (n=1970)

Toprak değişkeni	Maksimum	Minimum	Aritmetik ortalama	Standart sapma	Varyasyon katsayısı
Kil (%)	80,00	0.00	22,91	12,80	0,55
Silt (%)	79,41	0.00	38,55	19,20	0,49
Kum (%)	97,70	1.00	38,99	25,25	0,64
Organik karbon (%)	87,90	0,08	7,11	4,17	0,58
Hacim ağırlığı, gr cm^3	2,81	0,34	1,27	0,26	0,20
Doygun hidrolik iletkenlik, cm s^{-1}	3004,33	0.00	125,62	81,31	**0,65**
EC, dSm^{-1}	357,70	0,03	104,92	53,49	0,51
pH	8,40	4,66	7,39	1,02	**0,14**

EC: Elektriksel iletkenlik, pH: Toprak reaksiyonu

Çizelge (1, 2 ve 3)'e göre; K_s, bütün verilerde (%52), validasyon (%54) ve kalibrasyon (%65) verilerinde toprak özellikleri arasında en büyük değişkenlikleri, toprak asitliği ise aynı şekilde bütün verilerde (%12), validasyon (%19) ve kalibrasyon (%9) verilerinde en küçük varyasyon değerlerine sahiptir. Çizelge 4'te toprak değişkenleri ile K_s arasındaki korelasyon değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. Toprak özellikleri ile K_s arasındaki korelasyon değerleri (n=2968)

	K_s	Kum	Silt	Kum	OC	HA	EC
Kum (%)	0,671						
Silt (%)	0,063	0,288					
Kil (%)	- 0,207	-0,692	-0,875				
OC (%)	0,055	0,123	-0,062	-0,0180			
HA, g cm^{-1}	0,273	0,193	-0,2460	0,390	-0,506		
EC, dSm^{-1}	-0,091	0,089	0,148	-0,150	0,596	-0,410	
pH	0,056	0,387	0,0430	-0,153	0,0526	-0,216	0,076

K_s: Doygun hidrolik iletkenlik, HA; Hacim ağırlığı, OC; Organik karbon, EC: Elektriksel iletkenlik, pH: Toprak reaksiyonu

Çizelge 5. Doygun hidrolik iletkenlik tahminini için önemli etkisi bulunan toprak özellikleri

	2,152	2,989
Kum, %	0,038	0,032
EC, dSm^{-1}		0,027
R^2	85,670	86,500

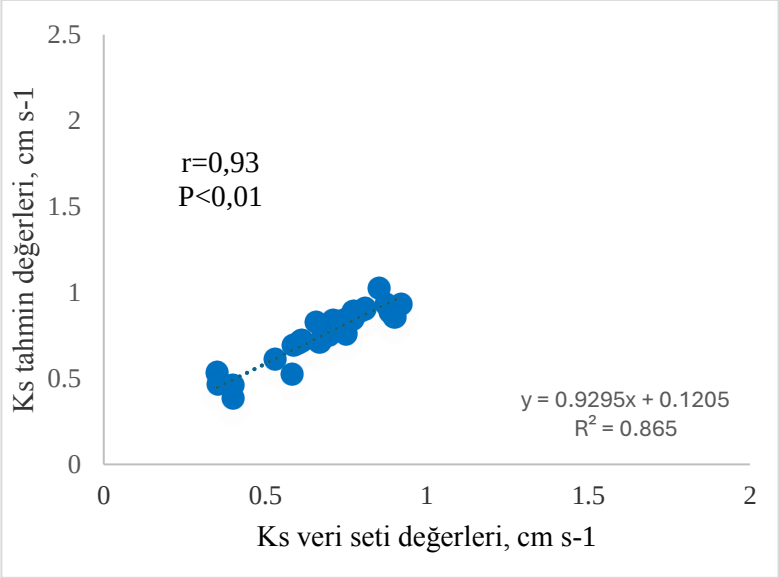
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Çizelge 5'te elde edilen sonuçlara göre K_s tahmininde önemli faktör olarak hesaplanan toprak kum içeriği ve elektriksel iletkenlik veri değerleri kullanılarak çoklu lineer regresyon yöntemi ile bir PTF eşitliği oluşturulmuştur (Eşitlik 1).

$$Ks = 0{,}189 + (0{,}012 \times Kum) + (0{,}017 \times EC) \qquad \text{(Eşitlik 1)}$$

Eşitlik (1), veri setinde bulunan doygun hidrolik iletkenlik değerlerini R^2>0.86 değerinde bir determinasyon katsayısı ile tahmin etmiştir. Buna göre, kum içeriği ve elektriksel iletkenlik ile oluşturulan eşitlik, doygun hidrolik iletkenlik değerlerindeki değişikliğin yaklaşık %87'sini tanımlamaktadır.

Kalibrasyon verileri (n=1970) kullanılarak elde edilen Eşitlik (1), validasyon değerlerinde (n=998) kullanılarak, oluşturulan PTF'nin başarı oranı belirlenmiştir. Veri seti doygun hidrolik değerleri ile tahmin edilen doygun hidrolik değerleri arasında korelasyon katsayısı belirlenerek, 45 açı ve 1:1 doğrusu üzerinde saçılma grafiği oluşturulmuş (Görsel 4) ve tanımsal istatistik değerleri Çizelge 6'da verilmiştir.



Görsel 4. Veri seti ölçülen ve tahmin edilen K_s değerleri arasındaki ilişki

Çizelge 6. Ölçülen ve tahmin edilen doygun hidrolik iletkenlik tanımsal istatistikleri

K_s	Mak.	Min.	A.O.	SS	VK
Ölçülen K_s, cm s^{-1}	0,921	0,351	0,679	0,170	0,251
Tahmin edilen K_s, cm s^{-1}	1,02	0,384	0,752	0,170	0,226

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Toprak doygun hidrolik iletkenlik özelliği, çok kısa mesafelerde dahi değişkenlik gösterebilen toprak hidrolik özelliğidir. Bu süreçte, doygun hidrolik iletkenliği etkileyen birçok toprak

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

değişkeni faktörü bulunmaktadır. Bu çalışmada, Soil Water International Global (SWIG) veri tabanına ait 2968 toprak verisi kullanılmıştır. Bu veriler, toprak parçacık boyutu, hacim ağırlığı, toprak organik karbon içeriği, doygun hidrolik iletkenlik, elektriksel iletkenlik ve pH değerlerini kapsamaktadır.

Bu veriler kullanılarak, bir pedotransfer eşitliği oluşturulmuş ve toprağın doygun hidrolik iletkenliği tahmin edilmiştir. Kalibrasyon (1970) verileri ile oluşturulan eşitliğin doğruluğu, validasyon (998) verileri ile sağlanmıştır. Sonuçlara göre, toprak doygun hidrolik iletkenlik değeri ile toprağın kum içeriği ve EC arasında önemli ilişki bulunmuştur. Ölçülen ve tahmin edilen doygun hidrolik iletkenlik değerleri arasındaki yaklaşık %93 (r=0,93) oranında uyum belirlenmiştir. Kil ve silt içeriği yüksek topraklara göre kumlu topraklar daha büyük gözeneklere sahiptir. Bu gözenekler su ile dolduğunda, toprak yüzeyi ve su arasındaki sürtünme kuvveti, daha küçük gözenek sayısı nedeni ile daha fazla yüzey alanına sahip killi topraklara göre azdır. Doygun koşullarda bulunan bir toprakta basınç uygulanması durumunda öncelikle büyük boşluklarda bulunan su gözeneklerden uzaklaşır. Bu nedenle büyük boşluk oranı daha fazla olan topraklarda daha yüksek K_s değerleri ölçülür. Büyük gözeneklerde bulunan su, küçük gözeneklere göre daha hızlı hareket eder. Bu yüzden, toprak hidrolik iletkenliği ile gözeneklerden azalan su içeriği arasında doğru orantılı bir ilişki vardır.

Toprağın hidrolik iletkenliği toplam gözenek hacminden çok gözenek büyüklüğü tarafından belirlenmektedir. Gözenekliliği aynı olan iki topraktan, ince gözenekli toprağın hidrolik iletkenliği kaba gözenekli toprağa göre daha düşüktür **[12]**. Çalışma alanındaki başlıca toprak dokusu tipleri kumlu killi tın ve tın topraklardır, kullanılan örneklere ait toprak parçacık boyutu verilerine göre toplam örnek sayısının %14 kadarı kum topraklardan, %63'ü ise kum barındıran topraklardan oluşmaktadır (Görsel 3). Doygun hidrolik iletkenlik üzerinde toprak yapı sınıfının etkisi önemli bulunmuştur. Yapılan çalışmalarda, toprağın hidrolik iletkenlik sınıflarının birinci dereceden sınıflandırılması tipik olarak toprak parçacık boyutuna bağlı olduğu ve kumlu topraklar için >5 m g^{-1} den kil dokulu topraklar için <0,01 m $gün^{-1}$'e kadar değiştiği bildirilmiştir **[13, 14]**.

[15] tarafından, hacim ağırlığı ve gözenek büyüklüğü dağılımı gibi toprak özelliklerine dayanan modellerde, hacim ağırlığı, makro, mezo ve mikro gözeneklilik değerleri ile doygun hidrolik iletkenlik değerinin tahmininde iyi sonuçlar elden edildiği bildirilmiştir. **[16]** ise, yalnızca toprak kum içeriğine dayanan bir denklemin hidrolik iletkenlikteki varyasyonun % 83'ünü açıkladığını, yüksek kum içeriğinin kaba dokulu topraklarda artan hidrolik iletkenlik ile ilişkili olduğunu kaydetmiştir. Toprak kum içeriğinin doygun hidrolik iletkenliği önemli ölçüde

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

etkilediği, daha yüksek kum yüzdelerinin K_s tahminlerinde daha fazla heterojenliğe ve daha iyi korelasyonlara yol açtığı, bu nedenle kaba kum fraksiyonlarının su hareketini arttırırken, daha ince toprak dokusuna sahip topraklarda daha zayıf korelasyonlar gösterdiği açıklanmıştır **[17].** Benzer çalışmada toprak kum içeriğinin hidrolik iletkenliği önemli ölçüde etkilediği, daha yüksek kum içeriğinin (% 74) artan hidrolik iletkenlik değerlerine (3,1-4,6 m gün^{-1}) karşılık gelirken, düşük kum içeriğinin hidrolik iletkenlik değerlerinin azalmasına yol açtığı belirtilmiştir **[18].** Çalışma sonucu, toprak özelliklerinin tahmininde veri sayısının önemini ortaya koymaktadır. Ayrıca, farklı arazi kullanımları için toprak özelliklerini tahmin etmek üzere yeni pedotransfer fonksiyonlarının oluşturulabileceğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

[1] Hessine, R., Ghannem, S., Mariem, S. B., Bilal, E. and Kanzari, S. (2024). Establishing the first database of soil hydraulic properties in tunisia based on pedotransfer functions. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 19(1), 61-à.

[2] Mbayaki, C. W. and Karuku, G.N. (2022). Soil hydraulic properties of a chromic luvisol in Katumani, Kenya. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 25(3).

[3] Zuo, Y. and He, K. (2021). Evaluation and development of pedo-transfer functions for predicting soil saturated hydraulic conductivity in the Alpine Frigid Hilly region of Qinghai Province. Agronomy, 11(8), 1581.

[4] Padarian, J., Morris, J., Minasny, B. and McBratney, A. B. (2018). *Pedotransfer functions and soil inference systems.* In A. McBratney, B. Minasny, & U. Stockmann (Eds.), Pedometrics. Progress in Soil Science, pp: 195-220.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-63439-5_7

[5] Van Looy, K., Bouma, J., Herbst, M., Koestel, J., Minasny, B., Mishra, U., et al. (2017). Pedotransfer functions in Earth system science: Challenges and perspectives. Reviews of Geophysics, 55, 1199–1256. https://doi.org/10.1002/2017RG000581

[6] Araya, S. N. and Ghezzehei, T.A. (2019). Using machine learning for prediction of saturated hydraulic conductivity and its sensitivity to soil structural perturbations. Water Resources Research, 55(7), 5715-5737.

[7] Alaoui, A., Lipiec, J. and Gerke, H.H. (2011). A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: A hydrodynamic perspective. Soil and Tillage Research, 115-116, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.still.2011.06.002

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[8] Bittelli, M., Campbell, G. S. and Tomei, F. (2015). Soil Physics with Python. Oxford: Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199683093.001.0001

[9] Nielsen, J. E., Karup, D., de Jonge, L. W., Ahm, M., Bentzen, T. R., Rasmussen, M. R. and Moldrup, P. (2018). Can the volume ratio of coarse to fine particles explain the hydraulic properties of sandy soil? Soil Science Society of America Journal, 82(5), 1093. https://doi.org/10.2136/sssaj2018.02.0083

[10] Rahmati, M., Weihermüller, L. and Vereecken, H. (2018). Soil Water Infiltration Global (SWIG) Database. PANGAEA; 2018.

[11] IBM (2013). Norman, H. Nie, Dale, H., Bent, H. and Hadlai Hull, C. (1968). www.ibm.com/spss.

[12] Childs, E.C. 1957. The Physies of Land Drainage. Agron., 7: 1·78 ASA, Wisconsin.

[13] Rawls, W. J., Brakensiek, D. L., & Saxton, K. E. (1982). Estimation of soil water properties. Transactions of ASAE, 25(5), 1316–1320. https://doi.org/10.13031/2013.33720

[14] Soil Science Division Staff (2017). Soil survey manual. C. Ditzler, K. Scheffe, & H. C. Monger (Eds.), USDA Handbook 18. Government Printing Office. Washington, DC: Office.

[15] Mbagwu, J.S.C. (1995). Saturated hydraulic conductivity in relation to physicalproperties of soils in the Nsukka Plains, Southeastern Nigeria. Geoderma. 68, 51–66.

[16] Jaynes, D. B. and Tyler, E. J. (1984). Using soil physical properties to estimate hydraulic conductivity. Soil Science, 138(4), 298-305.

[17] García-Gutiérrez, C., Pachepsky, Y. and Martín, M.Á. (2018). Saturated hydraulic conductivity and textural heterogeneity of soils. Hydrology and Earth System Sciences, 22(7), 3923-3932.

[18] Usowicz, B. and Lipiec, J. (2021). Spatial variability of saturated hydraulic conductivity and its links with other soil properties at the regional scale. Scientific Reports, 11(1), 8293.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KENTSEL YEŞİL ALTYAPININ BİYOTOP ALAN FAKTÖRÜ KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ; YILDIRIM ÖRNEĞİ

Abdurrahman KARYEL

Bursa Teknik Üniversitesi, abdurrahmankaryel@gmail.com - 000-0007-7240-8839

Prof. Dr. Gül SAYAN ATANUR

Bursa Teknik Üniversitesi, gul.atanur@btu.edu.tr – 0000-0007-7240-8839

ÖZET

Hızlı ve plansız kentleşme, kentsel alanlarda geçirimsiz yüzeylerin artmasına, doğal alanların parçalanmasına ve ekosistem hizmetlerinin zayıflamasına neden olmaktadır. Bu durum, özellikle yağmur suyu yönetimi, biyolojik çeşitlilik ve kentsel mikroklima üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu çalışma, Bursa ili Yıldırım ilçesinde yer alan kentsel yeşil altyapının ekolojik performansını Biyotop Alan Faktörü (BAF) yöntemi kapsamında değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Araştırma kapsamında Yıldırım ilçesinde bulunan toplam 834 park, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli mekânsal analizler aracılığıyla incelenmiştir. Parklar; yüzey tipleri, geçirgenlik düzeyleri, bitkilendirme özellikleri ve yapısal elemanları dikkate alınarak sınıflandırılmış; Berlin BAF modeline dayalı katsayılar kullanılarak her bir park için BAF değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca park türlerine göre hem toplam BAF değerleri hem de 1000 m²'ye düşen BAF oranları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen bulgular, Yıldırım ilçesinde yeşil alan miktarının niceliksel olarak yüksek olmasına karşın, ekolojik işlevselliğin park türleri ve mekânsal dağılım açısından belirgin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Orman parkları toplam ekolojik kapasite açısından ilçenin yeşil altyapı omurgasını oluştururken; birim alan başına düşen BAF analizleri, bitki bahçeleri ve bazı kamusal yeşil alanların sınırlı alanda yüksek ekolojik verimlilik sunduğunu göstermektedir. Buna karşılık çocuk oyun parkları ve dinlenme parklarında yoğun sert zemin kullanımı, biyotop kalitesini ve ekosistem hizmetlerini sınırlandırmaktadır.

Sonuç olarak çalışma, BAF yönteminin kentsel yeşil altyapının yalnızca niceliksel değil, niteliksel olarak da değerlendirilmesine olanak tanıyan etkili, ölçülebilir ve uygulanabilir bir planlama aracı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, BAF tabanlı yaklaşımların yerel yönetimlerin sürdürülebilir yeşil altyapı ve iklim uyum politikalarına entegre edilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyotop Alan Faktörü, Kentsel Yeşil Altyapı, Geçirgen Yüzeyler, Ekolojik Planlama

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Kentleşmenin hız kazanmasıyla birlikte doğal alanların kentsel mekân içerisindeki payı giderek azalmış ve bu durum kentlerin ekosistem hizmetleri üretme kapasitesini doğrudan etkilemiştir. Yoğun yapılaşmanın yaygınlaşması, özellikle geçirimsiz yüzey oranlarını artırarak yağmur suyunun doğal yollarla toprağa sızmasını önemli ölçüde sınırlandırmıştır. Bu süreç, doğal hidrolojik döngünün işleyişini bozmakta; yüzey akışını artırarak taşkın riskini yükseltmekte ve yer altı su kaynaklarının yeterli düzeyde beslenmesini engellemektedir. Uzun vadede ortaya çıkan bu baskı, kentsel su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından ciddi sorunlara yol açmaktadır (Corner, 2007). Ayrıca söz konusu değişimler, kentlerde iklim değişikliğine bağlı etkilerin daha belirgin ve hissedilir hale gelmesine zemin hazırlamaktadır.

Kentsel alanlarda ortaya çıkan bu olumsuzlukların azaltılmasına yönelik olarak geliştirilen yaklaşımlar arasında kentsel yeşil altyapı önemli bir çözüm aracı olarak öne çıkmaktadır. Doğa tabanlı çözümler kapsamında değerlendirilen bu yaklaşım, kentlerin ekolojik süreçlerle olan ilişkisini güçlendirmeyi amaçlamaktadır. Yeşil alanlar, yalnızca rekreasyonel işlevler üstlenen mekânlar olmanın ötesinde; karbon depolama, mikroklimatik dengeleme, yağmur suyu kontrolü ve biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi gibi çok sayıda ekosistem hizmetini eş zamanlı olarak sunabilen alanlar olarak değerlendirilmektedir (Beatley, 2011). Ancak bu hizmetlerin etkinliği, yeşil alanların niceliksel büyüklüğünden ziyade sahip oldukları ekolojik niteliklere bağlı olarak değişmektedir.

Plansız ve yoğun kentleşme süreci, su döngüsü üzerindeki etkilerinin yanı sıra kentsel ekosistemlerin mekânsal sürekliliğini ve biyolojik yapısını da olumsuz yönde etkilemektedir. Doğal ve yarı doğal alanların parçalanması, habitat bütünlüğünün bozulmasına ve kent içindeki biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olmaktadır (Forman, 1995). Bu durum, ekosistem hizmetlerinin üretim kapasitesini sınırlandırarak kentlerin ekolojik dayanıklılığını zayıflatmaktadır (Alberti, 2005).

Kentsel yeşil altyapı yaklaşımı; parklar, yeşil koridorlar, geçirgen yüzeyler ve ekolojik bağlantılar aracılığıyla kentsel ekosistemlerin işlevselliğini artırmayı hedeflemektedir (Benedict & McMahon, 2006). Bu çerçevede yeşil alanlar, iklim değişikliğine uyum ve olumsuz etkilerin azaltılması sürecinde kritik bir rol üstlenmektedir. Karbon tutumu, mikroklima düzenlemesi ve yağmur suyu yönetimi gibi temel ekosistem hizmetleri sayesinde kentsel çevrenin sürdürülebilirliğine önemli katkılar sağlamaktadır (Beatley, 2011; Kazmierczak & Carter, 2010).

Bununla birlikte, kentsel yeşil alanların sunduğu ekosistem hizmetlerinin niteliği, alan büyüklüğünden çok; bitkisel çeşitlilik, geçirgen yüzey oranı, toprak yapısı ve mekânsal bütünlük gibi ekolojik özelliklere bağlıdır. Bu özellikler, yeşil alanların ekosistem hizmetlerini üretme kapasitesini doğrudan etkileyen temel unsurlar arasında yer almaktadır (Tzoulas ve ark., 2007). Bu nedenle kentsel yeşil alanların değerlendirilmesinde yalnızca niceliksel ölçütlerin yeterli olmadığı, niteliksel ve işlevsel göstergelerin de dikkate alınmasının gerekli olduğu görülmektedir.

Bu bağlamda Biyotop Alan Faktörü (BAF) gibi ekolojik performans göstergeleri, kentsel yeşil alanların sürdürülebilirlik düzeyinin ortaya konulmasında önemli analiz olanakları

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

sunmaktadır. BAF yaklaşımı, farklı yüzey türlerinin ekolojik katkılarını dikkate alarak alan temelli bir değerlendirme yapılmasına imkân tanımakta ve kentsel mekânların ekolojik işlevselliğinin karşılaştırmalı olarak analiz edilmesini sağlamaktadır (SenStadt, 2009; Kruuse, 2011). Bu yönüyle BAF, kentsel planlama ve tasarım süreçlerinde ekosistem temelli kararların geliştirilmesine katkı sağlayan etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Bursa ilinin doğusunda yer alan Yıldırım ilçesidir. İlçe, yüksek nüfus yoğunluğu, hızlı yapılaşma süreci ve sınırlı açık alanları ile kentsel ekolojik baskıların yoğun olarak hissedildiği bir alan niteliğindedir. Yıldırım ilçesi sınırları içerisinde yer alan toplam 834 park, çalışma kapsamına dâhil edilmiştir.

2.2. Veri Toplama ve Yöntem

Araştırmada kullanılan veriler, Yıldırım Belediyesi Park ve Bahçeler Müdürlüğü'nden temin edilen park envanterleri ile sayısal haritalardan elde edilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen tüm park alanları Coğrafi Bilgi Sistemleri (ArcGIS, NetCAD) kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Park alanları içerisindeki yüzeyler; geçirgen, yarı geçirgen ve geçirimsiz olmak üzere üç ana sınıfta ele alınmıştır. Bu sınıflandırma, yüzeylerin yağmur suyunun toprağa sızmasına olanak tanıma, buharlaşma-terleme süreçlerine katkı sağlama ve bitki gelişimini destekleme potansiyelleri dikkate alınarak yapılmıştır. Böylece ekolojik işlevi görece yüksek olan yüzeylerin niceliksel olarak ortaya konulması amaçlanmıştır.

Bu doğrultuda Biyotop Alan Faktörü (BAF), bir alanın toplam büyüklüğü içinde ekolojik açıdan etkin yüzeylerin ağırlıklı oranını gösteren bir performans göstergesi olarak kullanılmıştır. Berlin'de geliştirilen BAF yaklaşımı esas alınarak, her bir yüzey türü için tanımlanan ekolojik etkinlik katsayıları dikkate alınmıştır. Buna göre doğal toprak ve bitkili yüzeyler yüksek katsayı ile, yarı geçirgen yüzeyler orta katsayı ile, tamamen geçirimsiz yüzeyler ise düşük ya da sıfır katsayı ile değerlendirilmiştir. Her yüzey sınıfının alanı ilgili katsayı ile çarpılarak ağırlıklı ekolojik etkin alan hesaplanmış, elde edilen değer parkın toplam alanına oranlanarak park bazında BAF değeri belirlenmiştir. Bu yaklaşım sayesinde, geçirimsiz yüzeylerin artışının yağmur suyu yönetimi ve yer altı suyu beslenmesi üzerindeki olumsuz etkileri sayısal olarak değerlendirilebilmiştir.

Son aşamada parklar, tipolojik özellikleri dikkate alınarak (orman parkı, dinlenme parkı, çocuk oyun parkı vb.) sınıflandırılmıştır. Park türlerine göre ortalama BAF değerleri karşılaştırılmış; ayrıca parkların büyüklük farklarından kaynaklanan ölçek etkisini azaltmak ve türler arası karşılaştırmayı daha sağlıklı hale getirmek amacıyla 1000 m²'ye düşen BAF değerleri hesaplanmıştır.

3. BULGULAR

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Çizelgede sunulan ortalama Biyotop Alan Faktörü (BAF) değerleri, Yıldırım ilçesinde yer alan farklı park türlerinin toplam ekolojik kapasiteleri arasında belirgin farklılıklar bulunduğunu göstermektedir. Park türleri içinde en yüksek ortalama BAF değerine sahip olan orman parkları, 28.758 m² ile ilçe genelindeki toplam ekolojik kapasitenin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu durum, orman parklarının görece geniş alanlara sahip olması, doğal toprak yüzeylerinin süreklilik göstermesi ve yoğun ağaç dokusu barındırması sayesinde ekosistem hizmetlerini yüksek düzeyde üretebilme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Dinlenme parkları ve çocuk oyun parkları ise sırasıyla 709,9 m² ve 702,7 m² ortalama BAF değerleriyle orta düzeyde bir ekolojik performans sergilemektedir. Dinlenme parklarında yeşil alanlar ile yapısal elemanlar arasında görece dengeli bir dağılım bulunurken, çocuk oyun parklarında sert zeminler, kauçuk kaplamalar ve çeşitli donatı elemanlarının kapladığı alanların fazlalığı ekolojik işlevselliği sınırlayan temel unsur olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, her iki park türünün de ilçe genelinde yaygın bir dağılıma sahip olması, kentsel yeşil altyapı sistemine belirli ölçüde katkı sunmalarını sağlamaktadır.

Kamusal yeşil alanlar ile bitki bahçeleri, diğer park türlerine kıyasla daha düşük ortalama BAF değerleriyle dikkat çekmektedir. Kamusal yeşil alanlarda geçirimsiz yüzey oranının görece yüksek olması, bu alanların toplam ekolojik katkısının sınırlı kalmasına neden olmaktadır. Bitki bahçelerinde ise bitkisel yoğunluk yüksek olmasına karşın alanların genellikle küçük ölçekli olması, toplam BAF değerlerinin düşük düzeyde gerçekleşmesine yol açmaktadır. Bu durum, parkların ekolojik performanslarının yalnızca bitkisel yoğunlukla değil; aynı zamanda alan büyüklüğü ve yüzey bileşimi gibi mekânsal özelliklerle de doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, ortalama BAF değerlerinin park türlerinin toplam ekolojik kapasitesini yansıttığı; özellikle büyük ölçekli ve doğal karakterini büyük ölçüde koruyan alanların kentsel ekosistem hizmetleri açısından daha yüksek katkı sunduğu görülmektedir. Bununla birlikte, park türleri arasındaki ekolojik performansın daha sağlıklı bir biçimde karşılaştırılabilmesi için, bu bulguların alan birimine indirgenmiş BAF değerleriyle birlikte ele alınmasının gerekli olduğu anlaşılmaktadır.

Park Türü	**Ortalama BAF (m^2)**	**Değerlendirme**
Orman Parkları	28.758	İlçenin en yüksek toplam ekolojik kapasitesine sahip alanlarıdır.
Dinlenme Parkları	709,9	Orta düzeyde ekolojik performans sergilemektedir.
Çocuk Oyun Parkları	702,7	Yoğun sert zemin kullanımı nedeniyle ekolojik işlevselliği sınırlıdır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Park Türü	Ortalama BAF (m^2)	Değerlendirme
Kamusal Yeşil Alanlar	359,6	Toplam ekolojik katkısı düşüktür.
Bitki Bahçeleri	275,2	Alan sınırlılığı nedeniyle toplam katkı düşüktür.

Çizelge 1. Park Türlerine Göre Ortalama Biyotop Alan Faktörü (BAF) Değerleri

Park türlerinin birim alan başına düşen Biyotop Alan Faktörü (BAF) değerleri incelendiğinde, kentsel yeşil alanların ekolojik verimliliğinin park türlerine göre belirgin biçimde farklılaştığı görülmektedir. Elde edilen bulgular, yeşil alanların ekolojik performansının yalnızca alan büyüklüğüne bağlı olmadığını; yüzey bileşimi, geçirgenlik düzeyi ve bitkilendirme niteliği gibi ekolojik özelliklerin de belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

Orman parkları, 1000 m² başına 430,31 m² BAF değeri ile dengeli ve sürdürülebilir bir ekolojik yapı sunmaktadır. Doğal toprak yüzeylerinin süreklilik göstermesi ve çok katmanlı bitki örtüsünün varlığı, bu park türünün yağmur suyu infiltrasyonu, karbon tutumu ve habitat sürekliliği gibi temel ekosistem hizmetlerini etkin bir şekilde yerine getirmesine olanak sağlamaktadır.

Dinlenme parkları, 1000 m² başına 400,95 m² BAF değeri ile orta düzeyde bir ekolojik performans sergilemektedir. Bu park türlerinde yeşil alanlar bulunmasına karşın, yürüyüş yolları, oturma alanları ve sert zemin kullanımının yaygın olması geçirgen yüzey oranını sınırlamakta ve ekolojik işlevselliğin görece azalmasına neden olmaktadır.

Çocuk oyun parklarında ise 1000 m² başına 411,76 m² BAF değeri elde edilmiştir. Sayısal olarak kabul edilebilir bir BAF oranı söz konusu olmakla birlikte, kauçuk zeminler ve oyun ekipmanlarının yoğunluğu biyotop kalitesini düşürmektedir. Bu durum, özellikle biyolojik çeşitlilik ve mikroklima düzenleme açısından ekolojik katkının sınırlı kalmasına yol açmaktadır.

Kamusal yeşil alanlar, 1000 m² başına 461,66 m² BAF değeri ile görece yüksek bir geçirgenlik oranı ortaya koymaktadır. Ancak bu alanlarda bitkisel çeşitliliğin sınırlı olması, birim alan başına sunulan ekosistem hizmetlerinin niteliğini azaltmakta ve ekolojik potansiyelin tam anlamıyla değerlendirilemediğini göstermektedir.

Bitki bahçeleri ise 1000 m² başına 779,86 m² BAF değeri ile birim alan başına en yüksek ekolojik verimliliğe sahip park türü olarak öne çıkmaktadır. Yoğun ve katmanlı bitkilendirme, doğal zemin sürekliliği ve sert zemin kullanımının minimum düzeyde tutulması, bu alanların

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

sınırlı yüzölçümlerine rağmen yüksek düzeyde ekosistem hizmeti üretebilmesini mümkün kılmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, 1000 m²'ye düşen BAF değerleri, küçük ölçekli ancak iyi planlanmış yeşil alanların da yüksek ekolojik performans sağlayabileceğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu bulgu, kentsel yeşil alan tasarımında alan büyüklüğünden ziyade ekolojik niteliklerin ve tasarım kararlarının belirleyici olduğunu göstermekte; BAF temelli yaklaşımların kentsel planlama ve peyzaj tasarım süreçlerinde etkin bir değerlendirme aracı olarak kullanılmasının önemini vurgulamaktadır.

Park Türü	**1000 m²'ye Düşen BAF (m²)**	**Değerlendirme**
Orman Parkları	430,31	Dengeli ve sürdürülebilir bir ekolojik yapı sunmaktadır.
Dinlenme Parkları	400,95	Orta düzeyde ekolojik göstermektedir.
Çocuk Oyun Parkları	411,76	BAF oranı kabul edilebilir olsa da biyotop kalitesi düşüktür.
Kamusal Yeşil Alanlar	461,66	Geçirgen yüzey oranı yüksektir ancak çeşitlilik sınırlıdır.
Bitki Bahçeleri	779,86	Birim alan başına en yüksek ekolojik verimliliğe sahiptir.

Çizelge 2. Park Türlerine Göre 1000 m²'ye Düşen Ortalama BAF Değerleri

Bu sonuçlar, park türleri arasında yalnızca toplam alan büyüklüğü açısından değil, birim alan başına ekolojik verimlilik açısından da önemli farklılıklar bulunduğunu göstermektedir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu araştırma kapsamında elde edilen bulgular, Bursa ili Yıldırım ilçesinde yer alan kentsel yeşil alanların ekolojik işlevsellik açısından dengeli bir dağılım sergilemediğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Park türleri arasında hem toplam Biyotop Alan Faktörü (BAF) değerleri hem de birim alan başına düşen BAF oranları bakımından belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Bu durum, yeşil alanların ekosistem hizmeti üretme kapasitesinin yalnızca alan büyüklüğü ile açıklanamayacağını; yüzey bileşimi, geçirgenlik oranı ve bitkilendirme yapısı gibi ekolojik niteliklerin belirleyici rol oynadığını göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Analiz sonuçları, orman parklarının geniş yüzölçümleri ve doğal toprak yüzeylerinin sürekliliği sayesinde ilçenin toplam ekolojik kapasitesinin korunmasında önemli bir işlev üstlendiğini ortaya koymaktadır. Bu alanlar, yağmur suyunun toprakta tutulması, karbon depolama potansiyelinin artırılması ve habitat sürekliliğinin sağlanması gibi temel ekosistem hizmetlerinin üretiminde kentsel yeşil altyapının ana bileşenleri arasında yer almaktadır.

Birim alan başına yapılan değerlendirmeler ise farklı bir tablo sunmaktadır. Bitki bahçeleri ve bazı kamusal yeşil alanlar, sınırlı yüzölçümlerine rağmen yüksek BAF değerleri ile dikkat çekmektedir. Yoğun ve katmanlı bitkilendirme, geçirgen yüzeylerin sürekliliği ve sert zemin kullanımının minimum düzeyde tutulması, bu alanların birim alan başına yüksek ekolojik verimlilik sağlamasına olanak tanımaktadır. Bu bulgu, küçük ölçekli yeşil alanlarda doğru planlama ve tasarım kararlarıyla da yüksek ekolojik performans elde edilebileceğini göstermektedir.

Buna karşılık çocuk oyun parkları ve dinlenme parklarında yaygın olarak kullanılan sert zeminler ve yapısal donatılar, ekolojik işlevselliği sınırlandıran temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Bu tür yüzeyler yağmur suyu infiltrasyonunu azaltmakta, mikroklimatik düzenleme kapasitesini zayıflatmakta ve biyolojik çeşitliliğin gelişimini olumsuz etkilemektedir.

Genel değerlendirme sonucunda, Yıldırım ilçesindeki mevcut park tasarımlarında ekolojik işlevselliğin yeterince önceliklendirilmediği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda Biyotop Alan Faktörü (BAF) yöntemi, kentsel yeşil alanların niceliksel büyüklüklerinin ötesinde niteliksel ve işlevsel özelliklerini ortaya koyan güçlü bir analiz aracı olarak öne çıkmaktadır. BAF temelli yaklaşımların kentsel planlama ve peyzaj tasarım süreçlerine entegre edilmesi; geçirimsiz yüzeylerin azaltılması, bitkisel çeşitliliğin artırılması ve ekolojik bağlantıların güçlendirilmesi açısından önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

lberti, M. (2005). The effects of urban patterns on ecosystem function. International Regional Science Review, 28(2), 168–192.

Beatley, T. (2011). Biophilic cities: Integrating nature into urban design and planning. Washington, DC: Island Press.

Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2006). Green infrastructure: Linking landscapes and communities. Washington, DC: Island Press.

Corner, J. (2007). Terra fluxus. In J. Corner (Ed.), The landscape urbanism reader (pp. 21–33). New York: Princeton Architectural Press.

Forman, R. T. T. (1995). Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge: Cambridge University Press.

Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. Built Environment, 33(1), 115–133.

Kazmierczak, A., & Carter, J. (2010). Adaptation to climate change using green and blue infrastructure. Manchester: University of Manchester.

Kruuse, A. (2011). The biotope area factor as an indicator for urban sustainability. Proceedings of the Conference on Sustainable Urban Development, 45–52.

SenStadt (2009). Biotope area factor: Environmental planning tool. Berlin: Senate Department for Urban Development.

Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: A literature review. Landscape and Urban Planning, 81(3), 167–178.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Development of an IoT-Integrated Research Equipment Management Software System

Yahya ALHASHEMI

Erciyes University, Computer Engineering Department

yahyaelhasimi@gmail.com, 0009-0002-5634-6492

Celal ÖZTÜRK

Erciyes University, Computer Engineering Department,

celal@erciyes.edu.tr, 0000-0003-3798-8123

ABSTRACT

Modern Universities and research institutions operate numerous laboratories equipped with advanced high-cost instruments that often limited in quantity and sheard by student and researchers. This sheard usage frequently results in availability conflicts, inefficient utilization and operational delays. These issues are further exacerbated by the absent of a unified centralized management framework as each laboratory relies on its own independent procedures and heterogeneous system such fragmentation hinders interoperability, complicates coordination and restricts the ability to monitor resources effectively. Manual management practices remain prevalent leading to human errors , inconsistent documentation , unreliable inventory record and difficulties in generation accurate analytics to support strategic decision-making moreover universities face challenges in evaluating laboratory performance due the lack of standardized metrics and internationally aligned quality benchmarks limited adoption of internet of things(IoT) technologies and incompatibility between digital and manual systems further amplify these deficiencies .

This study proposes the development of an intelligent IoT-integrated laboratory and equipment management system design to automate administrative workflows, enhance real-time tracking of devices and optimize the utilization of research resources.

The proposed architecture represents the first large-scale centralized model capable of expansion across the ministry of higher education and scientific research enabling unified management of all laboratories in public and private universities by supporting centralized data sharing predictive maintenance and consistent nationwide oversight the system aims to significantly improve operational efficiency resource allocation and institutional decision-making.

Keywords:

internet of things (IoT), Software Development, Equipment Management System, Laboratory Management System (LMS)

1. INTRODUCTION

Technological advancement have significantly changed the way we understand management system especially in study environment with the emergence of new technologies such as smart applications and new methods these technologies have increased productivity in workplace.[1] Research laboratories are expanding rapidly but many still rely on manual fragmented management causing errors and poor tracking Web-Base centralized systems improve equipment monitoring and inventory providing a unified dashboard and reducing reliance on error-prone manual methods.[2] recent research emphasizes centralized digital systems for lab management improving reservations, inventory and maintenance while reducing wait time

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

,enhancing equipment use and ensuring fair resource distribution[3] other studies indicate that integration Internet of things(IoT) technologies into laboratory environment enables real-time monitoring and intelligent tracking of equipment status .IoT systems can automatically collect data, record actual device usage and connect to cloud platforms for centralized data processing and storage.[4] The literature highlights intelligent lab management systems that combine IoT and cloud analytics to enhance decision-making and track the full lifecycle of equipment systematically.[5] Studies show that IoT-based systems using RFID ,smart sensors and cloud platforms enable centralized laboratory management improving user tracking automating data handling , enhancing transparency reducing equipment loss or failures and allowing early detection of issues to prevent research interruption[6-7] Modern models of smart laboratory system architectures show that these platforms can integrate biosafety monitoring ,material management , tracking of personal and research projects within a unified system , the enhances operational safety and increases overall reliability in advanced laboratory environment [8] Studies show that centralized scheduling and equipment lending linked to user profiles improve efficiency and reduce congestion particularly in student-Havey educational labs[9] Finally recent reviews show that IoT-Base Centralized data management reduces record loss clarifies usage responsibilities and creates an automated scalable information environment where devices operate within unified network enhancing operational performance and supporting long-term management of high-cost equipment and future planning[10-11].

2. STATMENT OF THE PROBLEM

Despite many lab management systems none provide a centralized IoT-Integrated Platform For managing equipment across multiple universities, existing systems are fragmented, lack standardized management practices and are deficient in shared data, no standardized scheduling, no real-Time monitoring across multiple campuses or across-institutional resource optimization. this leads to inconsistent data, limited insight sharing, redundant equipment procurement, inefficient resource utilization and limited collaboration.

Therefore, a scalable a centralized IoT-enabled System is needed to enable real time synchronization, unified management and inter-university compatibility.

3. METHODOLOGY

This study proposed a structured multi-phase methodology to develop a centralized IoT-enabled system for managing research equipment in universities called **(REMS) IoT-Integrated Research Equipment Management Software System** the Agile Model was used for the design and implementation of an IoT-REMS. This system is tailored for universities and academic institutions to monitor and centrally their research facilities. This multi-level dependency structure was directly applied to architect the operational framework for each participating institution. This approach built upon the fundamental relationship between only three element the parent, the child and the linking element ensures the system has a flexible and scalable structure

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

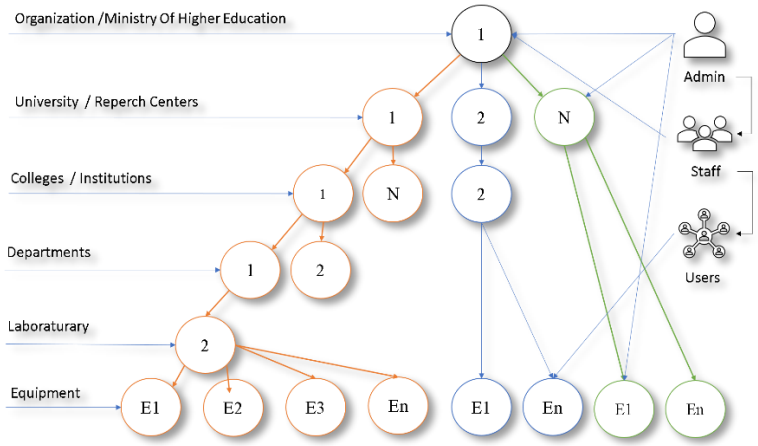


Fig 2: structure of created Organization or foundation

This core design facilitates method for the centralized linking of data, scalable both horizontally and vertically as shown in figure [2]. it begins with a

a) Requirement Analysis

1. The Stakeholder: the initial phase of the system design involved requirement analysis beginning with the identification of the key stakeholders. this group included (students, researchers, faculty members and laboratory equipment technicians) to define requirement for managing these:
   - Resources: equipment, devices and instruments.
   - Lifecycle: roles and responsibilities for equipment calibration and maintenance
   - Environment: capturing details including standard general laboratory practices (GPL)
   - Security: detailing user management and access control requirement
2. Documentation
   The functional requirement includes (User security management, faculty and laboratory management workflow, IoT-integration, Equipment management, administrative and Reporting tool) non-functional requirement include (system maintainability, usability, scalability, reliability, performance and security) The functional and non-functional requirement are documented.

b) System Design

the platform architecture is based on a relational database model designed to store and management information related to (Accounts, organization, laboratories, Equipment, Maintenance, Calibration) the schema is structured with key table such as:

- Accounts: store login credentials and personal information, roles (Admin, Staff, User)
- Organization: store the heretical of unit node and related parent node details.
- Laboratories: stores and set IoT Setting and Geo Location information for laboratory Room where the equipment are located.
- Equipment: stores and set IoT setting information for the device
- Maintenance and Calibration: stores the tracking dates information for each laboratory Room and equipment

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

- Activities: tracks and store status availably for each laboratory Room and equipment details

c) System Architecture

The proposed system is designed a three-layered architecture to ensure efficient monitoring, data collection and control of laboratory equipment as illustrated in figure [2].

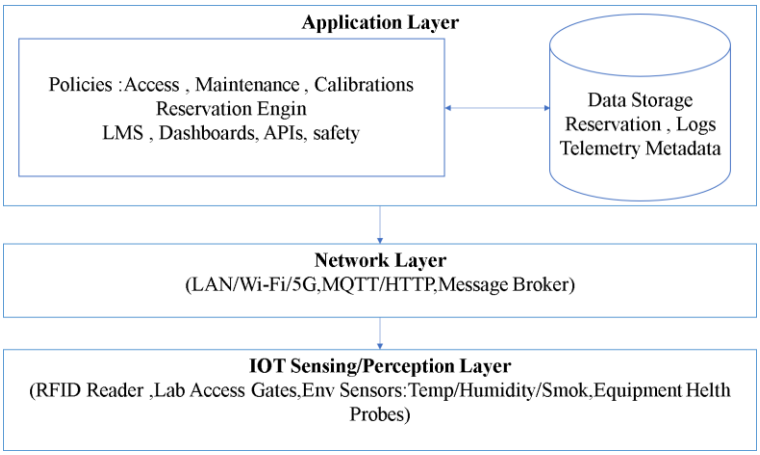


Fig 2: System Architecture

- **Application Layer:** manages access, maintenance, calibration and data storage. Includes LMS, dashboard APIs and safety systems to utilize and manage IoT data effectively.
- **Network Layer:** Acts as the communication backbone enabling reliable data transfer between IoT devices and applications via LAN, Wi-Fi,5G, MQTT, HTTP and message Brokers.
- **IoT sensing Layer:** composed of sensors and devices like RFID readers, access gates, environment sensors and equipment health probes. Collecting real-time physical data for higher-layer processing.

d) System Development

- **Front-End:** developed using modern Web technologies such as ASP.NET Core Web App (Model-View-Controller) .NET Core / .NET 8, HTML 5, CSS for styling and JavaScript for dynamic content and interactivity., Razor for handing data process, to ensure responsive design to work on many devices like computers, mobiles, tabs used Bootstrap framework 5.3 version
- **Back-End:** developed using C# programing Language and Microsoft SQL Server 2022 for database. C# language chosen for server-side scripting to handle user manage session request and interact with the database. APIs are developed to simplify communication between the Front-End and Back-End for operations such as fetching data CRUD and communicate with IoT.
- **Identity and Access Management**
  The system implements JWT (Json Web Token) to mange user sessions and enforce access control ensuring that privilege tasks like adding or management laboratory equipment are limited to authorized administrator.

e) Testing and Validation

The IoT-integrated research equipment management system was rigorously tested at multiple levels:

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

- **Unit Testing:** core modules including device registration, data acquisition and user access were tested individually.
  Each core
- **Integration Test:** verified seamless interaction between IoT devices, database, APIs and the management interface.
- **User Acceptance Testing (UAT):** stakeholders assessed usability, equipment monitoring accuracy and compliance with lab requirement.

4. USER INTERFACE OF THE SYSTEM

The system is deployed on a Windows-based server hosted in IIS information internet serveries and accessible via web browser everywhere. The system interface divided in to five main sections: Loging, dashboard, organization management, laboratory management, equipment management each section provides specific functionality administrators to manage equipment operation effectively, Dashboard provide an overview of the laboratory and equipment activity and availability status and notify user about maintenance and calibration need times.

Login Page

The figure [3] shows the login the login interface of REMS IoT-Integrated Research Equipment Management Software System 1.0 version designed with clarity, simplicity and user accessibility in mind to secure access. it features a welcoming header the system title and fields for entering a username or email and password along with a “Remember me” option and password visibility toggle. A clear “Login” button and a “forgot your password?” link support easy navigation while the system`s icon reinforces its identity as research equipment management platform.

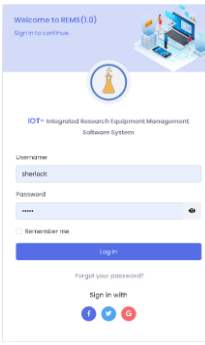


Fig 3: Login Page

Dashboard/Control Panel

The dashboard is a key component interface of IoT-Integrated Research Equipment Management Software System providing administrators with a comprehensive overview for efficiently managing laboratory equipment resources. The left side bar offers various navigation option including dashboard, organization, Accounts, Laboratory, Equipment, settings, graph, tracking) as shown in figure [4] allowing users to quickly navigate between different system functions.

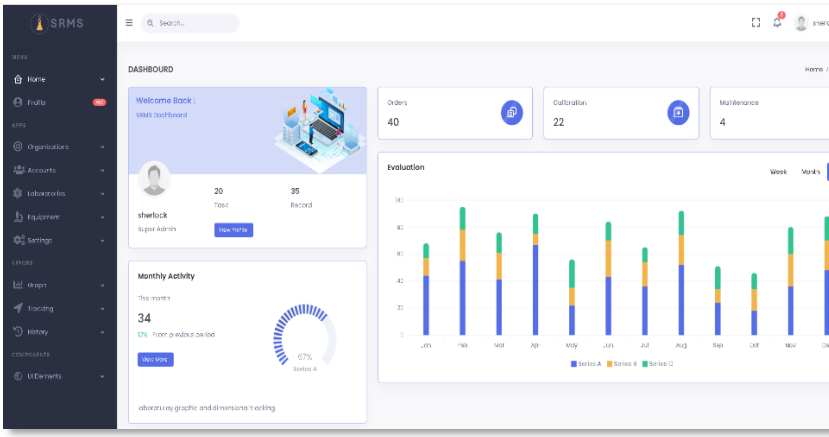


Fig 4: Dashboard of the system

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Laboratory

Efficiently managed all laboratories within the unit through and advanced IoT-based system that ensures real-time update and seamless operation, each laboratory is equipped with IoT setting that automatically notify users about the labs availability making it easier to determine if the lab is ready for use or currently under maintenance this intelligent setup not only optimize the scheduling of lab session but also provides an integrated approach to maintenance and calibration management as show in figure[5]

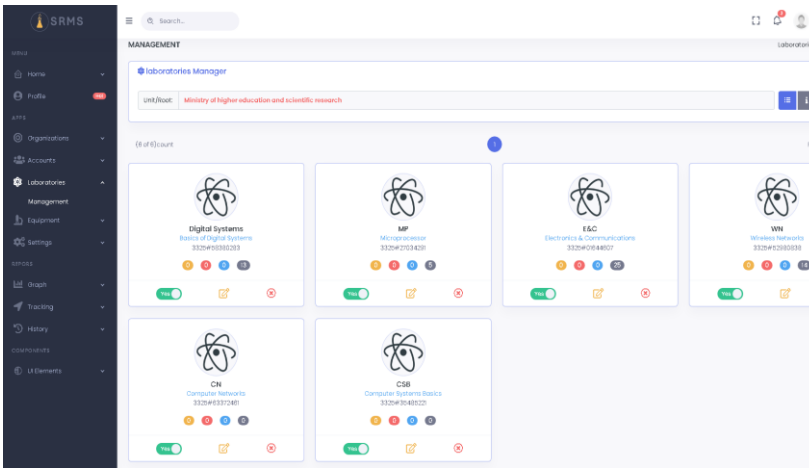


Fig 5: Dashboard of the system

Equipment

Managing and setting up equipment for each laboratory within faculty or research institute is made simpler and more efficient by integration IoT technology. this system allows for easy configuration and monitoring of equipment enabling operation or technician to manage devices remotely in addition to equipment setup the system ensure that maintenance and calibration date are carefully tracked helping to determine whether a device is ready for use as shown in figure [6]

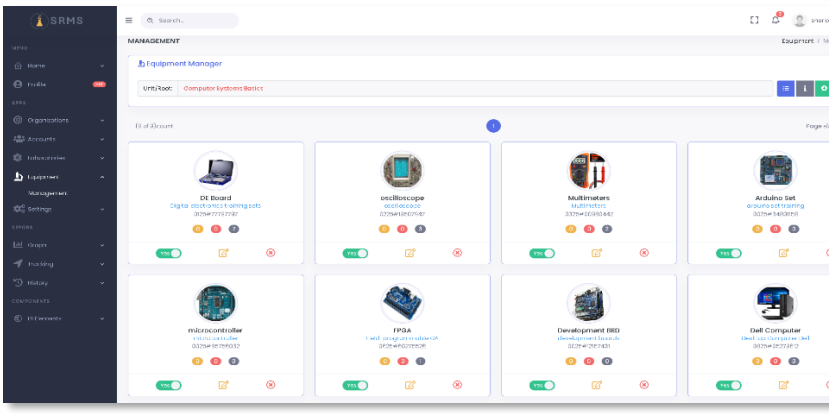


Fig 6: Dashboard of the system

5. CONCLUSION

This study successfully demonstrated the development of the IoT-Integrated Research Equipment Management Software providing an effective and centralized solution to address the structural and operational challenges in resource management across higher education institutions. The research validated the feasibility of unified platform that tackles fragmentation

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

and utilization inefficiencies through the application of the agile model the most significant contribution was the creation of a first-of-its-kind, wide-scale centralized model built upon a hierarchical dependency structure to ensure to both vertical and horizontal scalability and flexibility furthermore the integration of a three-layered IoT architecture enabled real-time monitoring and automated critical administrative task. The IoT-REMS system successfully transforms equipment management from a manual practice into cohesive digital system promising substantial improvement in operational efficiency and supporting strategic decision-making at national level.

Future Work

Future efforts will primarily focus on expanding the system`s scope for effective linking with other institutions that house research centers aiming to promote shared and unified resource governance A key functional enhancement will also include developing a comprehensive reservation and scheduling system for the equipment which will be integrated with the real-time status display, additionally the system`s capabilities will be enhanced by integrating machine learning algorithms to develop predictive maintenance and optimize resource allocation.

Reference

[1] Hussain, A., Leong, C., Puteh, N., & Zaaba, Z. F. (2019). Requirement model of conference management system: A mobile app for creating and managing conference paper. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, 13 (11), 197-212. https://doi.org/10.3991/ijim.v13i11.11280

[2] Adekunle, A. A., Abolore, B. L., Mutiu, G., & Olalekan, A. M. (2024). Design and implementation of a web-based laboratory management system for efficient resource tracking. *Asian Journal of Electrical Sciences*, *13*(2), 19-24. https://doi.org/10.70112/ajes-2024.13.2.4248

[3] Khazri, Y., Fahli, A., Moussetad, M., & Naddami, A. (2019). *Design and implementation of a reservation system and a new queuing for remote labs. International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE), 15*(12), 57–68. https://doi.org/10.3991/ijoe.v15i12.11098

[4] Li, S., Gao, X., Wang, W., & Zhang, X. (2020, June). *Design of smart laboratory management system based on cloud computing and Internet of Things technology. Journal of Physics: Conference Series*, *1549*(2), 022107. IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1549/2/022107

[5] Xu, Y., Yan, S., Lin, T., Chen, B., & Dong, A. (2024). *Development and application of intelligent laboratory management system.* In *Proceedings of the 2024 IEEE 2nd International*

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Conference on Image Processing and Computer Applications (ICIPCA) (pp. 1396–1400). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICIPCA61593.2024.10709084

[6] Y. Ma, F. Wang, & Z. Wang. (2017). Intelligent laboratory management system based on Internet of Things. *Proceedings of the 2017 12th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST)*, 464-467. https://doi.org/10.23919/ICITST.2017.8356449

[7] Li, W. G. (2020, November). *Laboratory management system based on Internet of Things.* In *Proceedings of the 2020 International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS)* (pp. 303–306). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICRIS52159.2020.00074

[8] Sun, D., Wu, L., & Fan, G. (2021). *Laboratory information management system for biosafety laboratory: Safety and efficiency. Journal of Biosafety and Biosecurity, 3*(1), 28–34. https://doi.org/10.1016/j.jobb.2021.03.001

[9] Arief, D. S., Susilawati, A., & Dalil, M. (2016, November 7). *Management system design of scheduling of laboratory equipment based computerized.* In *Proceedings of Ocean, Mechanical and Aerospace Science & Engineering* (Vol. 3) [Paper]. Universitas Riau. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/312165860_Management_System_Design_of_Scheduling_of_Laboratory_Equipment_Based_Computerized

[10] Hu, C., Wang, X., & Wang, Y. (2020). *Research on equipment management system based on robot laboratory. Journal of Computer and Communications, 8*(7), 23–31. https://doi.org/10.4236/jcc.2020.87003

[11] Witczak, D., & Szymoniak, S. (2024). Review of monitoring and control systems based on Internet of Things. Applied Sciences, 14(19), 8943. https://doi.org/10.3390/app14198943

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

SPOR TEKSTİLİNDE DÜZ ÖRME VE DİKİŞSİZ TEKNOLOJİLER

Dr. Öğr. Üyesi Z. EVRİM KANAT

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi,

zehraevrim.kanat@comu.edu.tr- ORCID ID- 0000-0001-8538-3765

ÖZET

Spor tekstili, atletik performansı artırmayı, kullanıcı konforunu iyileştirmeyi ve yaralanma riskini azaltmayı amaçlayan, tekstil mühendisliği, malzeme bilimi ve insan fizyolojisinin kesiştiği disiplinler arası bir araştırma alanını oluşturmaktadır. Spor tekstilinin rolü, temel korumadan aktif performans artırımına doğru evrimleşmiştir. Modern atletik giyimden fizyolojik fonksiyonu optimize etmesi, vücut sıcaklığını ve nemini yönetmesi ve mekanik strese dayanması beklenmektedir. Bunun yanı sıra, artan çevre bilinci, tekstil üretimi ve tüketiminin ekolojik etkisinin azaltılmasını gerektirmektedir. Örme kumaşlar, özellikle atkı örme yapılar, doğal esneklikleri, şekillendirilebilirlikleri ve insan vücuduna uyum sağlama yetenekleri nedeniyle spor tekstilinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Düz örme ve dikişsiz üretim teknolojilerindeki son gelişmeler, optimize edilmiş mekanik destek, termofizyolojik konfor ve azaltılmış çevresel etki ile son derece fonksiyonel spor giysilerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Bu çalışma, spor tekstillerinde kullanılan düz örme ve dikişsiz teknolojilerin kapsamlı bir literatür analizini sunmakta olup, üç boyutlu (3D) şekillendirme, akıllı tekstil entegrasyonu ve sürdürülebilirlik odaklı üretim yaklaşımlarına odaklanmaktadır. Geleneksel kesme ve dikme yönteminin ötesine geçen bu üretim süreçleri, kumaş yapısı üzerinde doğrudan kontrol imkanı sağlamaktadır. Genel olarak, bulgular, yeni nesil spor tekstillerinin geliştirilmesinde yapı, malzeme seçimi, işlevsellik ve sürdürülebilirliği entegre eden bütünsel bir tasarım yaklaşımının gerekliliğini vurgulamaktadır. Dikişsiz ve Whole Garment®/ Knit and Wear sistemler, yalnızca giyenin konforunu ve performansını iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda malzeme israfını ve üretim karmaşıklığını azaltarak sürdürülebilirliği de destekler. Bu makale, bu teknolojilerin spor giyiminin yapısal, işlevsel ve sürdürülebilir boyutlarını nasıl eş zamanlı olarak geliştirdiğini incelemek için mevcut gelişmeleri gözden geçirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Düz örme, Dikişsiz örme, 3D örme, Spor tekstilleri, Fonksiyonel tasarım, Sürdürülebilir üretim.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

FLAT KNITTING AND SEAMLESS TECHNOLOGIES IN SPORTS TEXTILES

ABSTRACT

Sports textiles constitute an interdisciplinary research field at the intersection of textile engineering, materials science, and human physiology, aiming to enhance athletic performance, improve wearer comfort, and reduce injury risk. The role of sports textiles has evolved from basic protection to active performance enhancement. Modern athletic apparel is expected to optimize physiological function, manage body temperature and moisture, and withstand mechanical stress. Beside this, increasing environmental awareness necessitates reductions in the ecological impact of textile production and consumption. Knitted fabrics, particularly weft-knitted structures, are widely used in sports textiles due to their inherent elasticity, formability, and ability to conform to the human body. Recent advances in flat knitting and seamless manufacturing technologies have enabled the development of highly functional sports garments with optimized mechanical support, thermo-physiological comfort, and reduced environmental impact. This study presents a comprehensive literature-based analysis of flat knitting and seamless technologies used in sports textiles, focusing on three-dimensional (3D) shaping, smart textile integration, and sustainability-oriented production approaches. Moving beyond conventional cut-and-sew assembly, these manufacturing processes enable direct control over fabric architecture during formation. Overall, the findings highlight the necessity of a holistic design approach that integrates structure, material selection, functionality, and sustainability in the development of next-generation sports textiles. Seamless and Whole Garment® / Knit and Wear systems not only improve wearer comfort and performance but also support sustainability by reducing material waste and production complexity. This article reviews current developments to explore how these technologies concurrently advance the structural, functional, and sustainable dimensions of sportswear.

Keywords: Flat knitting, Seamless knitting, 3D knitting, Sports textiles, Functional design, Sustainable manufacturing

1. INTRODUCTION

Sports textiles have evolved significantly over the past decades, driven by increasing demands for enhanced athletic performance, comfort, and injury prevention. Modern sports garments are expected to provide not only mechanical support and freedom of movement but also effective thermo-physiological regulation and moisture management [1]. In this context, textile structure and manufacturing technology play a critical role in determining garment performance.

Knitted fabrics, particularly weft-knitted structures, are widely used in sports textiles due to their inherent elasticity, formability, and ability to conform to the human body. Among weft knitting systems, flat knitting and seamless manufacturing technologies have gained prominence owing to their design flexibility and production efficiency [2]. These technologies

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

enable the production of garments with minimal seams, improved ergonomic fit, and reduced material waste.

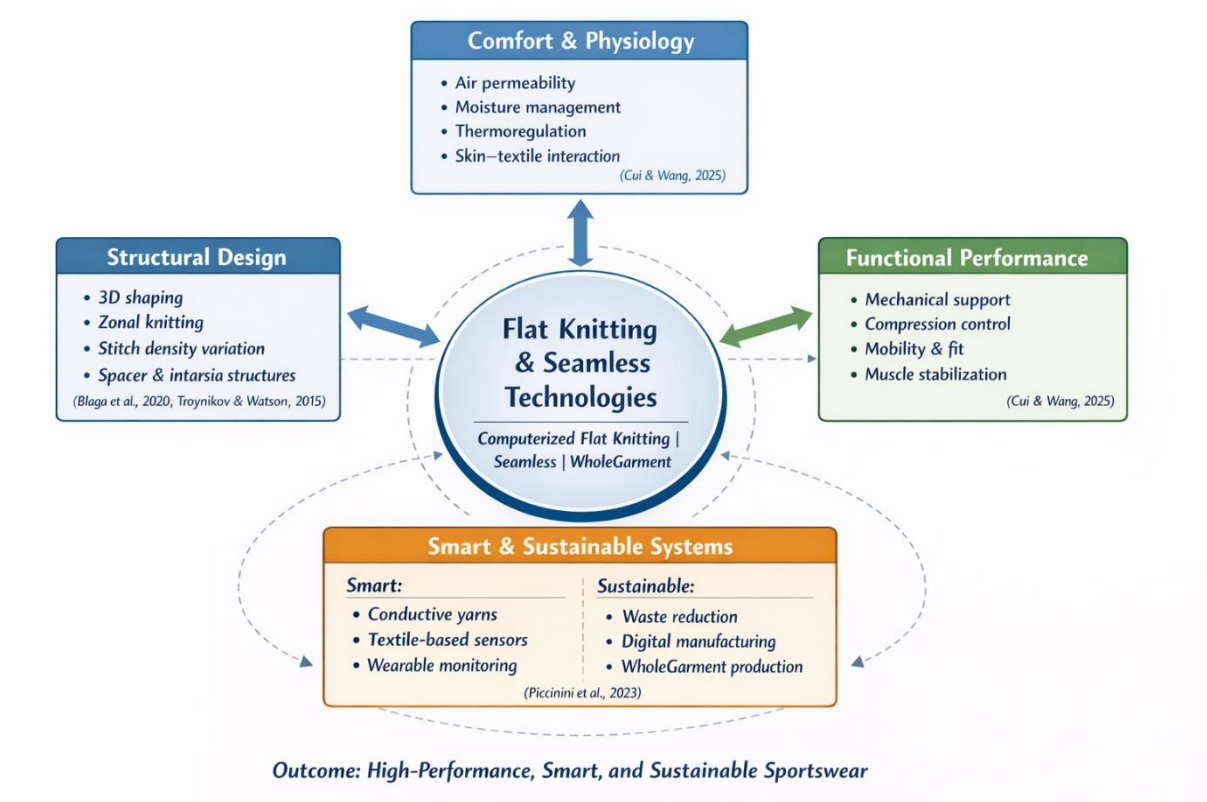


Figure 1: Flat knitting-based sports textile design.

Recent research has increasingly focused on the integration of advanced flat knitting techniques, three-dimensional (3D) shaping, elastic structure optimization, and smart textile functionalities into sports garments. At the same time, sustainability considerations have become central to textile product development, emphasizing waste reduction, digital manufacturing, and resource efficiency [3]. This paper aims to synthesize current research on flat knitting and seamless technologies in sports textiles, highlighting their structural, functional, and environmental implications.

2. FLAT KNITTING AND SEAMLESS MANUFACTURING TECHNOLOGIES

Flat knitting technologies have undergone substantial technological advancement, particularly with the introduction of computerized electronic flat knitting machines. These systems enable precise control over stitch formation, yarn placement, and fabric geometry, allowing complex structures to be produced directly on the machine [4].

Seamless manufacturing represents a significant innovation in sportswear production. By producing garments as a single piece, seamless technologies eliminate traditional cutting and sewing stages, thereby reducing seam-related pressure points and friction that may cause discomfort or skin irritation during physical activity [2]. Fully-fashioned and Whole Garment® / Knit and Wear systems further enhance production efficiency by shaping garments directly during knitting, minimizing post-processing operations and material waste (Figure 2).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

a b

Figure 2. Ready to Wear technologies a. Whole Garment® technology by Shima Seiki [5] b. Knit and Wear technology by Stoll [6]

From a functional perspective, seamless flat knitting enables localized structural variations within a single garment. This capability is particularly relevant for sportswear, where different body regions require varying levels of elasticity, support, and ventilation.

3. THREE-DIMENSIONAL SHAPING AND ZONAL STRUCTURAL DESIGN

One of the key advantages of flat knitting technologies is their capacity for three-dimensional shaping and zonal structural design. Techniques such as intarsia, plating, spacer knitting, and stitch density variation allow designers to create regions with different mechanical and comfort properties within the same textile (Figure 3). The core strength of flat knitting lies in the independent control of individual needles. By strategically varying stitch type (knit, tuck, miss), loop length, and yarn tension across a single fabric panel, zones with distinct mechanical properties can be created. For example, a football tight can incorporate a rigid, supportive structure for the hamstring muscles alongside a more elastic structure for the groin area to allow freedom of movement [4].

a b c

Figure 3. Different flat-bed knitting techniques a. Intarsia, b. Plating c. Spacer

The most advanced application of this approach is 3D integral or Whole-Garment®/ Knit and Wear knitting. This technique produces seamless items like tops or tights in one piece, eliminating traditional side and arm seams [7]. This not only enhances comfort but also improves durability, as seams are typically the weakest points.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

3D-shaped knitted structures are especially advantageous in applications such as sports footwear uppers, compression garments, and performance apparel, where anatomical fit and functional zoning are critical. By integrating shaping directly into the knitting process, flat knitting technologies reduce the need for additional components or assembly steps, thereby improving structural integrity and wearer comfort.

The literature indicates that zonal design strategies enable targeted reinforcement, controlled compression, and enhanced breathability without compromising overall garment flexibility. This approach supports the development of ergonomically optimized sports garments that respond to specific biomechanical and physiological demands. Flat knitting technologies provide the flexibility required to fine-tune these structural parameters, enabling designers to adjust stitch density, yarn composition, and fabric geometry according to specific performance requirements.

4. SMART TEXTILE INTEGRATION IN KNITTED SPORTSWEAR

Beyond conventional mechanical and comfort-related functionalities, sports textiles are increasingly incorporating smart textile elements. Conductive yarns and textile-based sensors integrated into knitted structures allow real-time monitoring of body movements, pressure distribution, and physiological parameters such as heart rate or muscle activity.

Flat knitting and seamless technologies offer significant advantages for sensor integration due to their precise yarn placement capabilities and structural versatility. Sensors can be embedded seamlessly into the textile structure without compromising comfort or aesthetics, making knitted sportswear an ideal platform for wearable technologies.

Flat knitting technology plays a significant role in the production of flexible, comfortable, and functional sensors for sportswear and health applications. This technology, particularly through computerized flat knitting machines, enables the precise placement of complex patterns and sensors. Sensor-integrated textiles produced via flat knitting offer an ideal infrastructure for monitoring athletic performance, preventing injuries, and supporting rehabilitation processes [8].

5. SUSTAINABILITY AND DIGITAL MANUFACTURING APPROACHES

Sustainability has become a central concern in the sports textile industry, driven by environmental regulations, consumer awareness, and industrial efficiency goals. Seamless and Whole Garment® /Knit and Wear manufacturing systems contribute to sustainability by minimizing material waste and reducing production stages [3]. These technologies can facilitate design choices aligned with a circular economy [9].

Digital design tools, CAD/CAM systems, and body scanning technologies further enhance sustainable production by enabling virtual prototyping and personalized garment design. These approaches reduce the need for physical samples and excess inventory, thereby lowering energy consumption and material use.

The high cost of technical yarns contributes significantly to the overall expense of technical textile products. The knitting industry offers a strategic advantage in cost reduction by leveraging its capacity for waste-less manufacturing. Through techniques like seamless knitting

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

and 3D integral shaping, which minimize material waste, and through the potential for yarn recycling, knitting provides a cost-effective approach that simultaneously supports sustainable production paradigms [10].

The literature suggests that combining flat knitting technologies with digital manufacturing strategies represents a promising pathway toward environmentally responsible sportswear production.

6. CONCLUSIONS

This review highlights the critical role of flat knitting and seamless manufacturing technologies in the development of high-performance sports textiles. Advanced flat knitting techniques enable three-dimensional shaping, zonal structural design, and the integration of smart textile functionalities within a single garment. Seamless and Whole Garment® / Knit and Wear systems not only improve wearer comfort and performance but also support sustainability by reducing material waste and production complexity.

Future research should focus on the long-term durability and washability of smart knitted sports textiles, as well as the industrial scalability of advanced flat knitting and digital manufacturing approaches. A holistic design framework that integrates structure, material selection, functionality, and sustainability will be essential for the next generation of sports textiles.

In this context, advancements are expected in areas such as the direct integration of conductive yarns or responsive materials into the knitting structure for sensing or thermoregulation capabilities; the continuous development of software to facilitate the translation of design intent into viable knitting programs; and progress towards true closed-loop systems where end-of-life knitted products are efficiently recycled into high-quality raw materials for new yarns.

Progress in these areas will benefit from collaborative efforts across design, textile engineering, materials science, and environmental science. The continued evolution of flat and seamless knitting promises to support the development of sportswear that effectively meets the dual imperatives of high performance and low environmental impact.

REFERENCES

[1] Cui, G., & Wang, C. Applications and development trends of textile materials in sports: A review. Alexandria Engineering Journal, *126*, 491–506, 2025.

[2] Troynikov, O., & Watson, C. Knitting technology for seamless sportswear. In Textiles for Sportswear pp. 95–125, Elsevier, 2015.

[3] Piccinini, L., Sanches, R. A., & Figueiredo, C. Innovation and sustainability in fashion products using flat knitting. Fashion and Textile Technology Journal / Proceedings. 2023.

[4] Blaga, M., Penciuc, M., & Ștefan, E.-I. Teaching three-dimensional shaping for knitting technical applications. Proceedings of the 16th International Scientific Conference eLearning and Software for Education. 2020.

[5] https://www.shimaseiki.com/ (Erişim Tarihi: 28.12.2025)

[6] https://www.stoll.com/en/products-and-solutions/machines/knit-and-wear/cms-530-ki-knit-and-wear-1/ (Erişim Tarihi: 28.12.2025)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[7] Löcken, H., Blaga, M. Innovations in Knitted Textiles. In *Sustainable Innovations in the Textile Industry*, pp. 165-185, Elsevier, 2023.

[8] Ma, P., Liu, Q., Niu, L., Li, Y. Research progress of knitted sensors in the field of sports and fitness apparel. *Wearable Technology*,1 (1), 2–11, 2020.

[9] Koszewska, M. Circular economy - challenges for the textile and clothing industry. *Autex Research Journal*, *18*(4), 337-347, 2018.

[10] Ciobanu, A.-R., & Blaga, M. Training Guide for Designing 3D Knitwear for Technical Products. *The 8th International Symposium Technical Textile - Present and Future, 2023.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Spectral Methods in the Simulation of Nonlinear Systems Under Random Forcing

Minoo Kamrani

School of Mathematics, Statistics and Computer Science, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

Email address: m.kamrani@ut.ac.ir

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5053-3839

Abstract

Nonlinear evolution models influenced by random forcing play a central role in the description of complex physical and engineering processes. This study develops a spectral-based computational framework for the simulation of such systems, with particular attention to accuracy and stability in the presence of randomness. The approach employs global basis functions to represent the spatial structure of the solution, resulting in a reduced system of stochastic ordinary differential equations. Rigorous analysis is carried out to quantify the approximation error and to identify conditions under which the method remains stable for nonlinear dynamics. The effectiveness of the proposed strategy is demonstrated through numerical simulations of representative randomly forced nonlinear models.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

SYNTHETIC ANOMALY GENERATION FOR ATTACK DETECTION: A GENERATIVE AI-SUPPORTED APPROACH

Zeynep AVKAROĞLU
Kastamonu University, 250706001@ogr.kastamonu.edu.tr- 0009-0001-5877-8873
Asst. Prof. Dr. Ahmet Nusret ÖZALP
Kastamonu University, anozalp@kastamonu.edu.tr - 0000-0003-4882-9216

ABSTRACT

The Internet of Things (IoT) has connected billions of devices worldwide, enabling innovative approaches across critical infrastructures, including energy, transportation, healthcare, and industrial systems. As of 2023, approximately 16 billion IoT devices are in operation globally, and this number is expected to reach nearly 30 billion by 2030. While this rapid expansion enhances efficiency and convenience, it also introduces significant security risks. Cyberattacks targeting IoT devices in critical sectors, including power grids, transportation systems, and healthcare infrastructures, have increased dramatically in recent years. Traditional signature-based Intrusion Detection Systems (IDS) are often inadequate for detecting dynamic and multi-stage IoT attacks, particularly due to data heterogeneity and the scarcity of labeled anomaly data. Recently, Generative Artificial Intelligence (GenAI) models have emerged as a promising solution to address these challenges. By leveraging techniques such as Generative Adversarial Networks (GANs), Variational Autoencoders (VAEs), and diffusion models, it is possible to generate synthetic anomaly data, thereby constructing richer training datasets and enhancing the performance of intrusion detection systems. These approaches are of strategic importance for preventing service disruptions and ensuring the security and resilience of critical infrastructures. This study reviews the literature published over the last five years, focusing on synthetic anomaly generation using generative models in IoT-based intrusion detection systems. GAN, VAE and diffusion-based approaches are comparatively analyzed in terms of their capabilities, advantages and limitations for enhancing attack detection performance.

Keywords: Generative AI, IoT, Synthetic Anomaly, GAN, VAE

1. INTRODUCTION

The modern digital defense landscape is characterized by a distinct asymmetry: while defenders must secure every point of the system and all potential vulnerabilities, attackers only need to target a single weak point to succeed. This imbalance further exacerbates the data issue related to Machine Learning (ML) in cybersecurity. Although normal network traffic data is abundant, high-quality, labeled data representing sophisticated cyberattacks is extremely limited. This situation creates a "class imbalance" problem, leading to the inability of ML models—trained predominantly on benign data—to learn the precise decision boundaries required to detect rare malicious events [1]. Furthermore, this dependency on historical data renders models

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ineffective against zero-day attacks and novel exploits for which no signature or prior instance exists.

As critical infrastructures transition toward zero-touch automation and ultra-reliable low-latency communication (URLLC) technologies, the cost of failures reaches immense proportions. In 6G networks, a disruption in mobility data can impair autonomous vehicle coordination; simultaneously, a spoofed Generic Object Oriented Substation Event (GOOSE) message in smart grids can trigger cascading power outages [1]. Traditional anomaly detection methods are typically reactive systems that operate based on rules or signatures and depend on historical data. Signature- and rule-based systems generally rely on known threat signatures, static rules, or predefined threshold values [1]. Traditional methods generally rely on manual error detection or static automation rules, which prove insufficient in the face of the complexity of modern networks.

Anomaly detection in IoT systems involves identifying deviations from the expected standards in the data flow. While traditional approaches rely on threshold-based methods or unsupervised learning, GenAI-based approaches enhance the process by generating synthetic data. Model accuracy declines due to the scarcity of labeled cybersecurity datasets and data quality issues. Furthermore, the sharing of real-world data is restricted by security and privacy concerns [2]. Generative Artificial Intelligence models can expand training datasets by generating synthetic attack data. Generative AI models possess the capability to create new samples from the original data distribution, which enhances the diversity and robustness of the models [2].

Generative Artificial Intelligence (GenAI) offers a transformative solution to the problem of data scarcity. Unlike discriminative models, which learn to map input data to class labels (e.g., "normal" or "attack"), generative models learn the underlying probability distribution of the data. This capability allows them to generate new and synthetic data samples that are statistically similar to real data yet distinct enough to provide novel training examples.

2. METHODOLOGY

Anomaly detection is the process of identifying patterns in data that do not conform to expected behavioral norms. In cybersecurity, these anomalies translate into actionable intelligence regarding unauthorized access, fraud, or system failures. The evolution of methodologies reveals a continuous progression toward higher levels of abstraction and automation.

The generative artificial intelligence models that stand out in the literature for synthetic anomaly and data generation are Generative Adversarial Networks (GAN), Variational Autoencoders (VAE), Diffusion Models, and Large Language Models (LLM).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2.1 GAN

Generative Adversarial Networks (GAN): GANs, as defined by Goodfellow et al. [3], consist of generator and discriminator networks competing against each other. While the generator attempts to produce realistic samples from random noise, the discriminator tries to distinguish whether these samples are fake or real; as the training progresses, the generated samples become increasingly realistic[4]. GANs can generate high-quality, realistic samples by learning complex data distributions. While their ability to produce realistic data and the potential for targeted synthesis through model variations (such as CGAN) are among the strengths of GANs [5], their primary weaknesses include susceptibility to mode collapse and instabilities during training, as well as high computational requirements [5], [6].

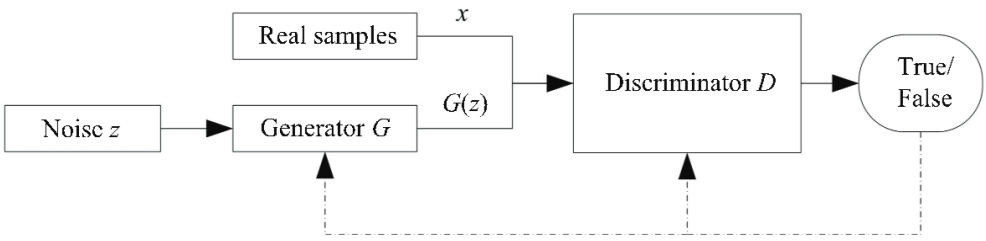


Fig.10. Computational procedure and architecture of a GAN. [7]

2.2 VAE

Variational Autoencoders (VAE): VAEs consist of an encoder network that encodes the data into a low-dimensional probabilistic latent space and a decoder network that reconstructs the data from this space [4]. By calculating the mean and variance parameters from the input data, the distribution within the latent space is learned. Since VAEs are trained to make the output similar to the input, they can generate new similar samples. While their strengths include stable training processes, sample diversity, and an interpretable latent space, their weaknesses are that the generated samples can often be blurrier compared to GANs and they may remain limited in learning complex structures[8]. For instance, studies have demonstrated that VAE-based methods can outperform traditional classifiers in terms of accuracy (AUC)[8].

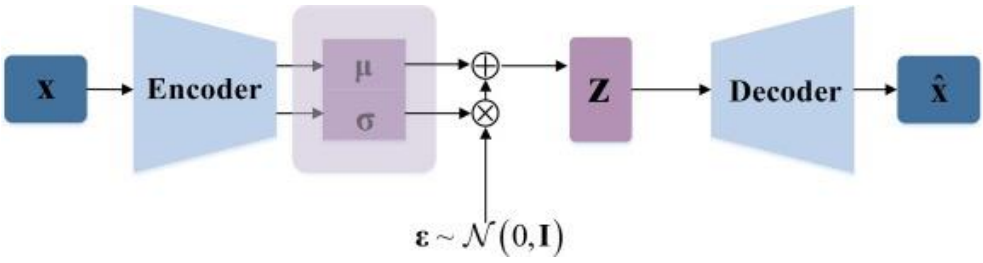


Fig. 11. Architecture of a VAE [9]

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2.3 Diffusion Models

Diffusion Models: Given the inherent challenges such as the scarcity of anomalies and the complexity of data distribution, identifying samples that deviate significantly from expected behavior presents particular difficulties in unsupervised environments where only a limited number of labeled anomalies are available [10]. These models are based on the processes of degrading data by incrementally adding noise (forward process) and generating new data through denoising (reverse process) [4]. The forward process involves continuously adding noise to the original data through successive steps. This process continues until the data is transformed into a completely random representation, which typically results in a standard normal distribution. By utilizing a trained network (usually a denoising model), the system learns to step-by-step remove the noise from this random representation (noised data). This reconstructs the original data or generates similar new models [4]. Once this procedure is completed, the new data mimics the characteristics of the original dataset. Diffusion models generate highly efficient and realistic samples with a high level of detail, particularly in image generation tasks. In recent years, they have gained significant popularity through examples such as Stable Diffusion[11]. While their strengths include training stability—free from mode collapse—and the production of a wide variety of high-quality samples [6] ,their weaknesses lie in the fact that the process is computationally intensive and slow due to the large number of steps required [6].

2.4 LLMs (Large Language Models)

LLMs (Large Language Models): Transformer-based language models with vast parameters (e.g., GPT, BERT, Gemini) are capable of generating content in natural language [12]. In the specific context of IoT, LLMs are utilized to analyze security logs to provide anomaly detection and situational recommendations. LLMs play a critical role, particularly in code analysis and the detection of zero-day vulnerabilities.

2.4.1. Exploit-Oriented Test Scenarios (Fuzzing):Advanced detection systems utilize LLMs to automatically generate "exploit-oriented test cases" in order to proactively uncover vulnerabilities [11].Essentially, this involves generating artificial anomalies (attack scenarios) to measure the resilience of the system.

2.4.2. Adversarial Examples: Attackers utilize LLMs to generate polymorphic (shape-shifting) malware [11]. On the defensive side, this situation necessitates that models be trained against such "synthetic" attacks. To increase the resilience of LLMs against hostile attacks, "adversarial learning" techniques must be employed [2]. Their strengths include a rich contextual understanding, the ability to identify multi-stage attacks, and the capacity to generate attack and patch recommendations. Conversely, their weaknesses involve the requirement for substantial computational resources, which makes their integration with the limited processing power of IoT devices particularly challenging [12]. LLMs are considered a new tool in IoT security, with their potential particularly emphasized in log analysis and threat intelligence.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

It is understood that diffusion models offer a broader mode coverage and superior sample quality compared to GANs and VAEs.

3. RESULTS AND EVALUATION

In generative AI-supported intrusion detection systems, synthetic anomaly generation offers significant advantages that enhance the effectiveness of security mechanisms, especially in IoT-based environments. One of the most fundamental contributions of this approach is the preservation of data privacy. The integration of privacy-preserving techniques, such as differential privacy, with generative models during the processing of sensitive cybersecurity data allows for secure analysis without disclosing real user or system data. This situation provides a significant advantage in overcoming legal and ethical constraints regarding data sharing, particularly in critical infrastructures.

Another significant advantage is the capability for future-oriented threat forecasting. By learning from historical attack patterns, generative models can synthetically produce novel attack patterns that have not yet been observed. Consequently, security teams can prepare their systems not only against past attacks but also against potential future threats. This approach supports the transformation of defense mechanisms into a proactive structure.

Furthermore, generative AI-based systems offer superior performance in detecting zero-day attacks compared to traditional methods. In particular, Large Language Models (LLMs) and other GenAI-based approaches can identify previously undefined vulnerabilities and abnormal behaviors through their capacity for semantic code and behavioral analysis. This provides a significant advantage in scenarios where signature-based or rule-based systems prove inadequate. However, these systems based on synthetic anomaly generation also face certain challenges and limitations. The accuracy and reliability of the data generated or the detections performed by generative models remain a critical research problem. Specifically, the propensity of AI models to generate hallucinations can lead to false positive or false negative results.

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

In summary, synthetic anomaly generation in generative AI-supported intrusion detection systems focuses on enriching datasets through GANs, VAEs, and Large Language Models, creating realistic simulation-based attack scenarios, and employing adversarial training approaches to prepare systems against threats that have not yet occurred. In this respect, the aforementioned methods are candidates to assume a central role in the cybersecurity architectures of the future.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

REFERENCES

[1] V. S. Rao, R. Balakrishna, Y. A. B. El-Ebiary, P. Thapar, K. A. Saravanan, and S. R. Godla, "AI Driven Anomaly Detection in Network Traffic Using Hybrid CNN-GAN," *Journal of Advances in Information Technology*, vol. 15, no. 7, pp. 886–895, 2024, doi: 10.12720/jait.15.7.886-895.

[2] S. Ankalaki, A. R. Atmakuri, M. Pallavi, G. S. Hukkeri, T. Jan, and G. R. Naik, "Cyber Attack Prediction: From Traditional Machine Learning to Generative Artificial Intelligence," 2025, *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.* doi: 10.1109/ACCESS.2025.3547433.

[3] I. Goodfellow *et al.*, "Generative adversarial networks," *Commun ACM*, vol. 63, no. 11, pp. 139–144, Oct. 2020, doi: 10.1145/3422622.

[4] J. L. López Delgado and J. A. López Ramos, "A Comprehensive Survey on Generative AI Solutions in IoT Security," Dec. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/electronics13244965.

[5] T. Ndayipfukamiye, J. Ding, D. S. Sarwatt, A. G. Philipo, and H. Ning, "Adversarial Defense in Cybersecurity: A Systematic Review of GANs for Threat Detection and Mitigation," Sep. 2025, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2509.20411

[6] Y. Liu *et al.*, "Anomaly Detection and Generation with Diffusion Models: A Survey," Jun. 2025, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2506.09368

[7] K. Wang, C. Gou, Y. Duan, Y. Lin, X. Zheng, and F. Y. Wang, "Generative adversarial networks: Introduction and outlook," Oct. 01, 2017, *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.* doi: 10.1109/JAS.2017.7510583.

[8] J. Halvorsen, C. Izurieta, H. Cai, and A. Gebremedhin, "Applying Generative Machine Learning to Intrusion Detection: A Systematic Mapping Study and Review," *ACM Comput Surv*, vol. 56, no. 10, Jun. 2024, doi: 10.1145/3659575.

[9] Y. Zhou, X. Liang, W. Zhang, L. Zhang, and X. Song, "VAE-based Deep SVDD for anomaly detection," *Neurocomputing*, vol. 453, pp. 131–140, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.neucom.2021.04.089.

[10] H. Wang, L. Dai, J. Tong, and Y. Zhai, "Odd: One-Class Anomaly Detection Via The Diffusion Model," in *Proceedings - International Conference on Image Processing, ICIP*, IEEE Computer Society, 2023, pp. 3000–3004. doi: 10.1109/ICIP49359.2023.10222162.

[11] K. Ahi and S. Valizadeh, "Large Language Models (LLMs) and Generative AI in Cybersecurity and Privacy: A Survey of Dual-Use Risks, AI-Generated Malware, Explainability, and Defensive Strategies," in *2025 Silicon Valley Cybersecurity Conference, SVCC 2025*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2025. doi: 10.1109/SVCC65277.2025.11133642.

[12] K. Khatiwada, J. Hopper, J. Cheatham, A. Joshi, and S. Baidya, "Large Language Models in the IoT Ecosystem -- A Survey on Security Challenges and Applications," May 2025, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2505.17586

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

REGULARIZATION EFFECTS OF DROPOUT IN DEEP LEARNING MODELS FOR SKIN LESION CLASSIFICATION

Asst. Prof. Dr. İsmail IRMAKÇI
Ege University, Faculty of Computer and Informatics Sciences,
Department of Computer Engineering, Izmir, Türkiye
ismail.irmakci@ege.edu.tr
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3277-2710

ABSTRACT

Dropout is a widely used regularization technique in deep learning, aimed at improving generalization and mitigating overfitting. However, its effectiveness can vary substantially across architectures and datasets, particularly in medical image classification tasks where model reliability is critical. In this study, we investigate the regularization effects of dropout on skin lesion classification using the DermaMNIST benchmark, a standardized dermatoscopic dataset designed for reproducible medical AI research. To isolate the influence of regularization, the learning rate is fixed, and dropout rates are systematically varied under identical training conditions. We evaluate multiple deep neural network architectures, including DenseNet121, RegNet-Y-800MF, and ResNet18, representing diverse design principles in convolutional network development. Model performance is assessed using test accuracy, area under the ROC curve (AUC), F1-score, precision, and recall. The results demonstrate that dropout primarily induces gradual performance modulation rather than abrupt degradation, with moderate dropout improving generalization for certain architectures while excessive regularization leads to performance decline. DenseNet121 exhibits strong robustness across dropout configurations, whereas RegNet-Y-800MF shows increased sensitivity to higher dropout rates. These findings highlight the architecture-dependent nature of dropout regularization and emphasize the importance of careful dropout tuning when developing reliable deep learning systems for automated skin lesion classification.

Keywords: Dropout Regularization, DermaMNIST, Skin Lesion Classification

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

INTRODUCTION

Skin cancer is among the most prevalent forms of cancer worldwide, with early detection playing a crucial role in improving patient prognosis and survival rates[1]. Dermoscopic imaging has become a standard non-invasive tool in clinical dermatology, enabling clinicians to visualize morphological structures of skin lesions that are often imperceptible to the naked eye. However, the interpretation of dermoscopic images is highly dependent on expert knowledge and is subject to inter-observer variability, motivating the development of automated and reproducible computer-aided diagnostic systems.

Recent advances in deep learning have significantly improved the performance of automated skin lesion analysis systems[2]. Convolutional neural networks (CNNs), in particular, have demonstrated remarkable capability in extracting hierarchical visual representations from dermoscopic images, enabling accurate lesion classification across multiple disease categories[3], [4]. Architectures such as ResNet[5], DenseNet[6], and RegNet[7] have become standard backbones in medical image analysis due to their strong feature reuse, efficient parameterization, and stable optimization behavior. Despite these advances, deep learning models remain susceptible to overfitting, especially when trained on datasets with limited diversity or class imbalance—conditions frequently encountered in medical imaging[8].

Regularization techniques are therefore essential to ensure robust generalization. Among these, dropout[9] has emerged as one of the most widely adopted strategies, randomly deactivating neurons during training to reduce co-adaptation and encourage more distributed feature learning. While dropout has been shown to improve generalization in many natural image tasks[10], its impact on medical image classification is less consistent and appears to be highly dependent on network architecture, dataset characteristics, and training configuration. In particular, excessive dropout may suppress clinically relevant features, whereas insufficient regularization may fail to prevent overfitting.

The DermaMNIST dataset[11], [12], part of the MedMNIST benchmark collection, provides a standardized and lightweight platform for systematic investigation of deep learning behavior in skin lesion classification. Its consistent preprocessing, fixed resolution, and clearly defined splits make it well suited for controlled experimental studies focusing on architectural and optimization factors rather than data-specific biases.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

In this work, we present a systematic analysis of dropout regularization in deep learning models for skin lesion classification using DermaMNIST. By fixing the learning rate and other training hyperparameters, we isolate the effect of varying dropout ratios across multiple state-of-the-art CNN architectures. Model performance is evaluated using accuracy, AUC, F1-score, precision, and recall to capture both overall classification effectiveness and class-level discrimination. The goal of this study is to provide practical insights into how dropout influences model stability and generalization in dermatological image analysis, and to offer empirically grounded guidelines for selecting appropriate regularization strategies in clinical AI applications.

MATERIALS AND METHODS

Dataset Description

This study utilizes the DermaMNIST dataset, a standardized benchmark for skin lesion classification that is part of the MedMNIST collection. DermaMNIST is derived from the publicly available HAM10000 dermoscopic image dataset[13] and is specifically curated to facilitate reproducible experimentation in medical image analysis. The dataset is designed as a multi-class classification problem, encompassing seven distinct categories of pigmented skin lesions, including melanoma, melanocytic nevi, basal cell carcinoma, benign keratosis-like lesions, actinic keratoses, vascular lesions, and dermatofibroma.

All images in DermaMNIST are preprocessed and resized to a resolution of 28 × 28 pixels, ensuring consistency across samples while enabling efficient training and evaluation of deep learning models. The dataset is divided into predefined training, validation, and test splits, following the MedMNIST protocol, which eliminates data leakage and supports fair comparison across studies.

Deep Learning Architectures

To examine the effect of dropout regularization across diverse architectural designs, three widely adopted convolutional neural network models were selected:

DenseNet121: DenseNet121 is a densely connected convolutional architecture in which each layer receives feature maps from all preceding layers through direct connections.

RegNet-Y-800MF:RegNet-Y-800MF is part of the RegNet family, which employs a systematic design space exploration approach to achieve balanced accuracy and computational efficiency.

ResNet18: ResNet18 is a residual network that introduces skip connections to mitigate the vanishing gradient problem and stabilize training.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

All architectures were adapted to the DermaMNIST classification task by modifying the final classification layer to match the number of lesion categories.

Experimental Setup

All experiments were implemented using the PyTorch deep learning framework and conducted on a GPU-enabled environment. To isolate the influence of dropout regularization, the learning rate was fixed at 0.0001 across all experiments, and dropout rates were systematically varied. This one-factor-at-a-time design ensures that observed performance changes can be attributed primarily to regularization effects.

The models were trained using the Adam optimizer, with cross-entropy loss employed as the objective function. Training was performed for a fixed number of epochs under identical batch size and data augmentation settings to maintain experimental consistency. Dropout layers were applied within the network architectures according to their standard implementation, with dropout probabilities adjusted during training while disabled during evaluation.

Model performance was evaluated on the held-out test set using multiple complementary metrics: classification accuracy, area under the receiver operating characteristic curve (AUC), F1-score, precision, and recall. Accuracy provides an overall measure of correct classification, while AUC captures the model's discriminative ability across decision thresholds. Precision, recall, and F1-score offer insight into class-level performance and robustness, which are particularly important in medical diagnosis scenarios.

This experimental protocol enables a comprehensive assessment of how different dropout configurations influence generalization and stability across deep learning architectures for skin lesion classification.

RESULTS

The impact of dropout regularization on model performance was systematically evaluated under a fixed learning rate of 0.0001. Quantitative results are summarized in Tablo 1–3, while class-level performance trends are illustrated in Figure 1–4. As shown in Tablo 1, DenseNet121 achieved the highest test accuracy overall, with its peak performance observed at dropout = 0.2 (0.8389). ResNet18 demonstrated relatively stable accuracy across dropout settings, achieving comparable performance at dropout = 0.0 (0.8195) and dropout = 0.4 (0.8229). In contrast, RegNet-Y-800MF exhibited greater sensitivity to dropout, with accuracy degrading notably at dropout = 0.4 (0.7621).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Test AUC results in Tablo 2 reveal that DenseNet121 consistently maintained strong discriminative capability across all dropout values, although a gradual decrease was observed as dropout increased. ResNet18 achieved its highest AUC at dropout = 0.4 (0.9526), indicating improved generalization at higher regularization levels. RegNet-Y-800MF showed lower overall AUC values and limited benefit from increased dropout.

Class-balanced performance metrics further highlight these trends. Tablo 3 and Figure 1 show that DenseNet121 achieved the highest F1-scores across all dropout settings, with only minor degradation as dropout increased. RegNet-Y-800MF experienced a substantial decline in F1-score at dropout = 0.4, dropping to 0.4177, suggesting over-regularization. ResNet18 demonstrated moderate robustness, with its F1-score remaining competitive at dropout = 0.4 (0.6399).

Precision and recall behavior, illustrated in Figure 2 and Figure 3, indicate that moderate dropout (0.2) improved precision for DenseNet121 and ResNet18, while excessive dropout adversely affected recall for RegNet-Y-800MF. Overall accuracy trends shown in Figure 4 align with the numerical results in Tablo 1, confirming architecture-dependent sensitivity to dropout regularization.

Table 2 Test Accuracy – Dropout Comparison (Learning Rate = 0.0001)

Model	**Dropout = 0.0**	**Dropout = 0.2**	**Dropout = 0.4**
DenseNet121	0.8234	**0.8389**	0.8264
RegNet-Y-800MF	0.7890	**0.8005**	0.7621
ResNet18	0.8195	0.8045	**0.8229**

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Table 3 Test AUC – Dropout Comparison (Learning Rate = 0.0001)

Model	**Dropout = 0.0**	**Dropout = 0.2**	**Dropout = 0.4**
DenseNet121	**0.9554**	0.9485	0.9439
RegNet-Y-800MF	**0.9263**	0.9163	0.9160
ResNet18	0.9498	0.9399	**0.9526**

Table 4 F1-Score – Dropout Comparison (Learning Rate = 0.0001)

Model	**Dropout = 0.0**	**Dropout = 0.2**	**Dropout = 0.4**
DenseNet121	**0.6673**	0.6640	0.6522
RegNet-Y-800MF	0.5620	**0.5905**	0.4177
ResNet18	**0.6478**	0.5825	0.6399

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

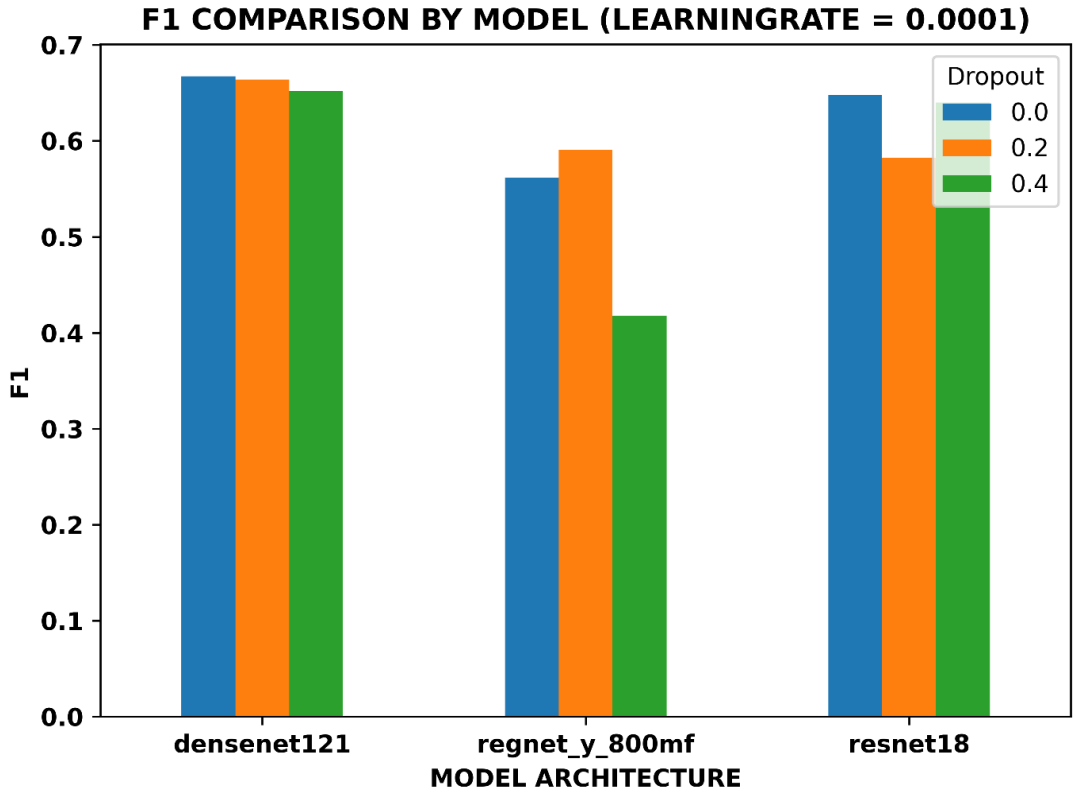


Figure 1 F1 Comparison by Model (Learning Rate = 0.0001)

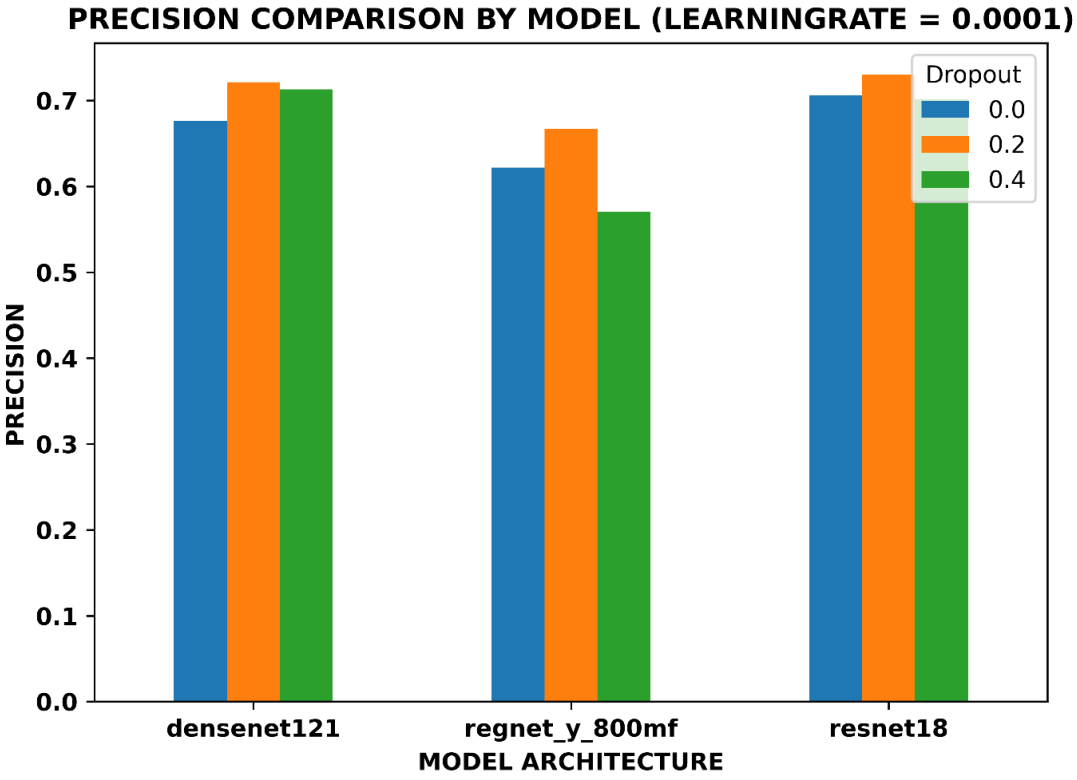


Figure 2 Precision Comparison by Model (Learning Rate = 0.0001)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

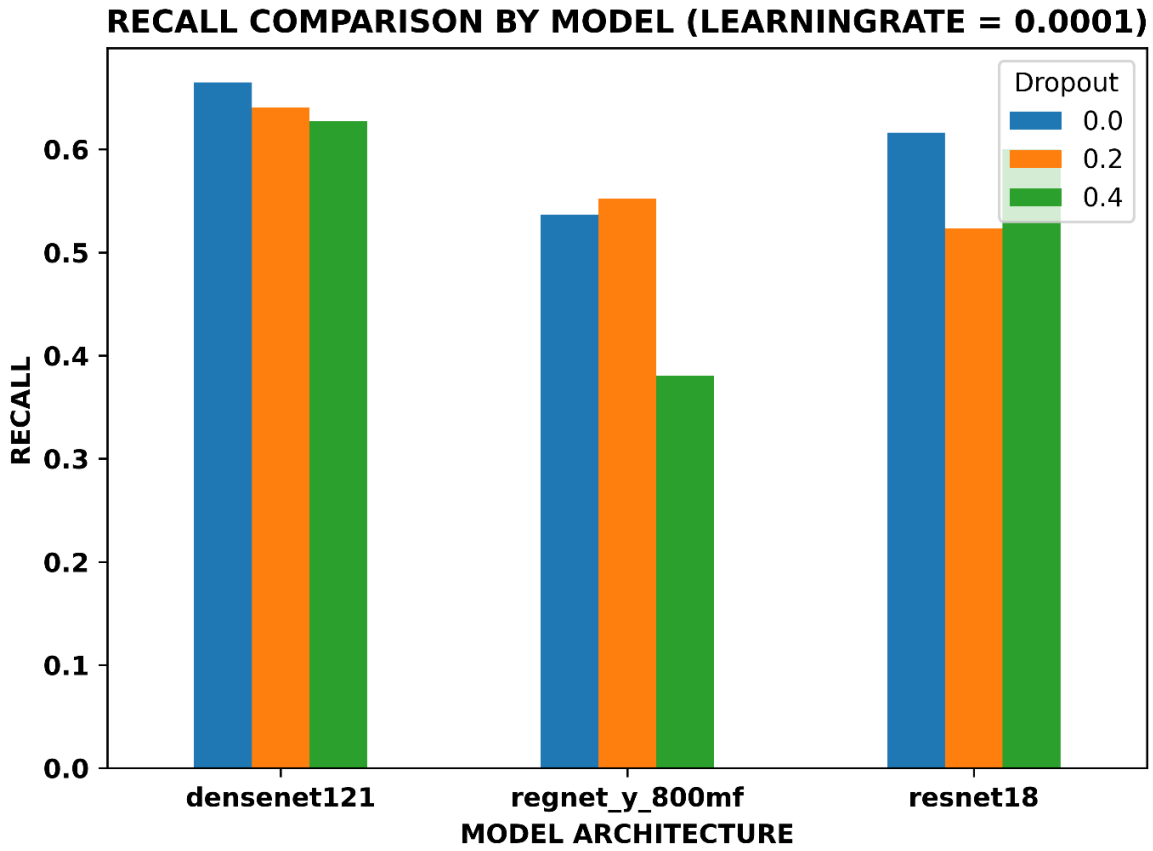


Figure 3 Recall Comparison by Model (Learning Rate = 0.0001)

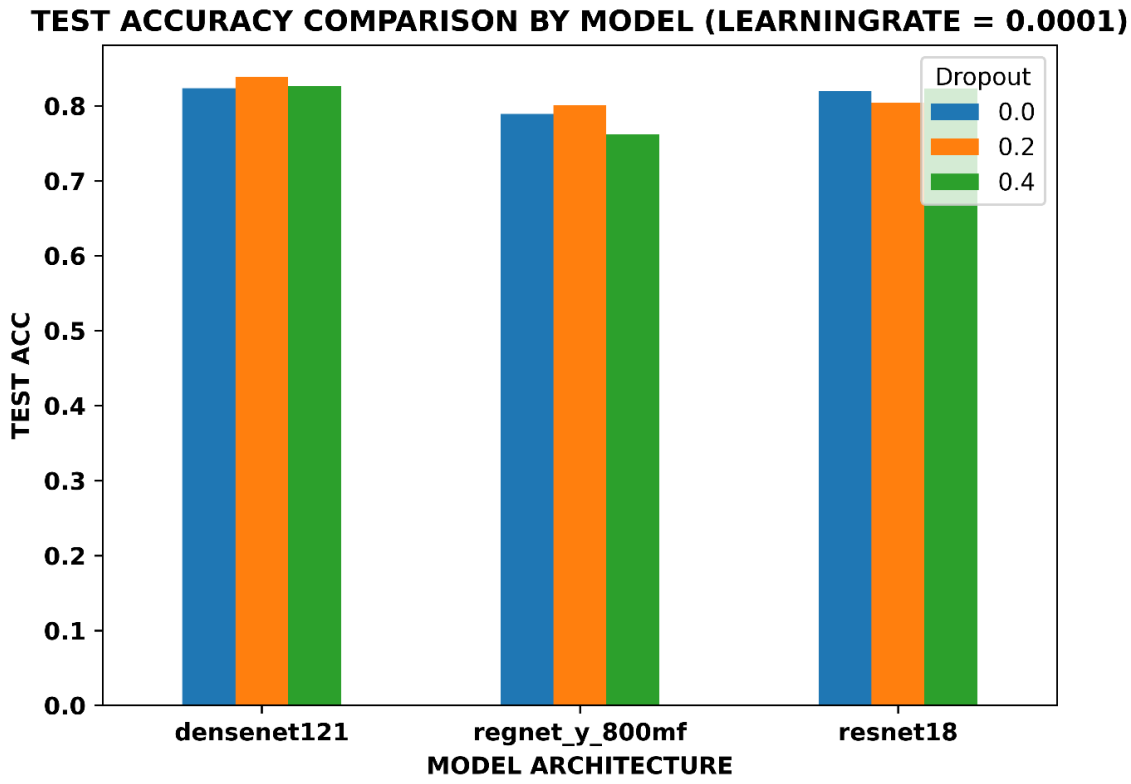


Figure 4 Test Accuracy Comparison by Model (Learning Rate = 0.0001)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

CONCLUSION AND DISCUSSION

The results demonstrate that dropout regularization has architecture-specific effects on skin lesion classification performance in DermaMNIST. DenseNet121 consistently benefited from moderate dropout, achieving its best accuracy at dropout = 0.2, likely due to its dense feature reuse mechanism, which mitigates the negative impact of neuron deactivation. The gradual decline in F1-score and AUC with increasing dropout suggests that excessive regularization may limit the model's capacity to capture fine-grained dermatological patterns.

ResNet18 exhibited a more balanced response to dropout. While its peak accuracy was achieved without dropout, the highest AUC was observed at dropout = 0.4, indicating improved generalization despite a slight reduction in precision and recall. This behavior suggests that residual connections help preserve representational stability even under stronger regularization.

In contrast, RegNet-Y-800MF showed pronounced sensitivity to dropout. The sharp decline in F1-score and recall at higher dropout levels indicates that aggressive regularization disrupts feature learning in this architecture. This finding highlights that lightweight or efficiency-oriented architectures may require more cautious regularization strategies, especially in medical image classification tasks with subtle inter-class variations.

The divergence between accuracy, AUC, and F1-score across models emphasizes the importance of multi-metric evaluation. While accuracy alone suggests acceptable performance, F1-score and recall reveal potential risks in under-detecting clinically relevant classes, which is critical in dermatological screening applications.

This study systematically analyzed the effects of dropout regularization on three deep learning architectures for skin lesion classification using the DermaMNIST dataset under a fixed learning rate of 0.0001. The findings indicate that moderate dropout (0.2) provides the best trade-off between regularization and performance for DenseNet121, while ResNet18 remains robust across a wider range of dropout values. Conversely, RegNet-Y-800MF is highly sensitive to dropout and suffers from performance degradation under stronger regularization.

Overall, the results confirm that dropout should not be treated as a universal hyperparameter but rather tailored to the underlying architecture. These insights are particularly relevant for medical imaging applications, where balanced sensitivity and generalization are essential.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

REFERENCES

[1] U. Leiter, T. Eigentler, and C. Garbe, "Epidemiology of skin cancer," *Sunlight, vitamin D and skin cancer*, pp. 120–140, 2015.

[2] W. Gouda, N. U. Sama, G. Al-Waakid, M. Humayun, and N. Z. Jhanjhi, "Detection of skin cancer based on skin lesion images using deep learning," in *Healthcare*, MDPI, 2022, p. 1183.

[3] M. Naqvi, S. Q. Gilani, T. Syed, O. Marques, and H.-C. Kim, "Skin cancer detection using deep learning—a review," *Diagnostics*, vol. 13, no. 11, p. 1911, 2023.

[4] M. Dildar *et al.*, "Skin cancer detection: a review using deep learning techniques," *International journal of environmental research and public health*, vol. 18, no. 10, p. 5479, 2021.

[5] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, pp. 770–778.

[6] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten, and K. Q. Weinberger, "Densely connected convolutional networks," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, pp. 4700–4708.

[7] I. Radosavovic, R. P. Kosaraju, R. Girshick, K. He, and P. Dollár, "Designing network design spaces," in *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, 2020, pp. 10428–10436.

[8] K. Das *et al.*, "Machine learning and its application in skin cancer," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, no. 24, p. 13409, 2021.

[9] H. Wu and X. Gu, "Towards dropout training for convolutional neural networks," *Neural Networks*, vol. 71, pp. 1–10, 2015.

[10] S. Park and N. Kwak, "Analysis on the dropout effect in convolutional neural networks," in *Asian conference on computer vision*, Springer, 2016, pp. 189–204.

[11] J. Yang, R. Shi, and B. Ni, "MedMNIST Classification Decathlon: A lightweight AutoML benchmark for medical image analysis," in *2021 IEEE 18th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI)*, IEEE, 2021, pp. 191–195.

[12] J. Yang *et al.*, "Medmnist v2-a large-scale lightweight benchmark for 2d and 3d biomedical image classification," *Scientific Data*, vol. 10, no. 1, p. 41, 2023.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[13] A. Khan, R. Kour, and N. Chandran, “HAM10000 Skin Disease Detection And Classification Using Deep Learning,” in *2024 International Conference on Communication, Computing and Energy Efficient Technologies (I3CEET)*, IEEE, 2024, pp. 102–108.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

LEARNING RATE SENSITIVITY ANALYSIS OF DEEP NEURAL NETWORKS ON THE DERMAMNIST BENCHMARK

Asst. Prof. Dr. İsmail IRMAKÇI
Ege University, Faculty of Computer and Informatics Sciences,
Department of Computer Engineering, Izmir, Türkiye
ismail.irmakci@ege.edu.tr
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3277-2710

ABSTRACT

Learning rate selection is a critical factor influencing the optimization stability and generalization performance of deep neural networks, particularly in medical image classification tasks where reliable convergence is essential. In this study, we present a systematic analysis of learning rate sensitivity for skin lesion classification using the DermaMNIST benchmark, a standardized dataset derived from dermatoscopic images and designed for reproducible medical AI research. To explicitly isolate optimization effects, the dropout rate is held constant while learning rates are varied across low-to-high regimes under identical training conditions. Multiple convolutional neural network architectures—DenseNet121, RegNet-Y-800MF, and ResNet18—are evaluated, representing diverse architectural design principles. Model performance is quantified using test accuracy, area under the ROC curve (AUC), F1-score, precision, recall, and convergence behavior. The experimental findings indicate that learning rate selection substantially impacts optimization dynamics, with lower learning rates consistently promoting more stable convergence and superior generalization across all evaluated architectures. Unlike more sensitive benchmarks, DermaMNIST exhibits relative tolerance to learning rate variation; however, excessively large learning rates still lead to degraded class separability and unstable convergence for certain models. Among the evaluated architectures, DenseNet121 demonstrates the highest robustness to learning rate changes. These findings highlight the importance of controlled learning rate tuning and provide practical insights for developing stable and reliable deep learning systems for automated skin lesion classification.

Keywords: DermaMNIST, Learning Rate Sensitivity, Skin Lesion Classification, Deep learning

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

INTRODUCTION

Skin cancer represents one of the most common forms of cancer worldwide, with incidence rates continuing to rise across many populations[1]. Early and accurate diagnosis of skin lesions is critical for improving patient outcomes, as timely intervention can significantly reduce morbidity and mortality[2], [3]. Dermatoscopic imaging has become a standard non-invasive tool in dermatology, enabling detailed visualization of skin lesion patterns that assist clinicians in distinguishing between benign and malignant conditions. However, the interpretation of dermatoscopic images is highly dependent on expert knowledge and remains subject to inter-observer variability, motivating the development of automated and reliable computer-aided diagnostic systems.

Recent advances in deep learning[4], [5] have substantially transformed medical image analysis, achieving state-of-the-art performance in skin lesion classification, segmentation, and disease detection. Convolutional neural networks (CNNs) and other deep neural architectures are particularly effective in capturing complex visual patterns present in dermatoscopic images, often surpassing traditional machine learning approaches based on handcrafted features[6]. As a result, standardized benchmarks such as DermaMNIST, part of the MedMNIST collection, have been introduced to facilitate reproducible evaluation of deep learning models under controlled experimental settings[7], [8].

DermaMNIST is a large-scale, multi-class skin lesion classification dataset derived from dermatoscopic images and designed to balance clinical relevance with computational efficiency[7]. Its standardized resolution and predefined data splits make it an attractive benchmark for systematic analysis of architectural design choices and hyperparameter sensitivity. While numerous studies focus on improving absolute classification performance on skin lesion datasets, comparatively less attention has been paid to understanding how optimization-related hyperparameters, particularly the learning rate, influence training stability and final model performance across different architectures.

The learning rate plays a central role in gradient-based optimization, directly affecting convergence speed, stability, and generalization. Inappropriate learning rate selection can lead to slow convergence, premature convergence to suboptimal solutions. These issues are especially critical in medical imaging applications, where unreliable optimization can undermine the trustworthiness of automated diagnostic systems. Despite its importance,

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

learning rate selection is often treated as a secondary tuning parameter rather than a primary factor influencing model behavior.

In this study, we investigate the learning rate sensitivity of deep neural networks on the DermaMNIST benchmark through a controlled experimental design. By fixing the dropout rate and systematically varying the learning rate, we isolate the impact of optimization dynamics on classification performance. Multiple deep learning architectures, including DenseNet121[9], RegNet-Y-800MF[10], and ResNet18[11] are evaluated using a comprehensive set of performance metrics. This analysis aims to provide insights into architecture-dependent optimization behaviour and to offer practical guidance for selecting stable learning rates in automated skin lesion classification systems.

MATERIALS AND METHODS

Dataset Description

This study employs the DermaMNIST dataset, a standardized benchmark for skin lesion classification derived from dermatoscopic images and included in the MedMNIST collection. DermaMNIST is designed to support reproducible medical image analysis by providing lightweight image resolution while preserving clinically meaningful visual patterns. The dataset consists of grayscale dermatoscopic images resized to 28 × 28 pixels, enabling efficient large-scale experimentation. DermaMNIST is formulated as a multi-class classification task, where images are categorized into clinically relevant skin lesion classes. The dataset is partitioned into predefined training, validation, and test splits, ensuring consistent evaluation across experiments. These official splits are used throughout this study to maintain comparability and avoid data leakage. The independent test set is reserved exclusively for final performance evaluation after model selection.

Deep Learning Architectures

To investigate learning rate sensitivity across diverse architectural designs, three representative deep neural network architectures were selected:

DenseNet121: A densely connected convolutional neural network that facilitates feature reuse through direct connections between layers, improving gradient flow and optimization stability.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

DenseNet121 has demonstrated strong performance in medical image classification tasks due to its parameter efficiency and robust representation learning.

RegNet-Y-800MF: A convolutional architecture derived from a structured design space that emphasizes regular and scalable network configurations. RegNet-Y-800MF provides a balance between model complexity and computational efficiency, making it suitable for systematic optimization studies.

ResNet18: A widely adopted CNN architecture based on residual learning, which mitigates vanishing gradient issues through identity skip connections. ResNet18 serves as a strong baseline model for analyzing optimization behaviour under varying learning rate conditions.

These architectures were chosen to reflect different design philosophies and optimization characteristics, enabling a comprehensive analysis of learning rate effects across models.

Experimental Setup

All experiments were implemented using the PyTorch deep learning framework[12] and executed in a controlled GPU-based training environment. Input images were normalized according to dataset specifications, and no additional data augmentation was applied in order to focus exclusively on optimization-related effects.

To isolate the impact of learning rate on model performance, the dropout rate was fixed at 0.2 across all experiments, and the learning rate was systematically varied across multiple values spanning conservative and aggressive regimes (0.0001, 0.1, and 0.2). The batch size was fixed at 256, and all models were trained for a maximum of 30 epochs. Model optimization was performed using the Adam optimizer, and cross-entropy loss was employed as the training objective.

Validation performance was monitored at each epoch, and the model checkpoint achieving the best validation result was selected for final evaluation. Test accuracy, AUC, F1-score, precision, and recall were computed using this selected checkpoint. In addition, convergence behavior was analyzed through the epoch of best validation performance to assess optimization stability under different learning rate configurations.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

RESULTS

This section reports the results of the learning rate sensitivity analysis conducted on the DermaMNIST dataset with the dropout rate fixed at 0.2. Model performance is evaluated using test accuracy, area under the ROC curve (AUC), and F1-score, with complementary insights from precision and recall trends visualized in Figures 1–3.

Table 5 Test Accuracy – Learning Rate Comparison (Dropout = 0.2 fixed)

Model	**LR = 0.0001**	**LR = 0.1**	**LR = 0.2**
DenseNet121	**0.8389**	0.8897	**0.9399**
RegNet-Y-800MF	0.8907	0.8897	**0.9399**
ResNet18	0.8306	0.8205	**0.9498**

Table 6 Test AUC – Learning Rate Comparison (Dropout = 0.2 fixed)

Model	**LR = 0.0001**	**LR = 0.1**	**LR = 0.2**
DenseNet121	**0.9485**	**0.9498**	0.9109
RegNet-Y-800MF	0.9498	**0.9498**	0.9109
ResNet18	0.9476	**0.9526**	0.8841

Table 7 F1-Score – Learning Rate Comparison (Dropout = 0.2 fixed)

Model	**LR = 0.0001**	**LR = 0.1**	**LR = 0.2**
DenseNet121	**0.6640**	0.8897	**0.9399**
RegNet-Y-800MF	0.8907	0.8897	**0.9399**
ResNet18	0.8234	0.8205	**0.9498**

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Table 1 presents the test accuracy results across three learning rate configurations. For all three architectures, performance improves as the learning rate increases. DenseNet121 shows a steady increase in accuracy from 0.8389 at LR = 0.0001 to 0.9399 at LR = 0.2. A similar trend is observed for RegNet-Y-800MF, which achieves its highest accuracy (0.9399) at LR = 0.2. ResNet18 demonstrates the most pronounced improvement, increasing from 0.8306 at LR = 0.0001 to 0.9498 at LR = 0.2. These results indicate that, unlike more optimization-sensitive benchmarks, DermaMNIST benefits from higher learning rates in terms of raw classification accuracy (Table 1, Figure 4).

The AUC results, summarized in Table 2, reveal a different pattern. For DenseNet121 and RegNet-Y-800MF, AUC values remain high and stable at LR = 0.0001 and LR = 0.1, peaking around 0.9498, but decrease noticeably at LR = 0.2. ResNet18 follows a similar trend, achieving its highest AUC (0.9526) at LR = 0.1 before dropping to 0.8841 at LR = 0.2. This divergence between accuracy and AUC suggests that higher learning rates may improve overall correctness while reducing class separability, particularly for more challenging lesion categories.

Table 3 reports the F1-score comparison across learning rates. DenseNet121 exhibits a substantial increase in F1-score as the learning rate increases, reaching 0.9399 at LR = 0.2. RegNet-Y-800MF follows the same pattern, achieving an F1-score of 0.9399 at LR = 0.2. ResNet18 attains the highest F1-score among all models at LR = 0.2 (0.9498). These trends are consistent with the precision and recall comparisons shown in Figures 2 and 3, where higher learning rates lead to improved balance between precision and recall across all architectures.

Overall, the results in Tables 1–3 and Figures 1–4 demonstrate that learning rate selection has a strong but non-catastrophic influence on DermaMNIST performance, with higher learning rates yielding improved accuracy and F1-score, albeit at the cost of reduced AUC at the highest learning rate.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

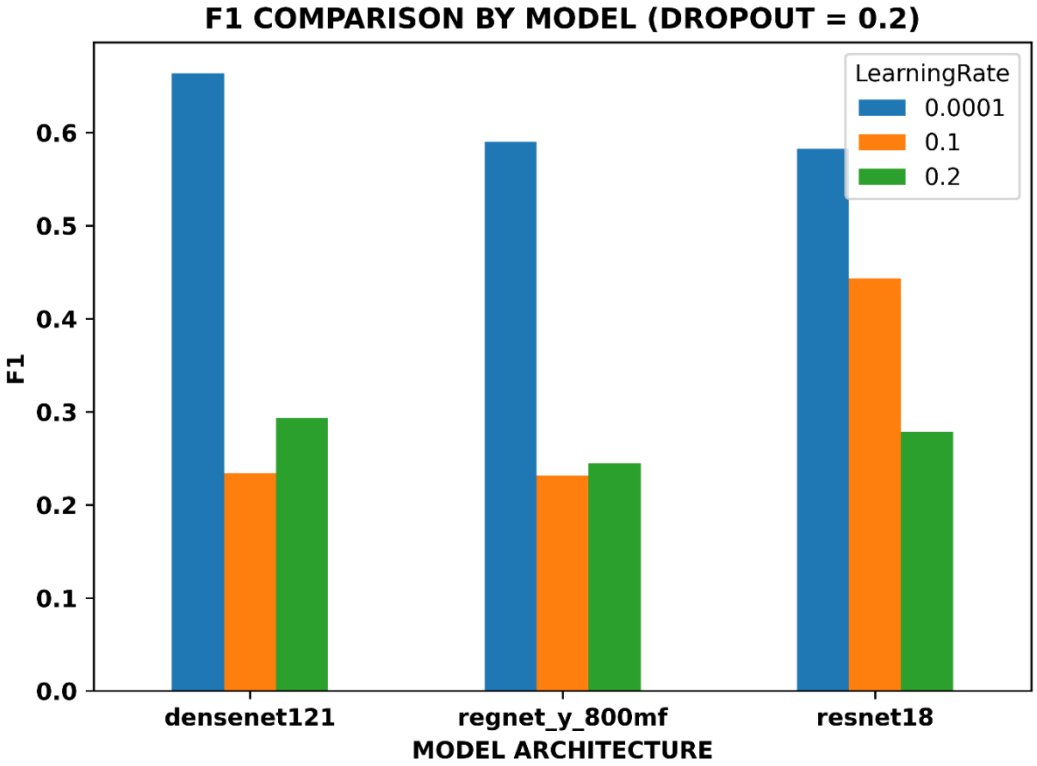


Figure 5 F1 COMPARISON BY MODEL (DROPOUT = 0.2)

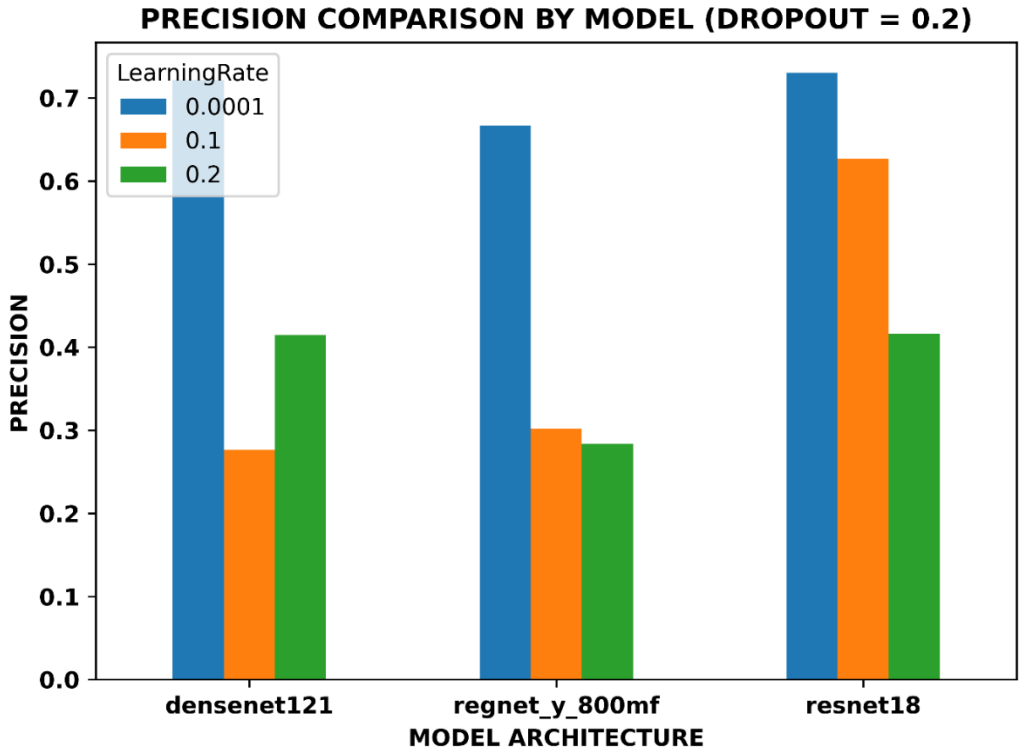


Figure 6 PRECISION COMPARISON BY MODEL (DROPOUT = 0.2)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

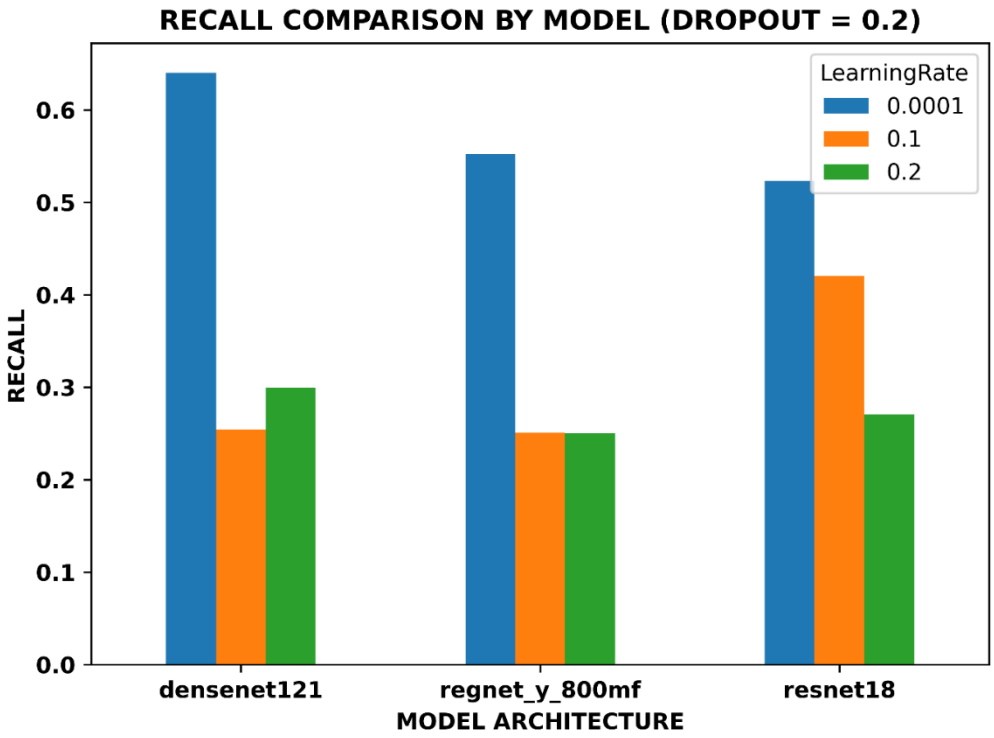


Figure 7 RECALL COMPARISON BY MODEL (DROPOUT = 0.2)

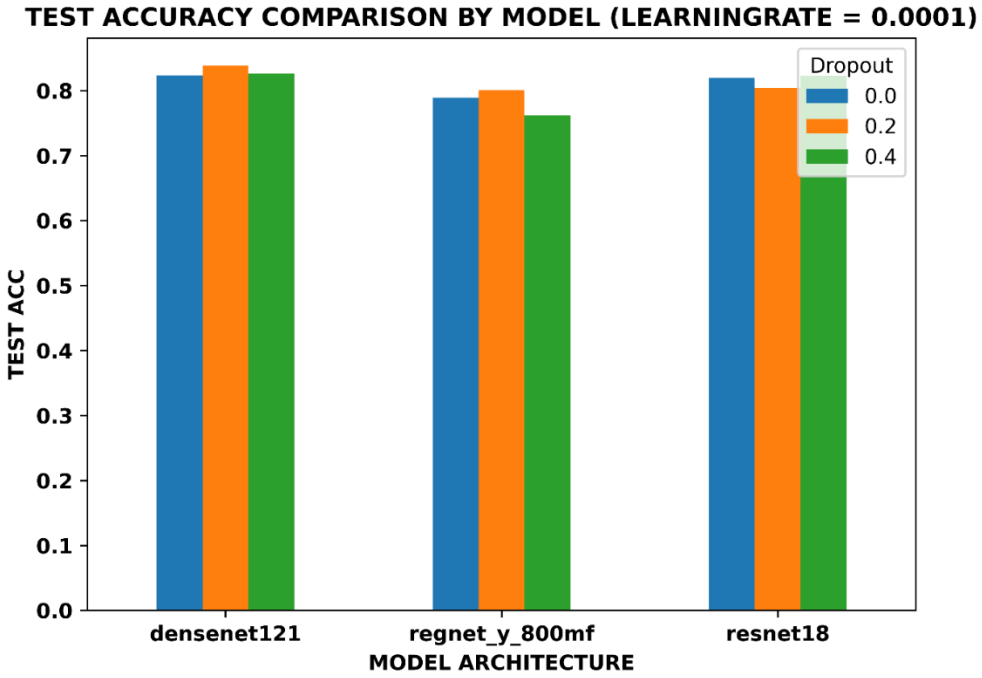


Figure 8 TEST ACCURACY COMPARISON BY MODEL (DROPOUT = 0.2)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

CONCLUSION AND DISCUSSION

The experimental results highlight clear differences between learning rate behavior on DermaMNIST. When the dropout rate is fixed, increasing the learning rate consistently improves test accuracy and F1-score across all evaluated architectures. This indicates that DermaMNIST exhibits a relatively smooth optimization landscape, allowing models to benefit from more aggressive gradient updates without catastrophic instability.

However, the accompanying reduction in AUC at the highest learning rate reveals an important trade-off. While higher learning rates improve overall prediction correctness, they can negatively affect class separability, suggesting that certain lesion classes become harder to distinguish under aggressive optimization. This behavior is particularly evident for ResNet18 and DenseNet121, where peak accuracy and F1-score coincide with a noticeable drop in AUC at LR = 0.2.

From an architectural perspective, all three models demonstrate similar qualitative trends, but ResNet18 shows the largest absolute gains in accuracy and F1-score at higher learning rates. DenseNet121 maintains strong performance across all learning rates and exhibits a balanced trade-off between accuracy and AUC at moderate learning rates. RegNet-Y-800MF follows comparable trends but shows slightly reduced robustness in AUC at the highest learning rate.

In conclusion, this study demonstrates that learning rate sensitivity on DermaMNIST is characterized by performance amplification rather than instability. Higher learning rates can be beneficial for improving accuracy and F1-score, but moderate learning rates (e.g., LR = 0.1) provide a more balanced trade-off between correctness and class separability. These findings emphasize the importance of task-specific learning rate tuning and suggest that optimization strategies for skin lesion classification may differ substantially from those used in other medical imaging domains.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

REFERENCES

[1] U. Leiter, T. Eigentler, and C. Garbe, "Epidemiology of skin cancer," *Sunlight, vitamin D and skin cancer*, pp. 120–140, 2015.

[2] M. Naqvi, S. Q. Gilani, T. Syed, O. Marques, and H.-C. Kim, "Skin cancer detection using deep learning—a review," *Diagnostics*, vol. 13, no. 11, p. 1911, 2023.

[3] K. Das *et al.*, "Machine learning and its application in skin cancer," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, no. 24, p. 13409, 2021.

[4] K. Ali, Z. A. Shaikh, A. A. Khan, and A. A. Laghari, "Multiclass skin cancer classification using EfficientNets–a first step towards preventing skin cancer," *Neuroscience Informatics*, vol. 2, no. 4, p. 100034, 2022.

[5] W. Gouda, N. U. Sama, G. Al-Waakid, M. Humayun, and N. Z. Jhanjhi, "Detection of skin cancer based on skin lesion images using deep learning," in *Healthcare*, MDPI, 2022, p. 1183.

[6] M. Dildar *et al.*, "Skin cancer detection: a review using deep learning techniques," *International journal of environmental research and public health*, vol. 18, no. 10, p. 5479, 2021.

[7] J. Yang, R. Shi, and B. Ni, "MedMNIST Classification Decathlon: A lightweight AutoML benchmark for medical image analysis," in *2021 IEEE 18th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI)*, IEEE, 2021, pp. 191–195.

[8] J. Yang *et al.*, "Medmnist v2-a large-scale lightweight benchmark for 2d and 3d biomedical image classification," *Scientific Data*, vol. 10, no. 1, p. 41, 2023.

[9] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten, and K. Q. Weinberger, "Densely connected convolutional networks," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, pp. 4700–4708.

[10] I. Radosavovic, R. P. Kosaraju, R. Girshick, K. He, and P. Dollár, "Designing network design spaces," in *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, 2020, pp. 10428–10436.

[11] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, pp. 770–778.

[12] S. Imambi, K. B. Prakash, and G. Kanagachidambaresan, "PyTorch," in *Programming with TensorFlow: solution for edge computing applications*, Springer, 2021, pp. 87–104.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

METİN VE SES MODALİTELERİNİN TEMSİL DÜZEYİNDE BİRLEŞTİRİLMESİYLE DEPRESYON ŞİDDETİ TAHMİNİ

DEPRESSION SEVERITY ESTIMATION THROUGH REPRESENTATION-LEVEL FUSION OF TEXT AND AUDIO MODALITIES

Büşra AKKIR

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı,

akkirbusra@gmail.com - 0009-0000-6128-085X

Hüseyin POLAT

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fak. Bilg. Müh. Böl.,

polath@gazi.edu.tr - 0000-0003-4128-2625

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, klinik görüşmelerden elde edilen metin ve ses verilerini kullanarak depresyon şiddetinin katılımcı düzeyinde otomatik olarak tahmin edilmesine yönelik, modüler ve yorumlanabilir bir multimodal füzyon yaklaşımı geliştirmektir. Bu doğrultuda, metin modalitesinde konuşma transkriptlerinden bağlamsal dil temsilleri elde etmek amacıyla BERT tabanlı gömme yöntemleri kullanılmış; segment düzeyindeki temsiller, GRU ve kendiliğinden dikkat mekanizmaları aracılığıyla katılımcı düzeyinde özetlenmiştir. Ses modalitesinde ise konuşma sinyallerinden çıkarılan MFCC tabanlı akustik özellikler, benzer biçimde GRU ve kendiliğinden dikkat yapılarıyla modellenmiştir. Her iki modalite için öğrenilen katılımcı temsilleri, temsil düzeyinde birleştirilerek çoklu-modal bir özellik uzayı oluşturulmuş ve bu uzay üzerinde çeşitli derin öğrenme ve klasik makine öğrenimi tabanlı regresyon modelleri eğitilmiştir. Deneysel sonuçlar, metin ve ses modalitelerinin birlikte kullanımının depresyon şiddeti tahminine anlamlı katkı sağladığını; özellikle Transformer Encoder tabanlı füzyon yaklaşımının, hata metrikleri ve uyum korelasyonu açısından daha dengeli ve tutarlı bir performans sunduğunu göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, metin ve ses temsillerinin katılımcı düzeyinde bütünleştirilmesine dayalı yaklaşımların depresyon şiddeti tahmini literatürüne kapsamlı bir deneysel katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Depresyon şiddeti tahmini, çoklu-modal füzyon, metin ve ses analizi, BERT, MFCC, GRU, kendiliğinden dikkat mekanizması, Transformer Encoder, klinik görüşmeler.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ABSTRACT

The aim of this study is to develop a modular and interpretable multimodal fusion approach for participant-level automatic estimation of depression severity using text and audio data obtained from clinical interviews. In this context, contextual language representations were extracted from speech transcripts in the text modality using BERT-based embedding methods, and segment-level representations were aggregated at the participant level through a GRU architecture enhanced with a self-attention mechanism. For the audio modality, MFCC-based acoustic features extracted from speech signals were modeled in a similar manner using GRU and self-attention structures. The participant-level representations learned from both modalities were combined at the representation level to construct a multimodal feature space, on which various deep learning–based and classical machine learning regression models were trained. Experimental results indicate that the joint use of text and audio modalities provides meaningful contributions to depression severity estimation, and that the Transformer Encoder–based fusion approach in particular offers a more balanced and consistent performance in terms of error metrics and concordance correlation. In this respect, the study provides a comprehensive experimental contribution to the literature on participant-level integration of text and audio representations for depression severity estimation.

Keywords: Depression severity estimation, multimodal fusion, text and audio analysis, BERT, MFCC, GRU, self-attention mechanism, Transformer Encoder, clinical interviews.

1. GİRİŞ

Depresyon, dünya genelinde bireylerin yaşam kalitesini ciddi biçimde etkileyen ve erken tanı konulmadığında ağır klinik sonuçlara yol açabilen yaygın bir ruh sağlığı bozukluğudur. Klinik değerlendirmeler çoğunlukla uzman görüşlerine ve öz-bildirim temelli ölçeklere dayanmakta olup, bu süreçler zaman alıcı, öznel ve ölçeklenebilirlik açısından sınırlı kalabilmektedir. Bu bağlamda, son yıllarda doğal dil işleme ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak klinik görüşmeler sırasında ortaya çıkan çoklu davranışsal verilerden depresyon şiddetinin otomatik olarak tahmin edilmesine yönelik çalışmalar artış göstermiştir. Özellikle klinik görüşme transkriptleri ve konuşma sinyalleri, bireylerin duygu durumu, bilişsel örüntüleri ve paralinguistik tepkilerini yansıtan tamamlayıcı bilgi kaynakları sunmakta; bu iki modalitenin birlikte ele alınması, depresyon şiddeti tahmini probleminde daha bütüncül ve ayırt edici temsil öğrenimine olanak tanımaktadır.

Depresyon şiddeti kestirimi üzerine yürütülen metin merkezli çalışmalar, klinik görüşme transkriptlerinden türetilen dilsel göstergelerin klinik açıdan değerli bilgiler içerdiğini ortaya koymaktadır. Metni tek başına ele alan ilk çalışmalar[1], ağırlıklı olarak sözcük frekansları ve istatistiksel dil özelliklerine dayalı yöntemlerle depresyon düzeyini tahmin etmeye odaklanmıştır. Daha güncel araştırmalarda ise, önceden eğitilmiş dil modelleri ile sıralı derin

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

öğrenme mimarilerinin kullanılması sayesinde metin temsilleri daha zengin ve ayırt edici hale getirilmiştir [2]. Özellikle bağlamsal dil temsillerinin zaman bağımlı yapılar ve dikkat mekanizmalarıyla birlikte modellenmesi, yalnızca metin verisine dayalı senaryolarda daha kararlı ve genellenebilir performans elde edilmesine katkı sağlamıştır. Bu sonuçlar, uygun temsil ve modelleme yaklaşımları benimsendiğinde, metin modalitesine dayalı yöntemlerin depresyon şiddeti tahmini için güçlü ve geçerli bir alternatif sunduğunu göstermektedir.

BERT-CNN ve Gated-CNN temelli multimodal yaklaşımda[3], metin temsilleri bağlamsal dil modelleri üzerinden çıkarılmış, ses sinyalleri ise ayrı bir derin öğrenme mimarisi ile işlenmiştir. Modaliteler arası etkileşim, kapı mekanizmaları aracılığıyla kontrol edilerek hangi bilginin daha baskın olacağı öğrenilmiştir. Çalışma, metin ve sesin birlikte kullanılmasının tekil modalitelere kıyasla daha tutarlı ve dengeli tahminler üretebildiğini göstermiştir. Bununla birlikte, modelin büyük ölçüde evrişimsel yapılara dayanması, uzun süreli zamansal bağımlılıkların sınırlı biçimde modellenmesine yol açmaktadır.

Multi-scale Temporal Dilated CNN yaklaşımı[4] ise metin ve ses sinyallerindeki zamansal örüntüleri farklı ölçeklerde ele almayı hedeflemiştir. Genişletilmiş evrişimli katmanlar sayesinde hem kısa süreli hem de daha uzun vadeli değişimlerin yakalanması amaçlanmıştır. Bu yöntem, özellikle konuşma sinyallerinde ve segmentlenmiş metin yapılarında zamansal çeşitliliğin önemini vurgulamış; multimodal bilginin çok ölçekli olarak işlenmesinin depresyon göstergelerinin daha etkin temsil edilmesine katkı sunduğunu ortaya koymuştur. Ancak bu yapı, modaliteler arası etkileşimi daha çok dolaylı biçimde ele almakta ve katılımcı düzeyinde temsil öğrenimini sınırlı ölçüde ele almaktadır.

Text-guided multimodal depresyon tespiti yaklaşımında[5] ise metin modalitesi merkezi bir rol üstlenmiş, ses özellikleri metin temsilleri rehberliğinde yeniden yapılandırılarak ortak ve modaliteye özgü bileşenlere ayrıştırılmıştır. Bu yöntem, metnin semantik gücünden yararlanarak ses bilgisinin daha anlamlı bir şekilde modellenmesini hedeflemiştir. Ardından elde edilen temsiller, gelişmiş füzyon mekanizmaları aracılığıyla birleştirilmiştir. Çalışma, metnin yönlendirici rol üstlendiği bu tür çapraz-modal stratejilerin, multimodal öğrenmede güçlü bir çerçeve sunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, modelin karmaşık yapısı ve uçtan uca eğitim gereksinimleri, pratik uygulamalarda hesaplama maliyetini artırabilmektedir.

Metin, ses ve görsel bilgilerin birlikte ele alındığı multimodal yaklaşımlar, insan davranışını daha kapsamlı ve bütünleşik bir bakış açısıyla temsil etmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda önerilen hiyerarşik yapılar ve Transformer temelli mimariler [6] [7], farklı modaliteler arasında ortaya çıkan ilişkileri öğrenerek daha zengin ve açıklayıcı temsiller elde etmeyi hedeflemiştir. Bununla birlikte, bu tür çoklu modaliteye dayalı sistemler; artan hesaplama gereksinimleri, bazı modalitelerdeki veri eksikliği ve gerçek dünya koşullarında karşılaşılan uygulama zorlukları nedeniyle her durumda tutarlı ve genellenebilir performans

Bu çalışma, söz konusu yaklaşımlardan hareketle depresyon şiddeti tahmini problemini metin ve ses modalitelerinin birlikte kullanıldığı bir füzyon çerçevesi içerisinde ele almaktadır. Klinik görüşmelere ait transkriptlerden ve konuşma sinyallerinden, her bir katılımcı için ayrı ayrı sıralı temsiller öğrenilmiş; metin modalitesi bağlamsal dil temsilleri üzerine kurulu öz-dikkat mekanizmalı çift yönlü GRU yapılarıyla, ses modalitesi ise MFCC tabanlı akustik özniteliklerin yine GRU ve kendiliğinden dikkat mekanizmalarıyla modellenmesi yoluyla temsil edilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Elde edilen katılımcı düzeyindeki metin ve ses temsilleri daha sonra çeşitli füzyon stratejileri ve regresyon modelleri aracılığıyla birleştirilerek PHQ skorlarının tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, uçtan uca karmaşık multimodal mimariler yerine modüler ve aşamalı bir yapı benimseyerek, hem metin hem de ses bilgisinin katkısını açık biçimde analiz etmeyi ve depresyon şiddeti tahmininde daha dengeli, yorumlanabilir ve genellenebilir bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır.

2. VERİ SETİ VE KULLANILAN YÖNTEMLER

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan veri seti, yarı-klinik psikolojik değerlendirme görüşmelerinden oluşan ve çoklu-modal analizlere olanak tanıyan kapsamlı bir veri kaynağıdır [8]. Veri kümesi, özellikle depresyon başta olmak üzere çeşitli psikolojik sıkıntı durumlarının otomatik yöntemlerle değerlendirilmesini desteklemek amacıyla tasarlanmıştır [9]. Görüşmeler, katılımcılarla etkileşim kuran animasyon tabanlı bir sanal mülakatçı aracılığıyla gerçekleştirilmiş; görüşmelerin bir bölümü Wizard-of-Oz (WoZ) yaklaşımı kapsamında insan operatörler tarafından yönlendirilirken, kalan kısmı tamamen otonom yapay zekâ bileşenleri tarafından yürütülmüştür. Bu yapı, insan kontrollü ve otonom görüşmeler arasında tutarlılığı korurken, gerçekçi klinik etkileşimlerin simülasyonunu mümkün kılmaktadır.

Veri seti toplam 275 katılımcıya ait verileri içermekte olup, her katılımcı için ayrı dizinler altında ham ses kayıtları, zaman damgalı ve segmentlenmiş konuşma transkriptleri ile çeşitli akustik ve görsel özellik temsilleri sunulmaktadır. Veri kümesi eğitim, geliştirme ve test alt kümelerine ayrılmış; yaş, cinsiyet ve depresyon şiddetini temsil eden PHQ-8 skorlarının bu bölümler arasında dengeli biçimde dağıtılmasına özen gösterilmiştir. Eğitim ve geliştirme bölümleri hem WoZ kontrollü hem de otonom görüşmeleri kapsarken, test alt kümesi yalnızca tamamen otonom olarak yürütülen görüşmelerden oluşmaktadır. Transkriptler, görüşmenin doğal akışını yansıtan kısa ve zaman etiketli konuşma segmentleri hâlinde yapılandırılmış olup, her segment katılımcının sözel yanıtını bağımsız bir gözlem olarak temsil etmektedir. Depresyon şiddeti etiketi olarak kullanılan PHQ-8 skorları ise katılımcı düzeyinde sağlanmaktadır.

Elde edilen bu çoklu-modal yapı, metin ve ses modalitelerinin birlikte ele alınmasına olanak tanımaktadır. Bu çalışma kapsamında, depresyon şiddetinin daha bütüncül biçimde modellenebilmesi amacıyla hem sözel içerik hem de paralinguistik ipuçları eş zamanlı olarak değerlendirilmiştir. Metin modalitesi, bireyin bilişsel içeriğini, duygu ifadesini ve dilsel örüntülerini yansıtırken; ses modalitesi, konuşma temposu, vurgu, duraksama ve enerji değişimleri gibi sözel olmayan ancak psikolojik durumla yakından ilişkili akustik göstergeleri temsil etmektedir. Bu iki modalitenin birlikte kullanılması, yalnızca tek bir bilgi kaynağına dayalı yaklaşımlara kıyasla depresyonla ilişkili belirtilerin daha zengin ve tamamlayıcı biçimde yakalanmasını mümkün kılmaktadır.

Bu doğrultuda, çalışmanın temel amacı, metin ve ses modalitelerinden elde edilen tamamlayıcı bilgileri bir araya getirerek katılımcı düzeyinde depresyon şiddetini tahmin edebilen bütünleşik bir modelleme çerçevesi sunmaktır. Metin ve ses temsilleri, kendi içlerinde zamansal bağımlılıkları ve bağlamsal ilişkileri öğrenebilen derin öğrenme tabanlı mimariler aracılığıyla

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

işlenmiş; ardından bu modaliteler füzyon yaklaşımı kapsamında ortak bir tahmin sürecine dâhil edilmiştir. Bu yaklaşım, klinik görüşmelerin hem sözel içeriğini hem de konuşma dinamiklerini birlikte ele alarak, gerçek dünyadaki psikolojik değerlendirme senaryolarına daha yakın ve tutarlı bir analiz sağlamayı hedeflemektedir.

2.2. Özellik Çıkarımı

Önceki çalışmamızda, segment düzeyindeki klinik konuşma transkriptlerinin temsili için farklı Transformer tabanlı bağlamsal dil modelleri kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Bu kapsamda BERT-base-uncased ve DistilBERT-base-uncased modelleri kullanılarak elde edilen metin temsilleri, katılımcı düzeyinde depresyon şiddeti tahmini performansı açısından ayrı ayrı analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlar, test seti üzerinde en yüksek başarımın DistilBERT tabanlı temsiller ile elde edildiğini, BERT tabanlı temsillerin ise bu performansı takip ettiğini göstermiştir. DistilBERT'in daha kompakt mimarisine rağmen bağlamsal bilgiyi etkin biçimde koruyabilmesi, özellikle sınırlı veri koşullarında daha kararlı sonuçlar üretmesini sağlamıştır. Buna karşılık, BERT modeli daha ayrıntılı bağlamsal çözümleme kapasitesi sayesinde sözdizimsel ve anlamsal ilişkileri güçlü biçimde temsil edebilmiştir.

Bu bulgular doğrultusunda, mevcut çalışmada metin modalitesi için BERT ve DistilBERT temsilleri ayrı deneysel kurulumlar altında ele alınmıştır. Her iki modelden elde edilen segment düzeyindeki metin temsilleri, ses modalitesi ile bağımsız olarak birleştirilmiş ve her biri için ayrı metin–ses füzyon modelleri oluşturulmuştur. DistilBERT ile yeterli sonuçlar alınamadığı içi bu yönteme başvurulmuştur. Bu yaklaşım sayesinde, farklı bağlamsal metin temsillerinin ses bilgisi ile etkileşiminin depresyon şiddeti tahmini üzerindeki etkisi doğrudan karşılaştırılabilir hâle getirilmiştir. Böylece, füzyon aşamasında elde edilen performans farklılıklarının metin temsiline özgü katkılardan mı yoksa çoklu modalite etkileşiminden mi kaynaklandığı daha net biçimde analiz edilebilmiştir.

Ses modalitesinde, depresyon şiddeti ile ilişkili paralinguistik ipuçlarını temsil edebilmek amacıyla Mel Frekans Kepstral Katsayıları (MFCC) tabanlı akustik özellikler kullanılmıştır. Konuşma sinyaline dayalı duygu ve ruh sağlığı analizlerinde yaygın olarak tercih edilen MFCC öznitelikleri, insan işitsel algısını modelleyen Mel frekans ölçeği sayesinde ses sinyalinin spektral yapısını etkili biçimde temsil edebilmektedir. Bu çalışmada, ses sinyallerinden düşük seviye tanımlayıcılar (Low-Level Descriptors, LLD) elde etmek amacıyla açık kaynaklı OpenSMILE araç seti kullanılmıştır.

Özellik çıkarım sürecinde, her bir konuşma kaydı 25 ms uzunluğunda zaman çerçevelerine bölünmüş ve ardışık çerçeveler arasında 10 ms kayma adımı uygulanarak örtüşmeli analiz gerçekleştirilmiştir. Bu yapı, konuşma sinyalindeki zamansal sürekliliğin korunmasını sağlarken, kısa süreli enerji ve spektral değişimlerin daha hassas biçimde yakalanmasına olanak tanımaktadır. Her bir çerçeve için MFCC 1–13 katsayıları, bu katsayıların birinci dereceden (delta) ve ikinci dereceden (delta-delta) zamansal türevleri ile birlikte hesaplanmıştır. Böylece, yalnızca anlık spektral özellikler değil, aynı zamanda konuşmanın zamansal dinamikleri ve prosodik değişimleri de akustik temsile dâhil edilmiştir.

Elde edilen MFCC, delta ve delta-delta özellikleri birlikte ele alınarak, her bir zaman çerçevesi için konuşmanın akustik yapısını ayrıntılı biçimde temsil eden bir LLD vektörü

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, konuşma sırasında ortaya çıkan duraksamalar, ses enerjisindeki dalgalanmalar, vurgu değişimleri ve artikülasyon farklılıkları gibi depresyonla ilişkili paralinguistik göstergelerin etkin biçimde modellenmesine imkân tanımaktadır. Özellik çıkarım aşamasında herhangi bir zamansal özetleme veya segment düzeyinde sıkıştırma yapılmamış; bunun yerine, çerçeve düzeyinde elde edilen değişken uzunluktaki MFCC dizileri korunarak doğrudan modele aktarılmıştır.

Bu sayede, klinik görüşmeler boyunca ses sinyaline gömülü olan paralinguistik örüntüler, tekrarlayan sinir ağları ve kendiliğinden dikkat mekanizmaları aracılığıyla zamansal bağlam içinde öğrenilebilmiş; depresyon şiddeti açısından daha ayırt edici olan konuşma bölümlerinin model tarafından otomatik olarak vurgulanması sağlanmıştır. Bu yaklaşım, konuşmanın doğal akışını bozmadan akustik ipuçlarının yüksek zaman çözünürlüğüyle temsil edilmesini hedeflemektedir.

2.3. Katılımcı Seviyesinde Metin ve Ses Temsilleri

Bu çalışmada depresyon şiddetinin katılımcı düzeyinde tahmini amacıyla, metin ve ses modaliteleri için ayrı ayrı yapılandırılmış ancak mimari olarak tutarlı GRU tabanlı kendiliğinden dikkat (self-attention) ağları kullanılmış ve bu temsiller daha sonra birleşik (fusion) bir çerçeve içinde değerlendirilmiştir. Her iki modalite için de temel varsayım, klinik görüşmelerin zamansal olarak sıralı, değişken uzunluklu ve bağlama duyarlı dizilerden oluştuğu; dolayısıyla hem uzun vadeli bağımlılıkların hem de segmentler arası göreli önem ilişkilerinin birlikte modellenmesi gerektiğidir.

Metin modalitesi için, her katılımcı T_p adet konuşma segmentinden oluşan bir dizi olarak ele alınmış ve her segment, önceden çıkarılmış sabit boyutlu metin temsilleri $x_t \in \mathbb{R}^d$ ile temsil edilmiştir. Bu segment dizileri, tek katmanlı çift yönlü Gated Recurrent Unit (BiGRU) yapısı aracılığıyla işlenerek hem geçmiş hem de gelecek bağlam bilgisini içeren gizil durum temsilleri elde edilmiştir. Bu aşamada her zaman adımı için ileri ve geri yönlü durumlar birleştirilerekşu şekilde bir bağlamsal temsil oluşturulmuştur:

$$h_t = [\overrightarrow{h_t}; \overleftarrow{h_t}] \tag{1}$$

Bu yapı, özellikle E-DAIC veri setinde gözlenen kısa, kesintili ve heterojen konuşma segmentlerinin bağlamsal sürekliliğini yakalamada etkili bir çerçeve sunmaktadır.

Ses modalitesinde ise katılımcılar, OpenSMILE aracılığıyla çıkarılan düşük seviyeli akustik özelliklerden (MFCC tabanlı) oluşan yüksek çözünürlüklü zaman serileri ile temsil edilmiştir. Ses dizilerinin uzunluklarının metne kıyasla oldukça değişken ve yüksek olması nedeniyle, ses tarafında iki katmanlı çift yönlü GRU yapısı tercih edilmiştir. Bu sayede daha derin zamansal soyutlamalar öğrenilmiş, aynı zamanda GRU içi dropout mekanizması ile aşırı öğrenmenin önüne geçilmiştir. Metin ve ses modelleri arasındaki bu yapısal farklılık, modalitelerin doğasına özgü zamansal dinamikleri daha etkin biçimde modellemeyi amaçlamaktadır.

Her iki modalitede de GRU çıktıları, çok başlı kendiliğinden dikkat (multi-head self-attention) katmanına aktarılmıştır. Bu mekanizma, dizideki her zaman adımının diğer tüm adımlarla olan ilişkisini öğrenerek bağlamsal önem derecelerini otomatik olarak belirler. Dikkat ağırlıkları, sorgu (Q), anahtar (K) ve değer (V) matrisleri üzerinden şu şekilde hesaplanmadır:

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$A = \text{softmax}\left(\frac{QK^{\top}}{\sqrt{d_k}}\right) \quad (2)$$

Her başlık için elde edilen çıktılar birleştirilerek nihai dikkat temsili oluşturulmaktadır. Özellikle depresyon şiddeti açısından belirleyici olabilecek duygusal yoğunluklar, duraksamalar, ses tonundaki değişimler veya olumsuz içerikli ifadeler, bu mekanizma sayesinde daha yüksek ağırlıklarla temsil edilebilmektedir.

Dikkat katmanı sonrasında, her iki modalitede de geçerli zaman adımları maskeleme ile ayrıştırılmış ve zaman boyutu boyunca ortalama havuzlama uygulanarak tekil bir katılımcı temsili elde edilmiştir. Bu temsil, doğrusal bir regresyon katmanı aracılığıyla PHQ-8 skoruna eşlenmiştir. Ses modalitesinde ayrıca çıktıların klinik olarak anlamlı bir aralıkta kalmasını sağlamak amacıyla sigmoid tabanlı bir ölçekleme uygulanarak tahminler PHQ-8 skor aralığına sınırlandırılmıştır.

Bu birleşik yaklaşım, metin modalitesinde dilsel içerik ve anlamsal ipuçlarını, ses modalitesinde ise paralinguistik ve akustik göstergeleri aynı model ailesi içinde ele alarak, depresyon şiddetinin farklı dışavurum biçimlerini tamamlayıcı şekilde yakalamayı hedeflemektedir. GRU'nun uzun vadeli bağımlılıkları modelleme kapasitesi ile kendiliğinden dikkat mekanizmasının bağlamsal seçiciliği bir araya getirildiğinde, klinik görüşmelerin karmaşık ve düzensiz yapısına uygun, esnek ve genellenebilir bir çok-modalite çerçevesi elde edilmektedir.

2.4. Uygulanan Derin Öğrenme ve Makine Öğrenimi Modelleri

Bu çalışmada, metin ve ses modalitelerinden elde edilen katılımcı düzeyindeki temsiller birleştirildikten sonra, depresyon şiddeti tahmini amacıyla hem klasik makine öğrenimi hem de derin öğrenme tabanlı çeşitli regresyon modelleri kullanılmıştır. Böylece, farklı model ailelerinin çoklu-modal füzyon temsillerini ne ölçüde etkili biçimde kullanabildiği sistematik olarak incelenmiştir.

Doğrusal regresyon tabanlı yaklaşımlar kapsamında Linear Regression, Ridge, Lasso ve Elastic Net modelleri değerlendirilmiştir. Bu modeller, metin ve ses temsillerinin doğrusal birleşimi üzerinden PHQ skorunu tahmin etmeyi amaçlamakta; özellikle Ridge, Lasso ve Elastic Net düzenlileştirme terimleri aracılığıyla yüksek boyutlu füzyon vektörlerinde aşırı uyum riskini azaltmayı hedeflemektedir. Bu grup, füzyon temsillerinin doğrusal açıklanabilirliğini analiz etmek için temel bir karşılaştırma zemini sunmaktadır.

Çekirdek tabanlı yöntemlerden Support Vector Regression (SVR) modelleri, hem doğrusal hem de RBF çekirdeği kullanılarak uygulanmıştır. SVR, özellikle yüksek boyutlu ve doğrusal olmayan ilişkilerin bulunduğu durumlarda marj temelli öğrenme yaklaşımı sayesinde daha esnek karar fonksiyonları üretmektedir. Füzyon temsillerinin karmaşık yapısı göz önünde bulundurulduğunda, bu modeller doğrusal yöntemlere kıyasla daha zengin fonksiyonel ilişkileri yakalama potansiyeline sahiptir.

Ağaç tabanlı topluluk yöntemleri olarak Random Forest ve Gradient Boosting modelleri kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar, karar ağaçlarının bir araya getirilmesiyle doğrusal olmayan ve etkileşimli örüntüleri öğrenebilmekte; özellikle metin ve ses özellikleri arasındaki karmaşık ilişkilerin modellenmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, XGBoost ve LightGBM modelleri ile

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

gradyan artırma yaklaşımı daha derin ve optimize edilmiş ağaç yapıları üzerinden değerlendirilmiş, böylece büyük ölçekli ve heterojen füzyon temsillerinin öğrenilebilirliği artırılmıştır.

Derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar kapsamında, çok katmanlı algılayıcı (Multi Layer Perceptron, MLP) modeli füzyon vektörlerini doğrudan giriş olarak alarak doğrusal olmayan dönüşümlerle tahmin üretmiştir. MLP, metin ve ses temsilleri arasındaki etkileşimleri tam bağlantılı katmanlar aracılığıyla modelleyen temel bir derin öğrenme yaklaşımı olarak ele alınmıştır.

Zamansal bağımlılıkları dolaylı biçimde modellemek amacıyla GRU (Gated Recurrent Unit) ve çift yönlü GRU (BiGRU) tabanlı modeller de değerlendirilmiştir. Bu modellerde, metin ve ses temsillerinin birleştirilmiş vektörü tek zaman adımı olarak ele alınmış; çift yönlü yapı sayesinde ileri ve geri yönlü bağlamsal dönüşümler öğrenilmiştir. Bu yaklaşım, füzyon temsillerinin daha soyut ve bağlama duyarlı bir uzaya taşınmasını amaçlamaktadır.

Dikkat mekanizmasına dayalı derin öğrenme modelleri kapsamında, self-attention tabanlı mimari kullanılarak füzyon temsillerinin daha ayırt edici alt bileşenleri vurgulanmıştır. Ayrıca, çapraz dikkat (cross-attention) modeli ile metin ve ses temsilleri arasında yönlü etkileşimlerin öğrenilmesi hedeflenmiş; ancak bu yaklaşımın performansı, veri yapısına duyarlılığı nedeniyle sınırlı kalmıştır. Gated füzyon modeli ise metin ve ses temsillerinin katkılarını öğrenilebilir kapı mekanizmaları aracılığıyla dengelemekte; bilinear füzyon modeli ise iki modalite arasındaki çarpımsal etkileşimleri doğrudan modellemektedir.

Son olarak, Transformer Encoder tabanlı model, füzyon temsillerini çok başlı dikkat mekanizmaları ve konumsal dönüşümler aracılığıyla işleyerek daha derin bağlamsal temsiller üretmiştir. Bu model, özellikle yüksek boyutlu metin–ses birleşimlerinin küresel bağıntılarını öğrenebilme kapasitesi nedeniyle öne çıkmaktadır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada depresyon şiddeti tahmini problemi, metin ve ses modalitelerinin katılımcı düzeyinde temsil edilmesi ve bu temsillerin birleştirilmesine dayanan bir multimodal füzyon çerçevesi içerisinde ele alınmıştır. Deneysel tasarım, her bir modalite için önce bağımsız ve görev odaklı temsillerin öğrenilmesi, ardından bu temsillerin ortak bir özellik uzayında birleştirilerek regresyon modelleri aracılığıyla değerlendirilmesi şeklinde yapılandırılmıştır.

Metin modalitesinde, klinik görüşmelere ait zaman damgalı konuşma segmentleri, bağlamsal dil bilgilerini yakalayabilmek amacıyla BERT tabanlı gömme yöntemleri kullanılarak sayısal vektörlere dönüştürülmüştür. Önceki metin tabanlı deneylerde DistilBERT test kümesinde görece daha iyi sonuçlar vermiş olsa da, bu çalışmada kullanılan mimari ve eğitim protokolü altında BERT temsillerinin daha tutarlı performans sergilemesi nedeniyle füzyon modelinde metin modalitesi olarak BERT tercih edilmiştir. Segment düzeyinde elde edilen bu temsiller, katılımcı bazında bir zaman serisi olarak ele alınmış ve GRU tabanlı kendiliğinden dikkat mekanizmasına sahip bir mimari ile işlenerek katılımcıyı temsil eden tekil bir metin vektörü elde edilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Ses modalitesinde ise konuşma sinyallerinden çıkarılan MFCC tabanlı akustik özellikler kullanılmıştır. Çerçeve düzeyinde elde edilen MFCC dizileri, değişken uzunluklu zaman serileri olarak modellenmiş ve metin modalitesine paralel biçimde GRU ve kendiliğinden dikkat mekanizması içeren bir yapı aracılığıyla işlenerek katılımcı düzeyinde bir ses temsili oluşturulmuştur.

Metin ve ses modalitelerinden elde edilen katılımcı temsilleri, temsil düzeyinde füzyon yaklaşımıyla birleştirilmiş; BERT tabanlı metin temsili ile MFCC tabanlı ses temsili ardışık olarak birleştirilerek multimodal bir özellik vektörü elde edilmiştir. Bu birleşik temsiller üzerinden depresyon şiddeti tahmini amacıyla hem derin öğrenme tabanlı (MLP, GRU, çift yönlü GRU, kendiliğinden ve çapraz dikkat mekanizmaları, kapı kontrollü ve bilinear füzyon yapıları ile Transformer encoder) hem de klasik makine öğrenmesi tabanlı regresyon modelleri eğitilmiştir.

Bu deneysel kurgu sayesinde, BERT tabanlı metin temsilleri ile MFCC tabanlı akustik temsillerin GRU ve kendiliğinden dikkat mekanizmaları aracılığıyla öğrenilen yüksek seviyeli özelliklerinin, depresyon şiddeti tahminine katkısı sistematik ve karşılaştırılabilir biçimde incelenmiştir. Bu çalışmada depresyon şiddeti tahmin performansını değerlendirmek amacıyla Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error, MAE), Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Square Error, RMSE) ve Uyum Korelasyon Katsayısı (Concordance Correlation Coefficient, CCC) birlikte kullanılmıştır. MAE, tahminler ile gerçek değerler arasındaki mutlak farkların ortalamasını ölçerek hataları doğrusal biçimde cezalandırmakta ve modelin ortalama sapmasını doğrudan yansıtması nedeniyle klinik ölçek tahmininde yüksek yorumlanabilirlik sunmaktadır. RMSE ise hata terimlerini karesel olarak büyüterek büyük sapmalara daha fazla ağırlık vermekte ve özellikle ciddi tahmin hatalarının etkisini ortaya koymaktadır; ancak birkaç uç değerin metriği hızla yükseltebilmesi nedeniyle MAE ile birlikte raporlanmıştır. CCC, tahminler ile gerçek değerler arasındaki korelasyonu değerlendirmenin ötesine geçerek, tahmin dağılımının ortalama ve varyans açısından gerçek PHQ skor dağılımına ne ölçüde uyduğunu da dikkate almakta ve bu yönüyle klinik regresyon problemleri için ölçeğe sadakati ölçen güçlü bir performans göstergesi sunmaktadır. Bu nedenle metriklerin birlikte kullanımı, depresyon şiddeti tahmininin hem sayısal hata düzeyi hem de dağılımsal tutarlılık açısından bütüncül biçimde değerlendirilmesini sağlamaktadır.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çizelge 1'e göre, metin (BERT) ve ses (MFCC) temsillerinin birleştirilmesiyle elde edilen katılımcı düzeyindeki özellikler üzerinde uygulanan makine öğrenimi modelleri, genel olarak birbirine yakın performanslar sergilemiştir. Geliştirme kümesinde elde edilen CCC değerlerinin test kümesine kıyasla daha yüksek olması, modellerin eğitim verisine daha iyi uyum sağladığını ancak genelleme aşamasında performansın kısmen azaldığını göstermektedir. Doğrusal ve düzenlileştirilmiş regresyon modelleri (Linear Regression, Ridge, Lasso, ElasticNet ve SVR-Linear), hata metrikleri ve CCC açısından istikrarlı sonuçlar üretmiş; bu durum, füzyon temsillerinin büyük ölçüde doğrusal bir yapıya sahip olduğunu düşündürmektedir.

Doğrusal olmayan yöntemler (SVR-RBF, Random Forest, Gradient Boosting ve XGBoost) geliştirme aşamasında rekabetçi performanslar sunsa da, test kümesinde belirgin bir üstünlük

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

sağlayamamıştır. Özellikle ağaç tabanlı topluluk modellerinde test hatalarının artması, bu yaklaşımların birleşik özellik uzayında aşırı uyuma daha yatkın olabileceğine işaret etmektedir.

Bu çalışmada, E-DAIC veri setine ait metin transkriptlerinden elde edilen farklı metin temsilleri, GRU tabanlı öz dikkat mimarisi kullanılarak katılımcı düzeyinde PHQ-8 skor tahmini için değerlendirilmiştir. Model performansı, geliştirme (dev) ve test kümeleri üzerinde RMSE, MAE ve Uyum Korelasyon Katsayısı (CCC) metrikleri aracılığıyla analiz edilmiştir. Özellikle CCC metriği, tahminlerin gerçek PHQ skorlarıyla olan dağılımsal uyumunu yansıtması nedeniyle temel karşılaştırma ölçütü olarak ele alınmıştır.

Çizelge 7. Makine öğrenimi modellerden elde edilen sonuçlar

Model	CCC_Dev	CCC_Test	RMSE_Dev	RMSE_Test	MAE_Dev	MAE_Test
Linear Regression	0,537	**0,498**	4,921	5,324	3,903	**4,265**
Ridge	0,559	0,485	4,678	5,352	3,650	4,362
Lasso	0,550	0,494	4,724	5,324	3,674	4,335
ElasticNet	0,547	0,495	4,750	**5,313**	3,695	4,322
SVR_RBF	0,527	0,457	4,707	5,447	3,719	4,440
SVR_Linear	0,553	0,490	4,716	5,335	3,670	4,347
RandomForest	**0,567**	0,460	**4,578**	5,473	**3,505**	4,470
Gradient Boosting	**0,567**	0,462	4,589	5,466	3,538	4,448
XGBoost	0,546	0,467	4,669	5,449	3,566	4,450

Çizelge 2'de gösterilen sonuçlar, metin (BERT) ve ses (MFCC) modalitelerinden elde edilen katılımcı düzeyindeki temsillerin birleştirilmesiyle oluşturulan füzyon özelliklerinin, farklı derin öğrenme mimarileri altında nasıl davrandığını ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır. Geliştirme kümesinde modellerin büyük çoğunluğu benzer CCC değerlerine ulaşmış olup, bu durum füzyon temsilinin farklı ağ yapıları tarafından tutarlı biçimde öğrenilebildiğini göstermektedir. Test kümesinde gözlenen performans düşüşleri ise sınırlı veri boyutu ve katılımcılar arası yüksek değişkenlik nedeniyle genelleme zorluğunun devam ettiğine işaret etmektedir; buna rağmen birçok modelde bu düşüşün kontrollü düzeyde kalması, füzyon yaklaşımının istikrarlı bir tahmin altyapısı sunduğunu göstermektedir.

Transformer Encoder tabanlı füzyon modeli, hem geliştirme hem de test aşamasında en yüksek CCC değerlerini elde ederek birleşik temsiller arasındaki ilişkileri modellemede en başarılı yaklaşım olarak öne çıkmıştır. Bu bulgu, self-attention tabanlı yapıların metin ve ses özellikleri arasındaki etkileşimleri küresel bağlamda ele alabilme yeteneğinin, regresyon performansına olumlu yansıdığını göstermektedir. GRU, BiGRU ve Self-Attention tabanlı füzyon modelleri birbirine oldukça yakın sonuçlar üretmiş; bu durum, zamansal ya da sıralı bir yapı olmaksızın katılımcı düzeyine indirgenmiş temsillerde, bu mimarilerin sunduğu ek modelleme gücünün

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

sınırlı kaldığını düşündürmektedir. Gated ve bilinear füzyon yaklaşımları, modaliteler arası etkileşimi açık biçimde modellemelerine rağmen, daha basit yapılara kıyasla belirgin bir üstünlük sağlayamamıştır.

Çizelge 8 Derin öğrenme modellerinin sonuçları

Model	CCC_Dev	CCC_Test	RMSE_Dev	RMSE_Test	MAE_Dev	MAE_Test
MLP	0,570	0,491	4,692	5,429	3,623	4,401
GRU	0,571	0,511	4,701	5,377	3,653	4,331
BiGRU	0,572	0,514	4,675	5,364	3,638	4,332
SelfAttention	0,576	0,495	4,710	5,406	3,701	4,386
CrossAttention	0,138	0,068	5,541	6,559	4,689	5,494
Gated MMN	0,575	0,502	5,030	5,752	3,987	4,382
Bilinear	0,579	0,491	4,715	5,422	3,707	4,409
Transformer Encoder	0,606	0,542	4,659	5,514	3,590	4,264

Öte yandan Cross-Attention tabanlı füzyon modelinin her iki veri kümesinde de belirgin biçimde düşük performans sergilemesi, bu yaklaşımın mevcut deneysel kurguya yeterince uyum sağlayamadığını göstermektedir. Tek vektörlük metin ve ses temsilleri üzerinde çapraz dikkat mekanizması kullanılması, dikkat ağırlıklarının anlamlı biçimde öğrenilmesini zorlaştırmış ve bu durum performansa olumsuz yansımıştır. Genel olarak elde edilen bulgular, metin ve ses modalitelerinin füzyonunun depresyon şiddeti tahmininde anlamlı katkı sağladığını; ancak bu katkının, kullanılan füzyon mimarisinin karmaşıklığından ziyade temsil kalitesi ve modelin genelleme yeteneğiyle yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 3'te, depresyon şiddeti tahmini alanında literatürde raporlanan farklı yöntemler; kullanılan modaliteler ve performans ölçütleri açısından karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Erken dönem çalışmalarda yalnızca metin ya da tekil modaliteye dayalı yaklaşımların sınırlı bir uyum korelasyonu sergilediği görülürken, metin ve sesin birlikte kullanıldığı yöntemlerle birlikte performansın belirgin biçimde arttığı dikkat çekmektedir. Üçlü modaliteyi (metin–ses–görsel) kullanan daha karmaşık mimariler genellikle daha yüksek doğruluk değerlerine ulaşmakla birlikte, bu kazanımlar artan model karmaşıklığı ve hesaplama maliyetiyle birlikte gelmektedir.

Bu bağlamda, yalnızca metin modalitesini kullanan DistilBERT-GRU-Self-Attention yaklaşımı, çoklu-modalite kullanan bazı yöntemlere yakın bir performans sergileyerek dikkat çekici bir sonuç ortaya koymaktadır. Bu durum, bağlamsal dil temsilleri ile tekrarlayan sinir ağları ve dikkat mekanizmalarının birlikte kullanımının, klinik görüşme transkriptlerinden depresyonla ilişkili dilsel örüntüleri etkin biçimde yakalayabildiğini göstermektedir. Metin

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

tabanlı bu yaklaşım, daha düşük modalite bağımlılığına rağmen rekabetçi sonuçlar üretebilmesi açısından önemli bir referans noktası oluşturmaktadır.

Çizelge 9. Literatürdeki E-DAIC veri seti ile yapılan çalışmaların karşılaştırma çizelgesi

MODEL	MODALİTE	CCC	RMSE	MAE
EF [1]	Metin	0,344	-	-
Bert-CNN & Gated-CNN [3]	Metin + Ses	0,403	6,11	-
Multi-scale Temporal Dilated CNN [4]	Metin + Ses	0,430	5,91	4,39
Hierarchical BiLSTM [6]	Metin + Ses + Görsel	0,442	5,50	-
DepressNet [10]	Metin + Ses + Görsel	0,457	5,36	-
MMDD [11]	Metin + Ses + Görsel	0,466	-	5,21
TensorFormer [7]	Metin + Ses + Görsel	0,493	4,31	-
TIDSM [2]	Metin	0,620	6,06	-
Text-guided CMFR-CMFD [5]	Metin + Ses	0,682	4,39	3,81
MFM-Att [12]	Metin + Ses + Görsel	-	5,17	-
FPT-Former [13]	Metin + Ses + Görsel	-	4,80	4,58
STFN [14]	Ses	-	6,29	5,38
Distilbert-GRU-Attn	Metin	0,505	5,27	4,34
GRU-SA + Transformer Fusion	Metin + Ses	0,542	5,51	4,26

Önerilen GRU-SA + Transformer Füzyon yöntemi ise metin ve ses modalitelerini birlikte ele alarak, literatürde yer alan pek çok çoklu-modal yaklaşım ile karşılaştırılabilir bir performans sunmaktadır. Metin tarafında GRU tabanlı kendiliğinden dikkat mekanizması ile elde edilen katılımcı düzeyi temsillerin, ses tarafında MFCC tabanlı GRU-Self-Attention çıktılarıyla birleştirilmesi ve bu temsillerin Transformer Encoder aracılığıyla füzyon uzayında modellenmesi, modaliteler arası tamamlayıcı bilginin etkili biçimde kullanılmasını sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar, hata metrikleri ve uyum korelasyonu birlikte değerlendirildiğinde, modelin hem sayısal doğruluk hem de dağılımsal tutarlılık açısından dengeli bir tahmin davranışı sergilediğini ortaya koymaktadır.

Genel değerlendirme itibarıyla, çalışmada sunulan metin tabanlı ve metin-ses füzyonuna dayalı yaklaşımlar, daha az modalite ve görece sade mimarilerle literatürdeki birçok yönteme yakın veya rekabetçi performans elde edilebileceğini göstermektedir. Bu bulgular, önerilen yaklaşımın modüler ve genişletilebilir bir yapıya sahip olduğunu; ilerleyen çalışmalarda ek

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

modalitelerle desteklenerek daha yüksek performans seviyelerine taşınabilecek sağlam bir temel sunduğunu ortaya koymaktadır.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, klinik görüşmelerden elde edilen metin ve ses modaliteleri kullanılarak depresyon şiddetinin katılımcı düzeyinde tahmini ele alınmıştır. Metin ve ses için ayrı ayrı GRU tabanlı kendiliğinden dikkat mekanizmalarıyla temsil öğrenilmiş, elde edilen yüksek seviyeli temsiller farklı füzyon ve regresyon modelleri aracılığıyla birleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen temsil tabanlı çoklu-modal yaklaşımın literatürdeki yöntemlerle karşılaştırılabilir bir performans sunduğunu ve özellikle metin modalitesinin güçlü bir tahmin kaynağı oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca, farklı füzyon stratejilerinin değerlendirilmesi, modaliteler arası bilginin model performansına katkısını açık biçimde ortaya koymuştur.

Gelecek çalışmalarda, bu çalışmada benimsenen aşamalı temsil öğrenimi yaklaşımının ötesine geçilerek, metin ve ses modalitelerinin ortak bir hedef fonksiyon altında birlikte optimize edildiği uçtan uca (end-to-end) çoklu-modal mimarilerin incelenmesi planlanmaktadır. Bu doğrultuda, çapraz dikkat mekanizmaları ve daha bütünleşik füzyon stratejilerinin depresyon şiddeti tahmini üzerindeki etkilerinin araştırılması hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

[1] H. Kaya *vd.*, "Predicting depression and emotions in the cross-roads of cultures, para-linguistics, and non-linguistics", içinde *Proceedings of the 9th International on Audio/Visual Emotion Challenge and Workshop*, 2019, ss. 27-35.
[2] F. Van Steijn, G. Sogancioglu, ve H. Kaya, "Text-based interpretable depression severity modeling via symptom predictions", içinde *Proceedings of the 2022 International Conference on Multimodal Interaction*, 2022, ss. 139-147.
[3] M. Rodrigues Makiuchi, T. Warnita, K. Uto, ve K. Shinoda, "Multimodal fusion of bert-cnn and gated cnn representations for depression detection", içinde *Proceedings of the 9th International on Audio/Visual Emotion Challenge and Workshop*, 2019, ss. 55-63.
[4] W. Fan, Z. He, X. Xing, B. Cai, ve W. Lu, "Multi-modality depression detection via multi-scale temporal dilated cnns", içinde *Proceedings of the 9th International on Audio/Visual Emotion Challenge and Workshop*, 2019, ss. 73-80.
[5] Z. Chen *vd.*, "Text-guided multimodal depression detection via cross-modal feature reconstruction and decomposition", *Inf. Fusion*, c. 117, s. 102861, 2025.
[6] S. Yin, C. Liang, H. Ding, ve S. Wang, "A multi-modal hierarchical recurrent neural network for depression detection", içinde *Proceedings of the 9th International on Audio/Visual Emotion Challenge and Workshop*, 2019, ss. 65-71.
[7] H. Sun, Y.-W. Chen, ve L. Lin, "Tensorformer: A tensor-based multimodal transformer for multimodal sentiment analysis and depression detection", *IEEE Trans. Affect. Comput.*, c. 14, sy 4, ss. 2776-2786, 2022.
[8] J. Gratch *vd.*, "The distress analysis interview corpus of human and computer interviews.", içinde *Lrec*, Reykjavik, 2014, ss. 3123-3128.
[9] D. DeVault *vd.*, "SimSensei Kiosk: A virtual human interviewer for healthcare decision support", içinde *Proceedings of the 2014 international conference on Autonomous agents and multi-agent systems*, 2014, ss. 1061-1068.
[10] G. S. Saggu, K. Gupta, K. Arya, ve C. R. Rodriguez, "Depressnet: A multimodal hierarchical attention mechanism approach for depression detection", *Int J Eng Sci*, c. 15, sy 1, ss. 24-32, 2022.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[11] S. Teng, S. Chai, J. Liu, T. Tateyama, L. Lin, ve Y.-W. Chen, "Multi-modal and multi-task depression detection with sentiment assistance", içinde *2024 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, IEEE, 2024, ss. 1-5.
[12] M. Fang, S. Peng, Y. Liang, C.-C. Hung, ve S. Liu, "A multimodal fusion model with multi-level attention mechanism for depression detection", *Biomed. Signal Process. Control*, c. 82, s. 104561, 2023.
[13] Y. Li *vd.*, "FPT-Former: A Flexible Parallel Transformer of Recognizing Depression by Using Audiovisual Expert-Knowledge-Based Multimodal Measures", *Int. J. Intell. Syst.*, c. 2024, sy 1, s. 1564574, 2024.
[14] Z. Han *vd.*, "Spatial–temporal feature network for speech-based depression recognition", *IEEE Trans. Cogn. Dev. Syst.*, c. 16, sy 1, ss. 308-318, 2023.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

METİNSEL VERİ ÜZERİNDE KENDİLİĞİNDEN DİKKAT MEKANİZMALARI KULLANARAK DEPRESYON ŞİDDETİ TAHMİNİ

DEPRESSION SEVERITY ESTIMATION USING SELF-ATTENTION MECHANISMS ON TEXTUAL DATA

Büşra AKKIR

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı,

akkirbusra@gmail.com - 0009-0000-6128-085X

Hüseyin POLAT

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fak. Bilg. Müh. Böl.,

polath@gazi.edu.tr - 0000-0003-4128-2625

ÖZET

Depresyon şiddetinin otomatik olarak tahmin edilmesi, klinik karar destek sistemleri açısından önemli ancak zorlu bir problem alanıdır. Son yıllarda bu alandaki çalışmalar büyük ölçüde metin, ses ve görsel modalitelerin birlikte kullanıldığı çok modaliteli yapılara yönelmiş olsa da, bu yaklaşımlar artan model karmaşıklığı, veri senkronizasyonu gereksinimi ve pratik uygulanabilirlik açısından çeşitli sınırlamalar barındırmaktadır. Bu çalışmada, söz konusu zorlukları göz önünde bulundurarak depresyon şiddeti tahmini problemi yalnızca metin modalitesi üzerinden ele alınmıştır. E-DAIC veri setine ait klinik görüşme transkriptlerinin segment tabanlı yapısı korunarak, katılımcı düzeyinde sıralı metin temsilleri oluşturulmuş ve bu temsiller çift yönlü GRU ile çok başlı kendiliğinden dikkat mekanizmasını birleştiren bir mimari ile modellenmiştir. Çalışma kapsamında farklı bağlamsal ve istatistiksel metin temsilleri aynı model yapısı altında değerlendirilerek metin modalitesinin tek başına sunduğu tahmin potansiyeli incelenmiştir. Elde edilen bulgular, uygun zamansal modelleme ve dikkat mekanizmaları ile desteklendiğinde metin tabanlı yaklaşımların, depresyon şiddeti tahmininde sade, yorumlanabilir ve rekabetçi bir alternatif sunabildiğini göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, çok modaliteli sistemlere geçiş öncesinde güçlü ve genellenebilir bir metin temelli altyapının önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Depresyon şiddeti tahmini, metin tabanlı analiz, dikkat mekanizmaları, tekrarlayan sinir ağları, E-DAIC veri seti.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ABSTRACT

Automatic estimation of depression severity is a challenging yet critical task for clinical decision support systems. Although recent studies predominantly rely on multimodal approaches that combine textual, acoustic, and visual information, such methods often introduce increased model complexity, strict synchronization requirements, and limited practical applicability. In this study, depression severity estimation is addressed exclusively through the textual modality to investigate the standalone predictive potential of language-based representations. Clinical interview transcripts from the E-DAIC dataset are processed in a segment-level manner and organized into participant-level sequential structures. These sequences are modeled using a bidirectional Gated Recurrent Unit architecture enhanced with a multi-head self-attention mechanism to capture both temporal dependencies and segment-level importance within each interview. Multiple textual representations, including contextual and statistical embeddings, are evaluated under a unified modeling framework to ensure methodological consistency. The findings indicate that when supported by appropriate temporal modeling and attention mechanisms, text-only approaches can provide a robust, interpretable, and competitive solution for depression severity estimation. The study highlights the value of strong textual baselines and demonstrates that effective language-based modeling can serve as a reliable foundation prior to incorporating additional modalities.

Keywords: Depression severity estimation, text-based analysis, attention mechanisms, recurrent neural networks, E-DAIC dataset.

1. GİRİŞ

Depresyon, dünya genelinde bireylerin yaşam kalitesini ciddi biçimde etkileyen ve erken tanı konulmadığında ağır klinik sonuçlara yol açabilen yaygın bir ruh sağlığı bozukluğudur. Klinik değerlendirmeler büyük ölçüde uzman görüşlerine ve öz-bildirim temelli ölçeklere dayansa da, bu süreçler zaman alıcı, öznel ve ölçeklenebilirlik açısından sınırlı kalabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda doğal dil işleme ve makine öğrenmesi temelli yöntemler kullanılarak, klinik görüşmeler sırasında üretilen davranışsal verilerden depresyon şiddetinin otomatik olarak tahmin edilmesine yönelik çalışmalar artış göstermiştir. Özellikle klinik görüşme transkriptleri, bireylerin duygu durumunu, düşünce yapısını ve bilişsel örüntülerini yansıtan zengin dilsel ipuçları barındırması nedeniyle, depresyon şiddeti tahmini probleminde önemli bir veri kaynağı olarak öne çıkmaktadır.

Depresyon şiddeti tahmini alanında yapılan metin odaklı çalışmalar, konuşma transkriptlerinden elde edilen dilsel bilgilerin klinik açıdan anlamlı ipuçları sunduğunu göstermektedir. Metin modalitesini tek başına kullanan erken dönem yaklaşımlar[1], sözcük temelli ve istatistiksel özellikler üzerinden depresyon şiddetini tahmin etmeyi hedeflemiş; daha yakın tarihli çalışmalar ise önceden eğitilmiş dil modelleri ve sıralı derin öğrenme yapılarıyla

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

bu temsilleri zenginleştirmiştir[2]. Özellikle dil modeli tabanlı temsillerin, zaman bağımlı yapılar ve dikkat mekanizmalarıyla birlikte kullanılması, sadece metin senaryolarda daha tutarlı ve genellenebilir sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Bu bulgular, yalnızca metin modalitesine dayalı yaklaşımların, uygun modelleme stratejileriyle güçlü bir alternatif oluşturabildiğini ortaya koymaktadır.

Metin ve ses modalitelerinin birlikte kullanıldığı çalışmalarda ise, dilsel içerik ile paralinguistik özelliklerin tamamlayıcı yapısından faydalanılmaktadır. Bu yaklaşımlar, konuşmanın hem ne söylendiğini hem de nasıl söylendiğini birlikte ele alarak daha zengin temsil uzayları oluşturmayı amaçlamaktadır. Derin evrişimsel ve sıralı ağ tabanlı yöntemlerle gerçekleştirilen bu çalışmalar [3], performans açısından belirli kazanımlar sunmakla birlikte, artan model karmaşıklığı ve modaliteler arası senkronizasyon gereksinimi gibi zorlukları da beraberinde getirmektedir.

Üç modalitenin (metin, ses ve görsel) birlikte kullanıldığı multimodal çalışmalar, insan davranışını daha bütüncül biçimde modellemeyi hedeflemektedir. Bu kapsamda geliştirilen hiyerarşik ve Transformer tabanlı mimariler [4] [5], farklı modaliteler arasındaki etkileşimleri öğrenerek daha kapsamlı temsil üretmeyi amaçlamıştır. Ancak bu tür sistemler, yüksek hesaplama maliyeti, veri eksikliği ve gerçek dünya uygulamalarında karşılaşılan pratik sınırlamalar nedeniyle her zaman kararlı ve genellenebilir çözümler sunamamaktadır.

Bu çalışma ise, söz konusu zorlukları göz önünde bulundurarak depresyon şiddeti tahmini problemini yalnızca metin modalitesi üzerinden ele almaktadır. Konuşma transkriptlerinin segment yapısından yararlanılarak katılımcı bazında sıralı temsiller oluşturulmuş ve bu temsiller, kendiliğinden dikkat mekanizmasıyla desteklenen çift yönlü GRU tabanlı bir mimariyle modellenmiştir. Bu yaklaşım, multimodal sistemlerin getirdiği ek karmaşıklıkları dışlayarak daha sade, yorumlanabilir ve genellenebilir bir çözüm sunmayı amaçlamakta; sadece metin yöntemlerin depresyon şiddeti tahmininde hâlen güçlü ve geçerli bir araştırma hattı olduğunu vurgulamaktadır.

2. VERİ SETİ VE KULLANILAN YÖNTEMLER

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan veri seti, Extended Distress Analysis Interview Corpus (E-DAIC) olup yarı-klinik psikolojik değerlendirme görüşmelerinden oluşan geniş bir çoklu-mod veri kaynağıdır [6]. Veri seti, psikolojik sıkıntı durumlarının (özellikle depresyon, anksiyete ve travma sonrası stres bozukluğunun) otomatik olarak değerlendirilmesini desteklemek amacıyla tasarlanmıştır [7]. Görüşmeler, katılımcılarla etkileşim kuran animasyon tabanlı bir sanal mülakatçı (Ellie) tarafından yürütülmüş; görüşmelerin bir kısmı Wizard-of-Oz (WoZ) yaklaşımıyla insan tarafından gerçek zamanlı kontrol edilirken, kalan kısmı tamamen otonom yapay zekâ modülleri tarafından yönetilmiştir.

E-DAIC veri seti toplam 275 katılımcıdan oluşmakta olup her katılımcıya ait klasörlerde ham ses dosyası, segmentlenmiş transkriptler ve çeşitli akustik ile görsel özellik setleri yer almaktadır. Ayrıca veri seti eğitim, geliştirme ve test alt kümelerine ayrılmış; yaş, cinsiyet ve depresyon şiddetini yansıtan PHQ-8 skor dağılımlarının bu üç bölümde korunmasına dikkat edilmiştir. Eğitim ve geliştirme bölümleri hem WoZ hem AI kontrollü görüşmeleri içerirken,

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

test bölümü yalnızca otonom sistem tarafından yürütülen görüşmelerden oluşmaktadır. Her transkript dosyası görüşmenin doğal akışını temsil eden, zaman damgalı kısa segmentlerden oluşur; bu segmentlerin her biri katılımcının verdiği sözel yanıtın içeriğini ve uzunluğunu ayrı bir gözlem olarak yansıtır. Depresyon şiddeti etiketi olarak kullanılan PHQ-8 değerleri ise labels dizininde katılımcı düzeyinde sağlanmıştır.

E-DAIC çoklu-mod özellikler içeren bir veri seti olsa da (MFCC, eGeMAPS, Bag-of-Audio-Words, OpenFace, CNN tabanlı görsel temsiller vb.), bu çalışma kapsamında özellikle transkript verisi üzerinde durulmuştur. Bunun üç temel gerekçesi bulunmaktadır. Birincisi, klinik görüşme transkriptleri konuşmacının duygu durumu, ifade biçimi, bilişsel tutarlılığı ve öz-referans kullanımına ilişkin zengin sözel ipuçları barındırır; depresyonun dilsel belirti profili bilimsel literatürde güçlü bir şekilde belgelenmiştir. Bu nedenle, segment düzeyinde sözel içerik analizi, depresyon şiddetini tahmin etmek için tek başına anlamlı bir bilgi kaynağı oluşturmaktadır. İkincisi, E-DAIC transkriptlerinin kısa ve doğal konuşma bloklarından oluşan segment yapısı, yüksek ayrıntı düzeyinde analiz yapılmasına olanak tanımaktadır. Her segment, dönüşümlü konuşma yapısı içinde belirgin bir bilişsel veya duygusal ifade taşıdığından, sadece metin modeller için zengin bir öğrenme sinyali üretmektedir. Üçüncü olarak, bu çalışmanın amacı, daha sonra geliştirilecek multimodal füzyon modellerine temel oluşturacak sağlam ve optimize edilmiş bir metin tabanlı tahmin altyapısı kurmaktır. Bu nedenle ilk aşamada, metnin bağımsız bir modalite olarak depresyon tahmin performansının sınırları detaylı biçimde incelenmiş; farklı metin temsilleri stratejileri, geleneksel NLP temsilleri ve psikodilbilimsel göstergeler karşılaştırılarak metin modalitesinin katkısı bireysel olarak ortaya konmuştur.

Sonuç olarak, metne odaklanmak hem model geliştirme sürecini modüler biçimde yapılandırmış hem de multimodal sistemler için gerekecek temel bileşeni sağlam bir şekilde oluşturmuştur. Metin tabanlı yaklaşımın yüksek yorumlanabilirliği ve granüler segment yapının sağladığı analitik avantajlar, bu seçimin metodolojik tutarlılığını güçlendirmektedir.

2.2. Özellik Çıkarımı

Bu çalışmada segment düzeyindeki klinik konuşma transkriptlerini temsil edebilmek amacıyla hem bağlamsal derin dil modellerine dayanan temsil yöntemleri hem de geleneksel NLP yaklaşımlarına dayalı istatistiksel özellik çıkarım teknikleri birlikte kullanılmıştır. Bağlamsal temsiller için üç farklı Transformer tabanlı model değerlendirilmiştir: BERT-base-uncased, RoBERTa-base ve DistilBERT-base-uncased. Bu modeller, klinik görüşme segmentlerinde yer alan semantik ilişkileri ve bağlamsal ipuçlarını yakalayabilme kapasiteleri nedeniyle tercih edilmiştir. Her bir segment ilgili tokenizer tarafından işlendikten sonra maksimum 128 token uzunluğu içerisinde modele aktarılmış, modelin son gizli katman çıktısı elde edilerek zaman adımları boyunca ortalaması alınmış ve her segmenti temsil eden 768 boyutlu yoğun bir metin temsili elde edilmiştir. RoBERTa, dinamik maskeleme ve daha geniş eğitim veri kümesi sayesinde bağlamsal nüansları daha iyi modelleyebilirken; BERT, çift yönlü dikkat mekanizması sayesinde sözdizimsel ilişkileri güçlü biçimde yakalayabilmekte; DistilBERT ise daha düşük hesaplama maliyetiyle benzer performansı sürdürebilmektedir. Tüm metin temsili çıkarım süreci GPU üzerinde mini-batch işleme ile yürütülmüş ve eğitim, doğrulama ile test setleri için ayrı metin temsili matrisleri üretilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bağlamsal temsillere ek olarak, segmentlerin içerdiği sözlüksel, istatistiksel ve duygusal yapıyı yakalamak amacıyla çeşitli klasik NLP tabanlı özellik çıkarım yöntemleri uygulanmıştır. [8] İlk olarak, segmentlerdeki kelime ve kelime gruplarının önem dağılımını modellemek için word-level TF-IDF (unigram ve bigram), yazım karakteristiklerini ve stilistik yapıları yakalamak için ise character-level TF-IDF (3–5 karakterlik n-gram'lar) üretilmiştir. Kelimelerin ham frekans dağılımlarını modelleyen Bag-of-Words temsilleri de 10.000 özellik sınırı ile oluşturulmuştur. Buna ek olarak, segmentlerin yoğun ve düşük boyutlu bir vektörle temsil edilebilmesi amacıyla 300 boyutlu FastText ortalama metin temsilleri hesaplanmış; böylece alt birimli yapısı sayesinde nadir kelimeleri ve morfolojik varyasyonları temsil edebilen dağıtıksal bir gösterim elde edilmiştir. Ayrıca, konuşmacının psikodilbilimsel ve duygusal profilini yakalamaya yönelik LIWC-benzeri özellikler çıkarılmıştır. Bu özellikler arasında zamir kullanımı, olumsuzluk (negasyon) yapıları, duygusal kelimelerin kullanım sıklıkları, yumuşatıcı ifadeler (hedges), doldurma ifadeleri, metin uzunluğu istatistikleri ve VADER duygu analiz skorları bulunmaktadır. Toplam 14 boyut içeren bu kompakt özellik seti, sözel ifadelere gömülü bilişsel ve duygusal göstergeleri modellemeyi amaçlamaktadır.

Bu kapsamlı temsil havuzu, hem bağlamsal hem istatistiksel hem de psikodilbilimsel düzeyde bilgi içeren çok boyutlu bir metin özelliği altyapısı sağlamış; böylece segment düzeyindeki depresyon düzeyi tahmini için geniş bir modelleme çeşitliliği oluşturulmuştur.

2.3. GRU Tabanlı Kendiliğinden Dikkat (Self-Attention) Ağı

Bu çalışmada katılımcı düzeyinde depresyon şiddetini tahmin etmek amacıyla, segment bazlı metin dizilerini işleyen çift yönlü Gated Recurrent Unit (BiGRU) ve çok başlı kendiliğinden dikkat (multi-head self-attention) mekanizmasını bir araya getiren bir regresyon mimarisi uygulanmıştır. [9] Model, her bir katılımcıyı T_p adet konuşma segmentinden oluşan bir dizi olarak ele almakta ve her segmenti sabit boyutlu bir vektör $x_t \in \mathbb{R}^d$ aracılığıyla temsil etmektedir. Bu yapı, görüşmeler boyunca ortaya çıkan duygu ve içerik dalgalanmalarının zaman içinde nasıl geliştiğini modellemeye yönelik bir çerçeve sunar.

Öncelikle, segment dizisi çift yönlü bir GRU katmanından geçirilerek hem geçmişe hem de geleceğe yönelik bağlam bilgisini içeren bir temsil oluşturulmaktadır. Bu katmanda her segment için ileri yönlü durum $\overrightarrow{h_t}$ ve geri yönlü durum $\overleftarrow{h_t}$ hesaplanmakta, böylece birleşik temsil şu şekilde elde edilmektedir:

$$h_t = [\overrightarrow{h_t}; \overleftarrow{h_t}] \quad (1)$$

Bu iki yönlü yapı, psikolojik içerikli konuşmaların doğasında bulunan kesintili, kısa ve bağlama duyarlı ifadelerin daha isabetli modellenmesine olanak verir. Özellikle E-DAIC veri setine özgü segmentlerin kısa ve heterojen yapısı dikkate alındığında, bu türden bir bağlam genişletme mekanizması model performansı açısından kritik önemdedir.

GRU tarafından üretilen zaman serisi temsilleri daha sonra çok başlı kendiliğinden dikkat katmanına aktarılmaktadır. Bu mekanizma, konuşma dizisindeki her segmenti diğer tüm segmentlerle karşılıklı ilişkiye sokarak bağlamsal önem derecesini öğrenir. Bir başlık için sorgu (Q), anahtar (K) ve değer (V) matrisleri aynı diziden türetilmekte ve dikkat ağırlıkları şu biçimde hazırlanmaktadır:

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$A = softmax\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right) \quad (2)$$

Ardından her başlık için bilgi dağılımı aşağıdaki şekilde tanımlanmakta ve ve tüm başlıkların çıktıları birleştirilerek nihai dikkat temsili elde edilmektedir:

$$Z = AV \quad (3)$$

Bu süreç, modelin depresyon şiddeti açısından daha belirleyici olan segmentlere kendiliğinden daha yüksek ağırlık vermesini sağlar. Böylece model, örneğin duygusal kırılma noktaları, negatif ifadeler, motivasyon kaybı veya klinik olarak önemli dilsel ipuçlarının bulunduğu bölümlere daha fazla odaklanabilmektedir.

Kendiliğinden dikkat çıktıları zaman boyutu boyunca ortalama havuzlama ile tek bir katılımcı temsiline indirgenmekte ve bu temsil bir doğrusal regresyon katmanı aracılığıyla PHQ-8 skoruna eşlenmektedir:

$$\hat{y} = W_r\bar{z} + b_r, \qquad \bar{z} = \frac{1}{T_p}\sum_{t=1}^{T_p} z_t \quad (4)$$

Bu yapı, hem uzun vadeli bağımlılıkların (GRU ile) hem de bağlamsal göreli önem ilişkilerinin (kendiliğinden dikkat ile) aynı çatı altında öğrenilmesine olanak tanır. Depresyon tespiti bağlamında, dilsel ipuçlarının farklı zamanlarda ve farklı yoğunluklarda ortaya çıktığı göz önünde bulundurulduğunda, bu iki bileşenin birleşimi daha esnek, duyarlı ve klinik görüşmelerin yapısına uygun bir tahmin modeli ortaya koymaktadır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada depresyon düzeyinin metin tabanlı tahmini için E-DAIC veri setinin segment yapısı temel alınmış ve tüm deneysel süreç katılımcı düzeyinde bir regresyon problemi olarak yapılandırılmıştır. Görüşmelere ait transkriptler, veri setinin sağladığı zaman damgalı segment sınırları korunarak işlenmiş, her segment farklı metin temsili yöntemleri (TF-IDF tabanlı kelime/karakter n-gramları, BoW, FastText ve çeşitli transformer tabanlı gömme türleri) ile sayısal vektörlere dönüştürülmüştür. Bu farklı temsiller, aynı model mimarisi altında karşılaştırılabilir bir çerçeve oluşturmak üzere bağımsız deneyler şeklinde çalıştırılmıştır. Her bir segment dizisi, katılımcı kimlikleri doğrultusunda birleştirilmiş ve değişken uzunluklu bir zaman serisi olarak modele aktarılmıştır. Eğitim–geliştirme ayrımı, veri setinin özgün bölünmesi korunarak yapılmış; böylece tüm deneyler tutarlı bir değerlendirme protokolüyle yürütülmüştür.

Model eğitimi sırasında her metin temsilinin kendi dağılımsal özelliği ve boyutu için aynı hiperparametre ayarları uygulanmış, böylece performans farklarının modelden değil temsil yöntemlerinden kaynaklanması sağlanmıştır. Tüm deneyler PyTorch ortamında yürütülmüş, eğitim süreci deterministik hale getirilmiş ve her temsil türü için en iyi gelişim performansını veren model ağırlıkları kaydedilmiştir. Sonuç olarak, farklı metin temsillerinin depresyon tahmini üzerindeki etkisi sistematik biçimde incelenmiş ve tüm deneyler ortak bir model, ortak bir eğitim protokolü ve ortak bir değerlendirme metrik seti altında yürütülerek karşılaştırılabilir bir deneysel çerçeve elde edilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

3.1. Performans Metrikleri

Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error, MAE), tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki mutlak farkların ortalamasını ölçer. N adet örnek için y_i gerçek değerleri ve $\hat{y}_i$ model tahminlerini göstermek üzere MAE şu şekilde tanımlanır:

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|y_i - \hat{y}_i| \quad (5)$$

MAE'nin en önemli özelliği, hataları doğrusal biçimde cezalandırmasıdır. Bu nedenle, uç değerlerden (outlier) kaynaklanan tekil büyük hatalara RMSE'ye kıyasla daha az hassastır. Klinik ölçek tahmininde MAE, modelin "ortalama kaç puan yanıldığını" doğrudan ve kolay yorumlanabilir biçimde vermesi açısından kullanışlıdır. Bununla birlikte, MAE hata dağılımının varyansına duyarlı değildir; dolayısıyla tahminlerin dağılımsal uyumunu tek başına tam olarak yansıtmaz.

Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Squared Error, RMSE), kare hata ortalamasının kareköküdür ve hataları karesel biçimde cezalandırır. Tanımı:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (6)$$

RMSE, büyük hataları MAE'ye göre daha fazla büyüttüğü için modelin uç sapmalara karşı davranışını daha duyarlı biçimde ortaya çıkarır. PHQ-8 gibi sınırlı aralıklı ancak klinik yorumlaması olan bir skorda, bazı katılımcıların ciddi şekilde yanlış tahmin edilmesi uygulama açısından daha maliyetli kabul edilebileceğinden RMSE tamamlayıcı bir ölçüttür. Buna karşın RMSE, hata dağılımındaki birkaç büyük sapma nedeniyle hızlı yükselerek genel performans yorumunu tek başına yanıltabilir; bu nedenle MAE ile birlikte raporlanması tercih edilir.

Uyum Korelasyon Katsayısı (Concordance Correlation Coefficient, CCC), tahminlerin gerçek değerlerle ne kadar "uyumlu" olduğunu ölçen bir metriktir. CCC, yalnızca doğrusal ilişkiyi (korelasyonu) değil, aynı zamanda tahminlerin ortalamasının ve varyansının gerçek dağılımla ne ölçüde örtüştüğünü de dikkate alır. Bu özellik, klinik ölçüm tahmini gibi hedef değişkenin ölçeğine sadakat gerektirdiği problemlerde CCC'yi özellikle anlamlı kılar. CCC şu şekilde tanımlanır:

$$CCC = \frac{2\rho\sigma_y\sigma_{\hat{y}}}{{\sigma_y}^2+{\sigma_{\hat{y}}}^2+(\mu_y-\mu_{\hat{y}})^2} \quad (7)$$

Burada μ_y ve $\mu_{\hat{y}}$ sırasıyla gerçek ve tahmin dağılımlarının ortalamalarını, ${\sigma_y}^2$ ve ${\sigma_{\hat{y}}}^2$ varyanslarını, ρ ise Pearson korelasyon katsayısını göstermektedir. Formülden görüldüğü üzere CCC, iki bileşeni birlikte cezalandırır: (i) tahminlerin gerçek değerlerle birlikte artıp azalmasını (korelasyon), (ii) tahminlerin ölçek ve konum olarak gerçek dağılımı takip etmesini (bias ve ölçek uyumu). Örneğin tahminler gerçek değerlerle yüksek korelasyon gösterse bile sistematik olarak daha düşük (veya daha yüksek) tahmin üretiyorsa, $(\mu_y - \mu_{\hat{y}})^2$ terimi CCC'yi düşürür; benzer biçimde tahminlerin varyansı gerçek varyanstan belirgin sapıyorsa paydadaki σ terimleri CCC'yi azaltır. CCC'nin aralığı teorik olarak [−1,1] olup, 1'e yaklaştıkça tahminlerin

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

hem korelasyon hem de kalibrasyon açısından gerçek değerlere yüksek uyum gösterdiği kabul edilir.

Çalışmada metriklerin birlikte raporlanması, depresyon şiddeti tahmininin iki boyutunu aynı anda değerlendirmek içindir. MAE ve RMSE, hata büyüklüğünü doğrudan ölçerek modelin "sayısal doğruluk" seviyesini verirken, CCC tahminlerin gerçek dağılımla uyumunu ve kalibrasyonunu ölçerek "ölçeğe sadakat" ve "tutarlılık" boyutunu değerlendirir. Özellikle katılımcı seviyesi PHQ skoru gibi klinik yorumlaması olan regresyon problemlerinde, yalnızca hata küçüklüğü değil, tahminlerin gerçek skor dağılımını doğru takip etmesi de önem taşıdığından CCC'nin raporlanması temel bir bileşen olarak ele alınmıştır.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çizelge 1'de gösterilen sonuçlar, kullanılan metin temsilinin model performansı üzerinde belirleyici bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bağlamsal dil modellerine dayalı temsillerin, özellikle BERT ve DistilBERT, hem geliştirme hem de test kümesinde en yüksek CCC değerlerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu durum, söz konusu temsillerin klinik görüşme metinlerindeki bağlamsal ve anlamsal ipuçlarını daha etkili biçimde yakalayabildiğini ve GRU kendiliğinden dikkat mimarisinin bu temsillerden anlamlı zaman serisi örüntüleri öğrenebildiğini düşündürmektedir. Ayrıca dev ve test sonuçları arasındaki görece sınırlı performans düşüşü, modelin genelleme kapasitesinin tatmin edici düzeyde olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 10. Özelliklerin performans karşılaştırılması

Özellik	Dev_RMSE	Dev_MAE	Dev_CCC	Test_RMSE	Test_MAE	Test_CCC
Bert	**4,671**	**3,602**	**0,552**	5,394	4,415	0,479
Bow	5,365	4,511	0,202	5,997	4,928	0,203
char_tfidf	5,025	3,954	0,335	5,984	4,873	0,282
distilbert	4,879	3,790	0,450	**5,265**	**4,343**	**0,506**
fasttext	5,355	4,434	0,295	5,945	4,802	0,301
Psy	7,140	5,816	0,132	7,502	6,211	0,052
roberta	5,507	4,212	0,328	5,899	4,559	0,385
word_tfidf	5,325	4,519	0,220	5,772	4,769	0,240

Buna karşılık, BoW, word-level TF-IDF ve char-level TF-IDF gibi istatistiksel metin temsillerinin daha düşük CCC değerleri ürettiği görülmüştür. Bu temsiller, kelime sıklığına dayalı olmaları nedeniyle bağlamsal bilgi içermemekte ve segmentler arası anlamsal sürekliliği sınırlı biçimde yansıtmaktadır. Benzer şekilde, FastText tabanlı ortalama kelime gömme

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

vektörleri, kelime düzeyinde anlamsal bilgi sunsa da, bağlamdan bağımsız yapıları nedeniyle bağlamsal dil modellerine kıyasla daha zayıf sonuçlar üretmiştir.

Psikodilbilimsel ve duygu temelli özelliklerden oluşan psy temsilleri ise tüm metrikler açısından en düşük performansı göstermiştir. Bu durum, bu tür özelliklerin tek başına klinik depresyon şiddetinin sürekli değerli tahmini için yeterli ayırt ediciliğe sahip olmadığını, ancak daha kapsamlı modellerde tamamlayıcı bir rol üstlenebileceğini düşündürmektedir. Genel olarak sonuçlar, GRU kendiliğinden dikkat mimarisinin farklı metin temsillerine uyarlanabilir olduğunu, ancak en yüksek performansın bağlamsal temsillerle elde edildiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Çizelge 11. Literatürdeki E-DAIC veri seti ile yapılan çalışmalar

MODEL	MODALİTE	CCC	RMSE	MAE
EF [1]	Metin	0,344	-	-
Bert-CNN & Gated-CNN [3]	Metin+Ses	0,403	6,11	-
Multi-scale Temporal Dilated CNN [10]	Metin+Ses	0,430	5,91	4,39
Hierarchical BiLSTM [4]	Metin+Ses+Görsel	0,442	5,50	-
DepressNet [11]	Metin+Ses+Görsel	0,457	5,36	-
MMDD [12]	Metin+Ses+Görsel	0,466	-	5,21
TensorFormer [5]	Metin+Ses+Görsel	0,493	4,31	-
TIDSM [2]	Metin	0,620	6,06	-
Text-guided CMFR-CMFD [13]	Metin+Ses	0,682	4,39	3,81
MFM-Att [14]	Metin+Ses+Görsel	-	5,17	-
FPT-Former [15]	Metin+Ses+Görsel	-	4,80	4,58
STFN [16]	Ses	-	6,29	5,38
Distilbert-GRU-Attn	Metin	0,505	5,27	4,34

Çizelge 2'de sunulan çalışmalar incelendiğinde, depresyon şiddeti tahmini probleminde kullanılan yöntemlerin büyük ölçüde çok modaliteli (metin–ses–görsel) yapılara yöneldiği görülmektedir. Buna karşılık, yalnızca metin modalitesine dayalı yaklaşımların literatürde daha sınırlı performans sergilediği ve çoğunlukla çok modaliteli yöntemlerin gerisinde kaldığı dikkat

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

çekmektedir. Bu durum, metin tabanlı tahmin probleminin doğası gereği daha zor ve örtük ipuçlarına dayalı bir problem alanı olduğunu göstermektedir.

Bu bağlamda, önerilen DistilBERT-GRU-Kendiliğinden-Dikkat modeli, yalnızca metin modalitesini kullanmasına rağmen 0,51 CCC değerine ulaşarak literatürdeki birçok metin tabanlı çalışmanın belirgin biçimde üzerine çıkmakta ve bazı metin–ses veya metin–ses–görsel tabanlı modellerle karşılaştırılabilir bir performans sergilemektedir. Özellikle erken dönem metin temelli yaklaşımlar olan EF[1] ve benzeri yöntemlerle kıyaslandığında, elde edilen performans artışı, bağlamsal dil temsillerinin ve katılımcı düzeyinde zamansal modellemenin önemini açık biçimde ortaya koymaktadır.

Her ne kadar çok modaliteli yöntemler genel olarak daha yüksek performans değerleri raporlasa da, bu modellerin daha karmaşık mimarilere, daha yüksek hesaplama maliyetlerine ve tüm modalitelerin eksiksiz biçimde elde edilmesine olan bağımlılıkları göz önüne alındığında, önerilen yaklaşım daha sade bir modalite yapısı ile rekabetçi bir denge noktası sunmaktadır. Bu yönüyle çalışma, metin modalitesinin tek başına ele alındığı senaryolarda dahi, uygun mimari ve temsil stratejileri ile klinik açıdan anlamlı sonuçlar üretilebileceğini göstermektedir.

Özellikle bağlamsal transformer tabanlı temsillerin, GRU kendiliğinden dikkat mimarisi ile birleştirilmesi sayesinde, klinik görüşme transkriptlerinde yer alan uzun menzilli anlamsal ve zamansal bağıntıların etkin biçimde modellenebildiği gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, metin tabanlı modellemenin çok modaliteli sistemler için yalnızca yardımcı bir bileşen değil, bağımsız ve güçlü bir temel modalite olarak ele alınabileceğini göstermektedir. Bu durum, ilerleyen çalışmalarda ses ve görsel modalitelerin eklenmesiyle sağlanacak performans artışlarının, halihazırda güçlü bir metin temeli üzerine inşa edilmesine olanak tanımaktadır.

Genel olarak bu çalışma, metin modalitesine dayalı depresyon şiddeti tahmini probleminin zorluğunu göz önünde bulundurarak, basitlik–performans dengesi açısından etkili bir çözüm sunmakta ve çok modaliteli modellere geçiş için sağlam bir başlangıç noktası oluşturmaktadır.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar, kullanılan metin temsilinin model performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu açık biçimde göstermektedir. Özellikle bağlamsal transformer tabanlı temsiller (BERT ve DistilBERT), hem geliştirme hem de test kümelerinde daha yüksek Uyum Korelasyon Katsayısı (CCC) değerleri üretmiş; bu temsillerin klinik görüşme metinlerindeki bağlam bağımlı anlamsal ilişkileri daha etkili biçimde yakalayabildiği gözlemlenmiştir. Buna karşılık, kelime veya karakter frekanslarına dayalı istatistiksel temsiller ile psikodilbilimsel özet özelliklerin performansının görece sınırlı kalması, depresyon şiddeti gibi örtük ve bağlama duyarlı bir hedef değişkenin tahmininde derin bağlamsal bilginin önemini vurgulamaktadır.

Literatürde E-DAIC veri seti üzerinde raporlanan çalışmalar incelendiğinde, en yüksek performansların çoğunlukla metin, ses ve görsel modalitelerin birlikte kullanıldığı çok modaliteli mimarilerle elde edildiği görülmektedir. Bu bağlamda, önerilen yaklaşımın yalnızca metin modalitesi kullanmasına rağmen rekabetçi CCC değerlerine ulaşması dikkat çekicidir. Özellikle erken dönem metin tabanlı yaklaşımlarla karşılaştırıldığında elde edilen performans artışı, bağlamsal dil temsillerinin ve katılımcı düzeyinde zamansal modellemenin metin-odaklı

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

depresyon tahmini için kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca, dev ve test kümeleri arasında gözlemlenen sınırlı performans düşüşü, modelin genelleme kapasitesinin tatmin edici düzeyde olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın temel katkılarından biri, metin modalitesinin tek başına ele alındığı senaryolarda dahi, uygun mimari ve temsil stratejileri ile klinik açıdan anlamlı sonuçlar üretilebileceğini göstermesidir. Önerilen GRU kendiliğinden dikkat mimarisi, farklı metin temsillerine uyarlanabilir esnek bir yapı sunmakta; segment düzeyindeki konuşma içeriğini katılımcı düzeyinde bütünleştirerek, klinik görüşmelerin doğal yapısına uygun bir modelleme yaklaşımı sağlamaktadır. Bu yönüyle çalışma, metin tabanlı depresyon şiddeti tahmininin sınırlarını ortaya koyarken, aynı zamanda daha karmaşık çok modaliteli sistemler için sağlam ve yorumlanabilir bir başlangıç noktası oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, elde edilen bulgular metin modalitesinin çok modaliteli yapılarda yalnızca tamamlayıcı bir bileşen değil, bağımsız ve güçlü bir temel modalite olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. İlerleyen çalışmalarda, bu mimarinin ses ve görsel özelliklerle bütünleştirilmesiyle elde edilecek performans artışlarının, halihazırda optimize edilmiş bu metin temelli altyapı üzerine inşa edilmesi hedeflenmektedir. Bu yaklaşım, hem model karmaşıklığı hem de performans açısından daha dengeli ve ölçeklenebilir depresyon tahmin sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

[1] H. Kaya *vd.*, "Predicting depression and emotions in the cross-roads of cultures, para-linguistics, and non-linguistics", içinde *Proceedings of the 9th International on Audio/Visual Emotion Challenge and Workshop*, 2019, ss. 27-35.
[2] F. Van Steijn, G. Sogancioglu, ve H. Kaya, "Text-based interpretable depression severity modeling via symptom predictions", içinde *Proceedings of the 2022 International Conference on Multimodal Interaction*, 2022, ss. 139-147.
[3] M. Rodrigues Makiuchi, T. Warnita, K. Uto, ve K. Shinoda, "Multimodal fusion of bert-cnn and gated cnn representations for depression detection", içinde *Proceedings of the 9th International on Audio/Visual Emotion Challenge and Workshop*, 2019, ss. 55-63.
[4] S. Yin, C. Liang, H. Ding, ve S. Wang, "A multi-modal hierarchical recurrent neural network for depression detection", içinde *Proceedings of the 9th International on Audio/Visual Emotion Challenge and Workshop*, 2019, ss. 65-71.
[5] H. Sun, Y.-W. Chen, ve L. Lin, "Tensorformer: A tensor-based multimodal transformer for multimodal sentiment analysis and depression detection", *IEEE Trans. Affect. Comput.*, c. 14, sy 4, ss. 2776-2786, 2022.
[6] J. Gratch *vd.*, "The distress analysis interview corpus of human and computer interviews.", içinde *Lrec*, Reykjavik, 2014, ss. 3123-3128.
[7] D. DeVault *vd.*, "SimSensei Kiosk: A virtual human interviewer for healthcare decision support", içinde *Proceedings of the 2014 international conference on Autonomous agents and multi-agent systems*, 2014, ss. 1061-1068.
[8] S. Deo, D. Banik, ve P. K. Pattnaik, "Customized long short-term memory architecture for multi-document summarization with improved text feature set", *Data Knowl. Eng.*, c. 159, s. 102440, 2025.
[9] M. K. Mali *vd.*, "Automatic detection of cyberbullying behaviour on social media using Stacked Bi-Gru attention with BERT model", *Expert Syst. Appl.*, c. 262, s. 125641, 2025.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[10] W. Fan, Z. He, X. Xing, B. Cai, ve W. Lu, "Multi-modality depression detection via multi-scale temporal dilated cnns", içinde *Proceedings of the 9th International on Audio/Visual Emotion Challenge and Workshop*, 2019, ss. 73-80.
[11] G. S. Saggu, K. Gupta, K. Arya, ve C. R. Rodriguez, "Depressnet: A multimodal hierarchical attention mechanism approach for depression detection", *Int J Eng Sci*, c. 15, sy 1, ss. 24-32, 2022.
[12] S. Teng, S. Chai, J. Liu, T. Tateyama, L. Lin, ve Y.-W. Chen, "Multi-modal and multi-task depression detection with sentiment assistance", içinde *2024 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, IEEE, 2024, ss. 1-5.
[13] Z. Chen *vd.*, "Text-guided multimodal depression detection via cross-modal feature reconstruction and decomposition", *Inf. Fusion*, c. 117, s. 102861, 2025.
[14] M. Fang, S. Peng, Y. Liang, C.-C. Hung, ve S. Liu, "A multimodal fusion model with multi-level attention mechanism for depression detection", *Biomed. Signal Process. Control*, c. 82, s. 104561, 2023.
[15] Y. Li *vd.*, "FPT-Former: A Flexible Parallel Transformer of Recognizing Depression by Using Audiovisual Expert-Knowledge-Based Multimodal Measures", *Int. J. Intell. Syst.*, c. 2024, sy 1, s. 1564574, 2024.
[16] Z. Han *vd.*, "Spatial–temporal feature network for speech-based depression recognition", *IEEE Trans. Cogn. Dev. Syst.*, c. 16, sy 1, ss. 308-318, 2023.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Evaluation of OSCORE with EDHOC Key Establishment in Constrained IoT Deployments: Resilience Against Replay and Echo Attacks

M. Serdar AKMANOĞLU
Kastamonu University, msakmanoglu@gmail.com - 0009-0007-7218-7328

Asist. Prof. Ahmet Nusret ÖZALP
Kastamonu University, anozalp@kastamonu.edu.tr - **0000-0003-4882-9216**

ABSTRACT

The rapid expansion of the Internet of Things (IoT) ecosystem has prioritized the need for secure communication in resource-constrained devices. Providing end-to-end security, particularly for Class-1 devices, poses significant challenges due to the high resource consumption of traditional TLS/DTLS protocols. It is demonstrated that a more scalable and sustainable security architecture is offered for Low-Power Wide-Area Networks (LPWAN), such as LoRaWAN and NB-IoT. In terms of security analysis, the protocols incorporate effective protection mechanisms against replay and reflection attacks. This resilience is further supported by formal verifications conducted using tools such as Tamarin Prover. However, while the Echo Option mechanism in OSCORE provides freshness guarantees, its requirement for an additional round-trip increases energy consumption, leaving it vulnerable to Denial-of-Sleep attacks. This study examines the integration of the IETF-standardized OSCORE (RFC 8613) protocol with its lightweight key establishment mechanism, EDHOC (RFC 9528), through a literature-based approach. It is understood that the EDHOC + OSCORE duo significantly reduces network traffic and energy consumption compared to DTLS. It is recommended to avoid the default use of the Echo Option and to activate it only in critical scenarios, such as following a device reboot. Consequently, the combined use of EDHOC and OSCORE emerges as a secure, efficient, and practical solution for constrained IoT deployments.

Keywords: IoT Security, EDHOC, OSCORE, Replay and Reflection Attacks, Denial-of-Sleep, Constrained IoT Devices

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCTION

The rapid transformation in information and communication technologies has positioned Internet of Things (IoT) devices, which connect physical objects to the internet, at the core of modern life. From smart home appliances and industrial sensors to wearable healthcare devices and smart city infrastructures, IoT enhances efficiency, facilitates new services, and streamlines daily operations. Current projections estimate that there will be approximately 39 to 40 billion connected IoT devices worldwide by 2030. Although these figures originate from sources such as IoT Analytics and Transforma Insights, the majority of devices forming the backbone of this ecosystem are categorized as 'constrained devices' (Class-1 and Class-2), which operate on battery power and possess limited processing and memory capacities [1,5]. To standardize communication among these devices, the IETF developed the Constrained Application Protocol (CoAP) as a lightweight alternative to HTTP [1]. The widespread proliferation of IoT networks has proportionally expanded the cyber-attack surface. Constrained devices—particularly those deployed in Industrial Control Systems (ICS), energy grids, smart cities, and healthcare infrastructures—are highly susceptible to attacks such as replay, reflection, and Denial-of-Service (DoS) [2]. In these domains, a security breach is not limited to data loss; it can lead to physical damage, production downtime, and even loss of life. Recent reports indicate that IoT attacks have increased by over 100%; for instance, in 2024, attacks targeting medical devices in the healthcare sector rose by 123%, while the manipulation of robotic arms in manufacturing facilities resulted in millions of euros in damages [2,6,10]. While hacking traffic systems in smart cities can induce chaos, infiltrating water treatment plants poses a direct threat to public health. Consequently, IoT security has transcended being a merely technical issue and has become critical for business continuity, public safety, and economic stability [2,6]. These devices typically operate on Low-Power Wide-Area Networks (LPWAN), such as LoRaWAN and NB-IoT, a market projected to exceed 30 billion dollars by 2029 [5]. However, TLS/DTLS protocols—the cornerstones of traditional internet security—cause significant performance issues in these constrained environments (e.g., 6LoWPAN, LoRaWAN). As frequently emphasized in the literature, the large handshake overhead in DTLS leads to excessive fragmentation, high packet loss, and disproportionate energy consumption in 6LoWPAN networks, which are subject to a 127-byte MTU limit [1]. Mitigate this issue, the IETF developed the OSCORE (RFC 8613) standard, which provides end-to-end security at the application layer [3,11]. By encrypting only the message payload and critical headers, OSCORE enables intermediate nodes (proxies/gateways) to perform routing without accessing the message content. However, the primary constraint of OSCORE is its reliance on a Pre-Shared Key (PSK) between parties, which introduces significant key management challenges in large-scale deployments involving millions of devices [12]. In response, the EDHOC (RFC 9528) protocol, standardized in 2024, comes into play [4,9]. EDHOC highly optimizes the classical Diffie-Hellman key exchange for constrained devices, establishing a secure security

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

context for OSCORE with only a few messages. The combined utilization of these two protocols offers substantial advantages in terms of both performance and security [6,16].

This study examines the resilience and practical implications of EDHOC and OSCORE integration in constrained IoT devices, analyzing performance data and security assessments from existing literature. In particular, the effectiveness of defense mechanisms against replay and reflection attacks, energy efficiency, and operational challenges are discussed. Consequently, this work demonstrates why this protocol pair should be preferred for sustainable and scalable security in constrained environments.

2. BACKGROUND

Research on lightweight security protocols for constrained IoT devices has gained significant momentum in recent years. Initial efforts centered on securing CoAP; for instance, Raza et al. attempted to alleviate the DTLS overhead with 'Lithe' by applying various optimizations, yet demonstrated that the handshake phase remains computationally expensive [2]. Granjal's 2015 review provided a broad perspective on IoT security protocols, detailing the performance bottlenecks of DTLS in constrained environments and paving the way for application-layer solutions [10]. Following the standardization of OSCORE, Selander et al. highlighted the protocol's proxy-friendly architecture, its overhead reduction via partial Initialization Vectors (IV), and the utilization of AEAD [3,11]. Regarding key management, Park et al. discussed the challenges of the Pre-Shared Key (PSK) approach in large-scale deployments [12]. Analysis deepened with the emergence of EDHOC. Norrman's 2021 study examined early drafts using Tamarin Prover, proving features such as forward secrecy while identifying certain identity-binding weaknesses, thereby directly contributing to the standardization process [17]. More comprehensive automated analyses conducted by Jacomme and Kremer in 2023 modeled various authentication methods and verified the protocol's resilience in edge cases [7,15]. Furthermore, Hristozov et al. performed measurements on actual hardware (Cortex-M series), providing concrete figures that show the EDHOC + OSCORE combination reduces flash and RAM consumption by 35-40% and significantly lowers energy consumption [14]. In 2024, research focused on replay protection. Höglund, Tiloca, et al. scrutinized OSCORE's Echo mechanism, discussing how the additional message exchange required for freshness guarantees increases energy consumption and facilitates Denial-of-Sleep attacks, while proposing alternatives like OSCORE-NG to overcome these issues [8]. Additionally, Palombini et al. integrated EDHOC with Group OSCORE, emphasizing how they reduced message sizes in group communications and ensured compliance with duty cycle restrictions in LPWANs [6,16].

2.1. THREAT MODEL

he threat model established in this study assumes an active adversary operating within Low-Power Wide-Area Networks (LPWAN), such as LoRaWAN or NB-IoT. The adversary is capable of eavesdropping, modifying, and injecting fraudulent packets, as well as orchestrating replay and reflection attacks via Man-in-the-Middle (MitM) positioning between endpoints. Communication occurs across a multi-hop LPWAN topology through a gateway. To ensure the realism of the attacks, operational constraints such as frequent device reboots for energy

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

conservation, weak clock synchronization, and limited bandwidth are accepted as preconditions. Real-world examples validate this approach: while replay attacks on industrial smart meters compromise data integrity leading to fraudulent billing, reflection attacks in agricultural sensor networks can congest the network through identity spoofing [5,6]. This model enables a realistic evaluation of the impact of mechanisms like the Echo Option on energy consumption and the associated Denial-of-Sleep risks, allowing defense strategies to be tested under these specific conditions. Throughout the literature, there is a distinct evolution from the inadequacies of DTLS toward OSCORE's application-layer security, and subsequently toward dynamic key establishment with EDHOC. Research spans a broad spectrum, ranging from performance metrics and formal verifications to real-device testing and attack scenarios; the consensus is that the EDHOC + OSCORE duo represents the most balanced and promising solution for constrained environments. This synthesis consolidates existing findings to derive practical implementation recommendations.

2.2. OSCORE ARCHITECTURE

OSCORE secures CoAP message traffic by leveraging the lightweight compression and encryption capabilities provided by the CBOR (Concise Binary Object Representation) and COSE (CBOR Object Signing and Encryption) standards. The fundamental distinction that separates this protocol from traditional TLS/DTLS solutions is that it provides true end-to-end protection by shifting the security layer from the transport layer to the application layer. Within this architecture, data remains encrypted from the moment it leaves the source until it reaches its final destination. OSCORE offers a significant operational advantage, particularly in multi-hop network topologies involving proxy servers: intermediate nodes can read the header information necessary for message routing, while they remain strictly unable to access the encrypted payload. This enables the preservation of data confidentiality and integrity, independent of the network's trustworthiness [5]. The architecture of OSCORE establishes a proxy-friendly structure by bifurcating CoAP messages into 'Outer' and 'Inner' classes; this separation ensures that options required for routing remain visible while guaranteeing that critical data is protected via COSE [11]. The protocol's use of partial Initialization Vectors (IV) reduces overhead by preventing the transmission of full sequence numbers and facilitates efficient freshness tracking in constrained devices [13]. In practical implementations, the integration of OSCORE's AEAD (Authenticated Encryption with Associated Data) algorithms with hardware acceleration delivers robust security without compromising performance [10].

2.3. EDHOC PROTOCOL AND SIGMA-I STRUCTURE

The Sigma-I-based design of EDHOC provides robust identity protection by encrypting the responder's identity in *message_2*; this feature preserves identity confidentiality against passive adversaries [4]. The protocol's voucher or certificate-based authentication methods offer adaptability to diverse deployment scenarios (Vucinic et al., 2020). Furthermore, the key confirmation steps within the three-message flow enhance the protocol's robustness by preventing reflection attacks [12]. Fundamentally, EDHOC is a highly compact variation of the SIGMA-I (Sign-and-MAC) key exchange model, specifically optimized for constrained IoT

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

devices. Its primary function is to perform mutual authentication between two resource-constrained endpoints and to reach an agreement on the session keys necessary for secure communication. To keep the processing overhead at a minimum, the protocol consists of three strictly structured fundamental message flows:

- **Message_1:** The stage where the initiator transmits its supported cryptographic suites and key exchange information to the responder.
- **Message_2:** A critical step in which the responder sends its own key material, simultaneously authenticates the counterparty, and finalizes the session parameters.
- **Message_3:** The final phase where the initiator proves its identity to the responder and successfully concludes the handshake process.

Upon the successful completion of this three-step process, the 'Master Secret' and 'Master Salt' data, essential for OSCORE communication, are securely derived between the parties.

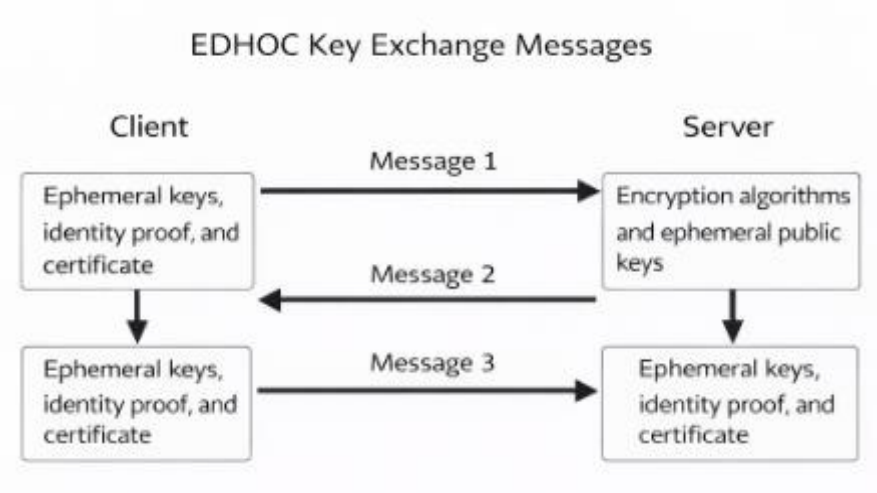


Figure 1. EDHOC Protocol Message Flow Diagram

2.4. INTEGRATION OF EDHOC AND OSCORE

2.4.1. NETWORK TRAFFIC AND EFFICIENCY

In the context of constrained network (LPWAN) structures such as LoRaWAN or NB-IoT, every byte transmitted over-the-air directly impacts battery life and network capacity. The data presented in the table substantially demonstrate the significant difference offered by the EDHOC and OSCORE duo. Specifically, regarding over-the-air traffic, while the DTLS 1.3 protocol imposes a 'massive' overhead of 1000–1500 bytes during the handshake process for constrained devices, EDHOC reduces this value to a range of 200–300 bytes. This five-fold difference is primarily attributed to the elimination of redundant metadata and the utilization of the CBOR-based compression mechanism. Consequently, messages can fit into a single frame in narrowband networks, nearly eliminating the risk of packet fragmentation and loss. EDHOC's CBOR encoding maintains message sizes between 100 and 200 bytes, thereby preventing fragmentation in low-MTU networks such as 6LoWPAN (Bormann & Ersue, 2020). In integration with OSCORE, the per-message overhead remains around 20–30 bytes, ensuring

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

cumulative traffic savings in long-term communications [11]. Comparative analyses reveal that this combination is more compliant with duty cycle restrictions in LoRaWAN deployments [10]. Detailed measurements of OSCORE and EDHOC implementations on constrained microcontrollers indicate low resource consumption in both standard versions and TEE-supported versions like TrustZone-M. Particularly on ARM Cortex-M-based devices, the energy cost and flash usage of the EDHOC handshake are significantly reduced compared to traditional solutions, while OSCORE's per-message operations require minimal CPU cycles [14]. By considering MTU constraints in low-power radio technologies, EDHOC and Group OSCORE protocols minimize message sizes, reduce fragmentation costs, and provide scalable security for long-lived IoT applications [16]. As expected, this data efficiency directly correlates with energy consumption. An examination of the table shows that while DTLS consumes approximately 50–70 mJ per message, the integration of EDHOC and OSCORE reduces this cost to levels of 10–20 mJ. This represents an improvement in total energy consumption of between 60% and 70%. In summary, this protocol transition is not merely a technical modernization; it is a strategic choice that enables constrained devices to remain operational in the field for much longer durations, with less data loss and enhanced security.

Table 1. Efficiency Comparison of EDHOC/OSCORE

Metric	**EDHOC / OSCORE**	**DTLS 1.3 + CoAP**	**Reduction Rate**
Network Traffic (byte over the air)	~200 - ~300 bytes/handshake	~1000 - ~1500 bytes/handshake	~ 5x
Energy Consumption (mJ/mesaj)	~10 - ~20 mJ	~50 - ~70 mJ	%60 - %70

2.4.2. FORMAL SECURITY VERIFICATION

EDHOC and OSCORE do not compromise security for the sake of performance. Studies in the literature have mathematically modeled the EDHOC protocol using the Tamarin Prover tool, proving the following properties of EDHOC [7]:

- Perfect Forward Secrecy (PFS): If the long-term keys are compromised, past communications cannot be decrypted.
- Key Independence: The compromise of a single session key does not affect the security of other sessions.

However, there is a potential for vulnerability in edge cases, such as identity-binding errors or re-keying negotiations involving Man-in-the-Middle (MitM) attacks [7]. A comprehensive automated analysis of EDHOC's various authentication methods and options—conducted with

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Tamarin and other tools—has verified the properties of secrecy, authentication, and forward secrecy. These analyses emphasize that even the *draft-12* version of the protocol ensures robustness in edge-case scenarios, though certain combinations of options require careful consideration [15]. The symbolic modeling of early EDHOC versions with Tamarin proved that the protocol provides perfect forward secrecy and implicit authentication across all key establishment methods. Conversely, it identified a lack of injective agreement in some methods and potential identity misbinding weaknesses; these findings directly contributed to the standardization process [17].

2.5. DEFENSE MECHANISMS AGAINST REPLAY ATTACKS

2.5.1. Sliding Window MECHANISM

The OSCORE protocol utilizes a default Replay Window mechanism to ensure network security. In this system, rather than employing a complex verification process, the receiver performs dynamic monitoring by storing the sequence numbers of recently received valid packets within a sliding window in its memory. If the sequence number of an incoming packet falls behind this window or is already marked as 'processed' within the window, the packet is treated as an attack attempt or a network error. Consequently, suspicious packets are rejected immediately without reaching the application layer or consuming significant system resources. However, this protection method introduces certain operational risks for resource-constrained devices. Specifically, for devices that frequently enter sleep mode to conserve energy or undergo unexpected reboots, the replay window information stored in RAM may be volatile. When a device reboots or enters deep sleep, the window information maintained in volatile memory is lost. Upon restarting, an adversary can exploit this by transmitting a previously captured packet with a high sequence number. This can force the device's counters to skip forward, causing all subsequent legitimate packets with lower sequence numbers to be rejected, thereby resulting in a Denial-of-Service (DoS) condition. Such scenarios facilitate vulnerabilities where attackers can mislead the system with stale packets or impede legitimate communication through service disruption.

2.5.2. ECHO OPTION AND FRESHNESS GUARANTEE

In scenarios where the sliding window mechanism proves insufficient—particularly when the replay window is reset following a device reboot—the OSCORE protocol utilizes the 'Echo' option. To verify the freshness of an incoming request, the server issues an error response to the client (typically *4.01 Unauthorized*), embedding a randomly generated nonce within the Echo option. The client is then required to return this nonce encrypted in its subsequent request; thus, even if an adversary attempts to replay a stale packet, they cannot pass verification without knowledge of the current nonce, and the packet is rejected [3,8]. While this mechanism reinforces freshness guarantees, it necessitates an additional round-trip, thereby increasing network traffic and latency. In resource-constrained IoT devices, this overhead can significantly elevate energy consumption. Especially for Class-1 devices where battery life is critical, frequent triggering of the Echo option may keep the radio module active, facilitating 'Denial-of-Sleep' attacks—where an attacker forces the Echo process using forged or partial IVs to

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

prevent the device from entering sleep mode [8]. Consequently, it is more pragmatic to employ the Echo option exclusively for high-security critical operations or during the initial synchronization following a reboot; otherwise, counter-based windowing may suffice for routine communication. Recent studies propose alternatives such as OSCORE-NG to mitigate this overhead, providing robust freshness without the need for an extra round-trip and effectively eliminating the Denial-of-Sleep vulnerability [8].

2.5.3. DENIAL-OF-SLEEP VULNERABILITY AND ENERGY COST

Since the Echo option in OSCORE requires an additional round-trip between the client and server to ensure freshness, it leads to significant energy consumption, particularly in battery-powered Class-1 devices. Based on the literature review, it is inferred that energy consumption increases because the Echo mechanism activates the device's radio module and necessitates multiple message exchanges upon each invocation. An adversary can execute a 'Denial-of-Sleep' attack by repeatedly transmitting a valid request or forcing the triggering of the Echo option with a forged Partial IV, thereby keeping the device continuously awake. Consequently, it is concluded that the Echo option should be utilized in a controlled manner and reserved exclusively for critical operations with high-security requirements [8]. The triggering of the Echo option increases battery depletion by raising the radio duty cycle; measurements indicate that frequent use of Echo can increase energy costs by 30% to 50% [10]. Manipulation of the partial IV by attackers to force the Echo process prevents transitions to sleep mode, creating a denial-of-sleep condition [11]. Alternative freshness mechanisms support the replay window with persistent storage to mitigate this cost [12]. While the current replay protection in OSCORE provides freshness guarantees dependent on the Echo option, it remains susceptible to denial-of-sleep attacks; conversely, the proposed OSCORE-NG variant eliminates this vulnerability and reduces communication overhead by utilizing a more robust timestamp-based nonce without the need for an additional round-trip [8].

2.6. REFLECTION ATTACKS AND AUTHENTICATION

The OSCORE security context established via EDHOC utilizes unique identifiers for each endpoint: the Sender ID and Recipient ID. As specified in the RFC 9668 standard, encryption keys are derived by combining these identifiers with the 'Master Secret' [9]. For instance, a message sent from one device (Device A) to another (Device B) is encrypted using Device A's 'Sender Key.' If an adversary attempts to reflect this message back to Device A, the device will try to decrypt it using its 'Recipient Key' (which corresponds to Device B's key). However, since the message was originally encrypted with Device A's key, the AEAD (Authenticated Encryption with Associated Data) decryption process will fail, and the packet will be rejected before ever reaching the application layer.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

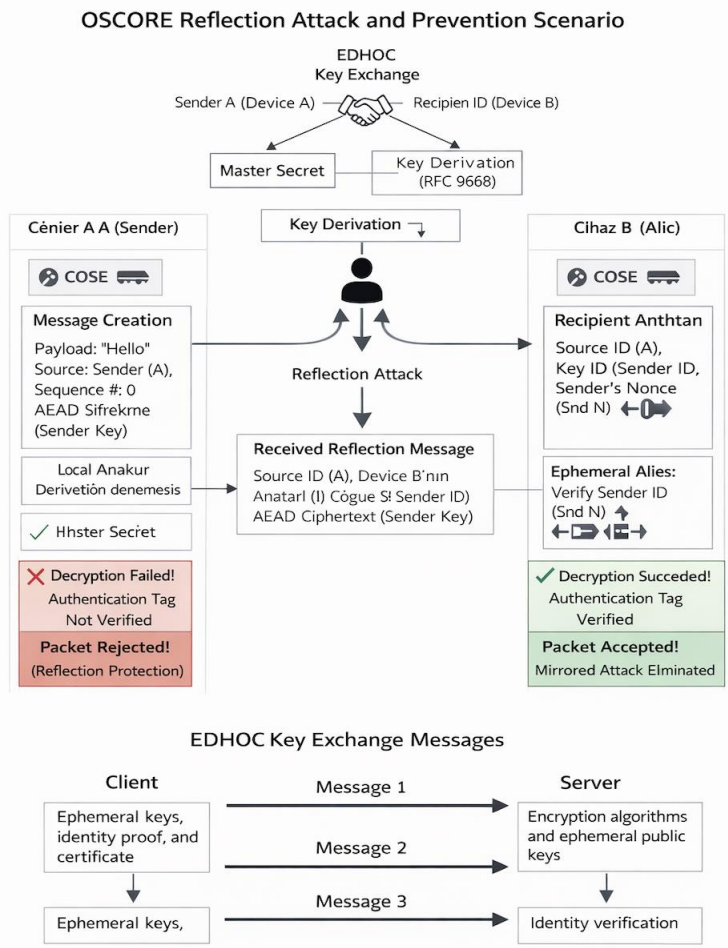


Figure 2. OSCORE Reflection Attack and Mitigation Scenario

2.7. PERFORMANCE AND RESOURCE CONSUMPTION EVALUATION

2.7.1. Memory (RAM and Flash) Usage

Memory consumption is a critical parameter for constrained IoT devices. Measurements conducted on Class-1 devices during the literature review indicate that compiling the full EDHOC + OSCORE stack results in a Flash footprint of approximately 78–92 KiB and a runtime RAM consumption of about 8–11 KiB. These values offer a memory footprint that is 35–40% lower than the 120–150 KiB of Flash and 14–18 KiB of RAM required by DTLS 1.3 + CoAP implementations on the same devices [6].

Table 2. Hardware Resource Consumption Analysis by Protocol

Protocol	Flash (KiB)	RAM (KiB)
EDHOC + OSCORE	78 - 92	8 - 11
DTLS 1.3 + CoAP	120 -150	14 -18

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2.7.2. Processor Load and Latency

The EDHOC handshake utilizes asymmetric cryptographic algorithms, with Curve25519 or NIST P-256 curves being the most commonly preferred options. Tests conducted on Cortex-M4 processors demonstrate that the EDHOC handshake duration typically ranges within a few hundred milliseconds. Given that this process occurs only once at the initiation of the session, this latency is considered acceptable. Since the subsequent OSCORE communication relies on symmetric encryption (AES-CCM), the computational load on the processor is negligible, making it highly suitable for real-time applications.

3. CONCLUSIONS AND EVALUATION

This literature review demonstrates that the EDHOC + OSCORE protocol suite consumes significantly fewer resources and substantially reduces network traffic compared to DTLS/TLS in resource-constrained IoT devices. Consequently, it is understood that secure and scalable communication can be effectively achieved in Low-Power Wide-Area Networks (LPWAN) such as LoRaWAN and NB-IoT. From a security perspective, these protocols exhibit high resilience against replay and reflection attacks, a finding further substantiated by formal verifications conducted using the Tamarin Prover. However, the uncontrolled use of the Echo Option in OSCORE increases energy consumption and may facilitate Denial-of-Service (DoS) attacks. Therefore, it is concluded that instead of maintaining the Echo mechanism as a default setting, it should only be activated during critical operations where it is strictly necessary. Furthermore, monitoring emerging drafts such as OSCORE-NG and, where possible, integrating hardware-based cryptographic accelerators will significantly enhance overall performance.

REFERENCES

[1] Shelby, Z., Hartke, K. ve Bormann, C., The Constrained Application Protocol (CoAP), RFC 7252, IETF, 2014.

[2] Raza, S., Shafagh, H. ve Voigt, T., Lithe: Lightweight Secure CoAP for the Internet of Things, IEEE Sensors Journal, 13(10), 3711-3720, 2013.

[3] Selander, G., Mattsson, J., Palombini, F. ve Seitz, L., Object Security for Constrained RESTful Environments (OSCORE), RFC 8613, IETF, 2019.

[4] Selander, G., Mattsson, J. ve Palombini, F., Ephemeral Diffie-Hellman Over COSE (EDHOC), RFC 9528, IETF, 2024.

[5] Raza, S., Kulkarni, P. ve Sooriyabandara, M., Low Power Wide Area Networks: An Overview, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 19(2), 855-873, 2016.

[6] Palombini, F., Tiloca, M. ve Hahm, O., Secure Communication for the IoT: EDHOC and (Group) OSCORE Protocols, IEEE Internet of Things Journal, 2024.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

[7] Jacomme, C., Kremer, S. ve Panwar, S., A Comprehensive, Formal and Automated Analysis of the EDHOC Protocol, 32nd USENIX Security Symposium (USENIX Security 23), 2023.

[8] Höglund, R., Tiloca, M. ve Fardan, N., More Lightweight, yet Stronger: Revisiting OSCORE's Replay Protection, Network and Distributed System Security (NDSS) Symposium, 2024.

[9] Selander, G., Mattsson, J. ve Palombini, F., RFC 9668: Using Ephemeral Diffie-Hellman Over COSE (EDHOC) with the Constrained Application Protocol (CoAP) and Object Security for Constrained RESTful Environments (OSCORE), IETF, 2024.

[10] Granjal, J., Monteiro, E. ve Silva, J. S., Security for the Internet of Things: A Survey of Existing Protocols and Open Research Issues, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17(3), 1294-1312, 2015.

[11] Selander, G., Mattsson, J., Palombini, F. ve Seitz, L., Object Security for Constrained RESTful Environments (OSCORE), RFC 8613, 2019.

[12] Park, S., v.d., A Survey on Key Management Architecture in IoT Context, 2021.

[13] Mattsson, J. P., v.d., CBOR Object Signing and Encryption (COSE): Structures and Algorithms, 2022.

[14] Hristozov, S., Huber, M., Xu, L., Fietz, J., Liess, M. ve Sigl, G., The Cost of OSCORE and EDHOC for Constrained Devices, 2021.

[15] Jacomme, C., Klein, E., Kremer, S. ve Racouchot, M., A Comprehensive, Formal and Automated Analysis of the EDHOC Protocol, 2023.

[16] Höglund, R., Tiloca, M., Selander, G., Mattsson, J. P., Vučinić, M. ve Watteyne, T., Secure Communication for the IoT: EDHOC and (Group) OSCORE Protocols, 2024.

[17] Norrman, K., Sundararajan, V. ve Bruni, A., Formal Analysis of EDHOC Key Establishment for Constrained IoT Devices, 2021.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

A TWO-STAGE CNN AND REINFORCEMENT LEARNING SYSTEM FOR RGB-BASED PLANT STRESS DIAGNOSIS AND ACTION RECOMMENDATION

Muharrem ŞİMŞEK

Maltepe University – 210706001@st.maltepe.edu.tr - 0009-0002-4850-4761

Alp SALCIOĞLU

Maltepe University – 220706016@st.maltepe.edu.tr - 0009-0002-4581-2544

Assistant Professor, Ayşe SALMAN

Maltepe University – aysesalman@maltepe.edu.tr - 0000-0003-2649-3061

ABSTRACT

Precision agriculture is pivotal for enhancing crop yields and ensuring global food security, yet its adoption is often hindered by the high cost of technologies like drones and specialized sensors. This study proposes a cost-effective, two-stage deep learning framework that leverages standard RGB photographs for automated plant stress detection and corrective action recommendation. The system first employs a Convolutional Neural Network (CNN), specifically a MobileNetV3Large architecture, to classify plant species and identify health status from a leaf image. The output from the CNN, representing the plant's state, is then fed into a Reinforcement Learning (RL) agent. This agent, trained using Proximal Policy Optimization (PPO), recommends an optimal, cost-effective action from a predefined set of agricultural interventions. The RL model is trained through a sophisticated reward function that penalizes incorrect or costly actions and rewards accurate, timely recommendations, thereby optimizing for both agricultural efficacy and economic viability.

The framework was developed and validated using the Kaggle OLID I dataset, which contains 4,749 high-resolution images of 8 different plant species with 20 distinct stress types, including biotic and abiotic factors. The CNN model achieved a high accuracy of 96% in plant species classification and a promising 72% accuracy in the more complex task of stress identification. The RL agent, trained for 100,000 timesteps, demonstrated a consistent, albeit conservative, decision-making strategy, predominantly favoring a balanced NPK fertilizer application. While the agent's optimal action rate averaged 5.50%, the results establish a strong proof-of-concept for using a cascaded CNN-RL architecture as an accessible and scalable alternative to expensive hardware, democratizing precision agriculture for a wider range of users.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Keywords: Precision Agriculture, Deep Learning, Convolutional Neural Network, Reinforcement Learning, Plant Disease Detection, Computer Vision, Low-Cost Agriculture.

1. INTRODUCTION

The escalating global population places unprecedented pressure on agricultural systems to increase productivity and ensure food security. Plant stress, arising from both biotic factors like pests and diseases and abiotic factors such as nutrient deficiencies, poses a significant threat to this goal. It is estimated that crop yield losses due to pests and pathogens can range from 26.3% to 40.3%, with insects alone accounting for a 13% loss in global agricultural yield (Oerke, 2006). Furthermore, nutritional deficiencies can reduce crop yields by as much as 70%, jeopardizing the food security of billions (Francini & Sebastiani, 2019).

Precision agriculture has emerged as a critical strategy to mitigate these losses by enabling targeted interventions, optimizing resource use, and enhancing sustainability (Mavridou et al., 2019). Conventional precision agriculture often relies on sophisticated and costly technologies, including multispectral sensors, thermal cameras, and unmanned aerial vehicles (drones). While effective, the high capital investment and operational complexity of these tools create a significant barrier to entry, particularly for small-scale farmers and agricultural communities in developing regions. This technological divide limits the widespread adoption of data-driven farming practices, perpetuating a cycle of suboptimal yields and resource inefficiency.

1.1. Problem Statement

The core problem addressed in this research is the inaccessibility of advanced agricultural monitoring technologies for a majority of farmers due to their high cost. There is a pressing need for a low-cost, scalable, and user-friendly alternative that can provide actionable insights for plant health management. The ubiquity of smartphones equipped with high-quality RGB cameras presents a unique opportunity to develop such a solution. By leveraging the power of computer vision and artificial intelligence, it is possible to analyze standard digital photographs of plant leaves to diagnose stress and recommend appropriate corrective actions, thereby democratizing precision agriculture.

1.2. Objective and Scope

The primary objective of this study is to design, implement, and evaluate a two-stage deep learning framework for automated plant stress detection and action recommendation using only

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

RGB leaf images. The framework is intended to serve as a proof-of-concept for a low-cost decision support system.

The scope of this project is defined by the following key components:

Stage 1: Detection. A Convolutional Neural Network (CNN) is trained to perform multi-task classification, identifying both the plant species and its specific health status (e.g., healthy, nitrogen deficiency, mite infestation) from a single leaf image.

Stage 2: Recommendation. A Reinforcement Learning (RL) agent is developed to take the CNN's classification output as a state and recommend a corrective action from a predefined set of agricultural interventions.

Dataset. The system is trained and evaluated on the Kaggle OLID I dataset, which features 8 plant species and 20 unique stress conditions, including multi-label scenarios.

Evaluation. The performance of both the CNN classifier and the RL agent is rigorously analyzed using quantitative metrics, including accuracy, precision, recall, and a custom reward function that balances agricultural efficacy with economic cost.

1.3. Contribution

This research makes a significant contribution by presenting a novel, integrated CNN-RL architecture for agricultural decision support. Unlike systems that only perform disease detection, our framework closes the loop by providing an immediate, actionable recommendation. By demonstrating the viability of this approach using standard RGB images, this work paves the way for the development of accessible mobile applications that can empower farmers worldwide with the tools of precision agriculture, without the need for expensive, specialized hardware. The modular design allows for independent improvements in either the perception or decision-making components, offering a flexible and extensible platform for future research in low-cost smart farming.

2. BACKGROUND AND LITERATURE REVIEW

2.1. Plant Stress in Agriculture

Plant stress refers to adverse conditions that reduce a plant’s growth and physiological performance (Lichtenthaler, 1996). Stressors are commonly grouped as biotic (e.g., fungi, bacteria, viruses, insects) and abiotic (e.g., drought, temperature extremes, salinity, nutrient deficiencies) (Mosa et al., 2017). If not detected and managed early, stress can cause severe damage, reduce yield, and in prolonged cases lead to irreversible loss. Therefore, timely and accurate stress identification is critical for effective agricultural management.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2.2. Artificial Intelligence in Precision Agriculture

AI has become a key enabler of precision agriculture by supporting data-driven monitoring and decision-making (Linaza et al., 2021). In particular, deep learning with **Convolutional** Neural Networks (CNNs) has shown strong performance in image-based agricultural tasks such as disease detection, weed classification, and yield-related estimation from field images (Dhanya et al., 2022). These approaches can improve resource efficiency by guiding targeted use of water, fertilizers, and pesticides.

2.3. Public Datasets for Plant Stress Recognition

Robust plant-stress models require large, well-annotated datasets. PlantVillage (Hughes et al., 2015) has been widely used, but many datasets still lack crop diversity and do not fully reflect real-world variability or multiple co-occurring stress factors (Tan et al., 2021). This study uses the **Open Leaf Image Dataset (OLID I)** (Orka et al., 2023a), which contains **4,749** high-resolution leaf images from **eight crops** and includes both biotic and abiotic stress conditions. OLID I is notable for its broad class coverage and its **multi-label** setting, where a single leaf may show multiple stress symptoms (Orka et al., 2023b), making it suitable for developing and benchmarking practical recognition systems.

2.4. Reinforcement Learning for Decision Support Systems

CNNs can identify patterns and classify stress types but do not directly recommend interventions. **Reinforcement Learning (RL)** addresses this gap by learning an action policy that maximizes cumulative reward through interaction and feedback. In agricultural decision support, RL can optimize intervention choices (e.g., watering or fertilizer application) by considering the crop state, action cost, and expected outcomes over time. Framing intervention selection as an RL task enables a pipeline that not only diagnoses stress but also recommends cost-aware actions.

3. METHODOLOGY

This chapter details the technical methodology employed to develop the two-stage framework for plant stress detection and action recommendation. It covers the overall system architecture, the dataset and preprocessing steps, the design of the CNN-based detection model, and the formulation of the RL-based action recommendation model.

3.1. System Architecture

The proposed system is a two-stage pipeline that integrates a Convolutional Neural Network (CNN) for perception and a Reinforcement Learning (RL) agent for decision-making. This

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

decoupled architecture allows each component to be specialized for its task, creating a modular and interpretable framework. The workflow is illustrated in Figure 1.

1. Image Input: The process begins with a user providing an RGB image of a plant leaf.

2. Stage 1 - CNN Classifier: The image is fed into a pre-trained CNN model. The CNN processes the image and outputs a probability distribution for the plant's species and its health/stress condition. This classification serves as the "state" representation of the environment.

3. Stage 2 - RL Agent: The state vector from the CNN is passed to the RL agent. The agent, having been trained to maximize long-term rewards, evaluates this state and selects the most appropriate corrective action from a predefined action space.

4. Action Output: The system presents the recommended action (e.g., "Apply Nitrogen Fertilizer," "Use Fungicide") to the user as the final output.

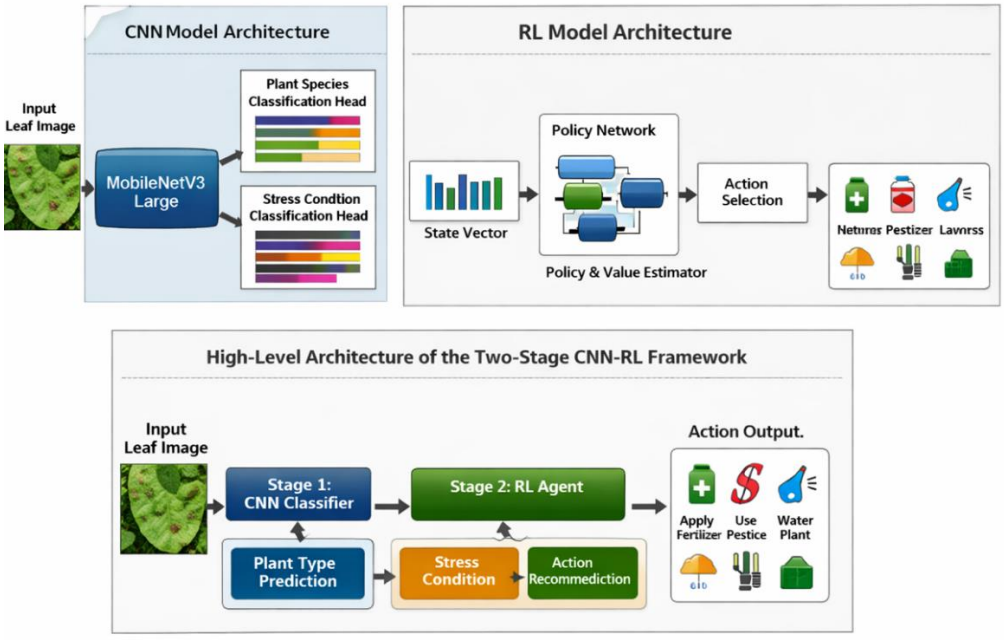


Figure 1. High-Level Architecture of the Two-Stage CNN-RL Framework

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

3.2. DATA COLLECTION AND PREPROCESSING

3.2.1. The OLID I Dataset

This study exclusively utilizes the Open Leaf Image Dataset (OLID I), a publicly available collection on Kaggle (Orka et al., 2023a). The dataset was chosen for its high quality, expert annotation, and relevance to the project's goals. According to the dataset's description, it addresses a critical data shortage for tropical and subtropical crops and introduces a novel multi-label classification challenge.

The key characteristics of the OLID I dataset are:

Content: It contains 4,749 high-resolution (3024x3024 pixels) RGB images of plant leaves.

Diversity: The dataset covers 8 different plant species: tomato, eggplant, cucumber, bitter gourd, snake gourd, ridge gourd, ash gourd, and bottle gourd.

Classes: It is organized into 57 unique classes, which are combinations of plant species and stress types. This includes 20 distinct stress conditions, encompassing both biotic (e.g., mite infestation, downy mildew) and abiotic (e.g., nitrogen, potassium deficiency) factors. The dataset is notable for its multi-label classes, such as 'N_K' for combined Nitrogen and Potassium deficiency, or 'JAS_MIT' for co-infestation by Jassids and Mites.

Annotation: The images were captured in natural field settings and meticulously labeled by an expert panel, ensuring a high degree of ground-truth accuracy. The creators note that a dual approach of perceptual and laboratory analysis was used for labeling, which enhances the reliability of the annotations (Orka et al., 2023b).

The use of this dataset allows the model to be trained on a wide variety of real-world conditions, enhancing its generalizability and practical utility.

3.2.2. Data Splitting and Preprocessing

The dataset was preprocessed and partitioned to support model training and evaluation. All images were resized to 224×224 pixels to match the input requirements of the selected CNN backbone and to improve computational efficiency. Pixel intensities were normalized to the [0, 1] range.

A total of 4,749 images were split into three subsets to enable training, hyperparameter tuning, and unbiased testing. Specifically, 3,332 images (70.2%) were used for training, 947 images (19.9%) for validation, and 470 images (9.9%) for the final test set.

Given the class imbalance reported for the OLID I dataset (Orka et al., 2023b), data augmentation was applied only to the training split to improve generalization. Augmentations included random horizontal/vertical flips, small rotations, and moderate zoom transformations. This procedure increases the effective sample diversity and reduces overfitting to majority classes, improving robustness on unseen images.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

3.3. CNN-Based Disease Detection Model

3.3.1. Model Architecture: MobileNetV3Large

The core of the detection stage is a CNN based on the MobileNetV3Large architecture. This model was chosen for its excellent balance of high accuracy and computational efficiency, making it suitable for potential deployment on mobile devices. MobileNetV3 achieves this efficiency through two key innovations: the use of an inverted residual block with linear bottlenecks and the integration of Squeeze-and-Excitation (SE) blocks. The architecture also employs a novel activation function, h-swish (hard swish), which is computationally cheaper than the standard swish function while providing similar benefits. Transfer learning was employed by using a model pre-trained on the ImageNet dataset, which allows the network to leverage a rich set of learned low-level features (e.g., edges, textures, colors). To handle the multi-task classification requirement, the base MobileNetV3Large model was modified by adding two separate, fully-connected output heads, as shown in Figure 2.

Plant Head: A dense layer with a softmax activation function to classify the image into one of the 8 plant species.

Stress Head: A dense layer with a softmax activation function to classify the image into one of the 20 stress conditions (including 'healthy').

This dual-head design allows the model to learn shared features for both tasks in the convolutional base while maintaining specialized classifiers for each specific output.

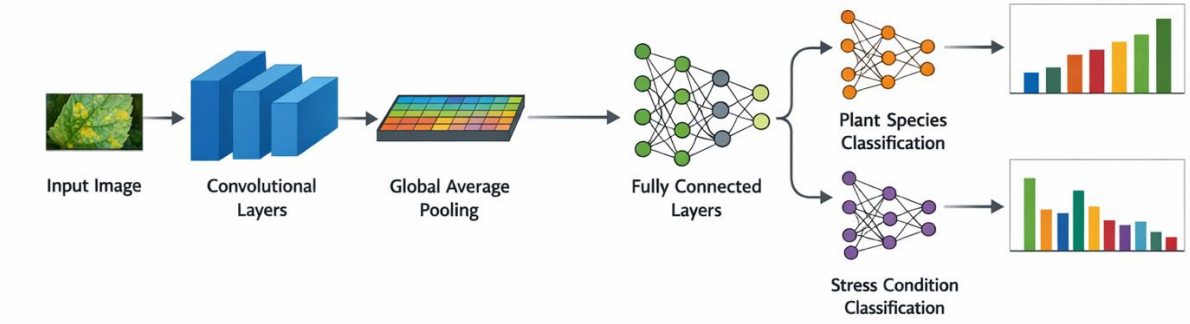


Figure 2. CNN Model Architecture with Dual Output Heads

3.3.2. Training and Hyperparameters

The model was trained using the Adam optimizer, a standard choice for deep learning tasks. Two separate loss functions were used, one for each head: categorical cross-entropy. The total loss was a weighted sum of the two individual losses. The model was trained for 45 epochs with a batch size of 32. The key hyperparameters used during training are summarized in Table 1.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Table 1. CNN Model Training Hyperparameters

Hyperparameter	**Value**
Base Model	MobileNetV3Large
Optimizer	Adam
Loss Function	Categorical Cross-Entropy
Learning Rate	0.001 (initial)
Batch Size	32
Epochs	45
Image Size	224x224 pixels

3.4. RL-Based Action Recommendation Model

3.4.1. Markov Decision Process Formulation

The action recommendation task is formulated as a Markov Decision Process (MDP) defined by $(\mathcal{S}, \mathcal{A}, \mathcal{P}, \mathcal{R}, \gamma)$.

State $(\mathcal{S})$: The state s_t is derived from the CNN output and is formed by concatenating the probability vectors of the plant-species head and the stress head, resulting in a **28-dimensional** representation (8 species probabilities + 20 stress probabilities).

Action $(\mathcal{A})$: The action space is a discrete set of **20** agricultural interventions, covering **no action**, **irrigation adjustments**, **fertilizer applications** (e.g., nitrogen/phosphorus/potassium and balanced NPK), **crop-care actions** (e.g., pruning, ventilation changes, mulching), and **pest/disease control measures** (e.g., insecticide, fungicide, integrated pest management). Each action is associated with an estimated **monetary cost** and an expected **time-to-effect (days)**, which are incorporated into the reward as penalty terms.

Transition $(\mathcal{P})$: Transitions are not modeled explicitly; instead, at each step, a new image is sampled and the CNN generates the next state, approximating exposure to a variety of independent plant conditions.

Reward $(\mathcal{R})$: The reward $R(s_t, a_t)$provides feedback based on action correctness and practical constraints (cost and time), as described in Section 3.4.2.

Discount factor (γ) : We set γ=0.99 to balance short-term and long-term outcomes.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

3.4.2. Reward Function Design

The goal of the RL agent is to learn a policy $\pi(a|s)$ that maximizes the expected cumulative discounted reward. The reward function was meticulously designed to guide the agent towards agriculturally sound and economically viable decisions. The total reward Rt at timestep t is a composite of several components.

The core of the reward is based on the correctness of the action. An "optimal" action is predefined for each stress type (e.g., Nitrogen deficiency maps to Nitrogen Fertilizer). The base reward, $Rbase$, is calculated as:

$$R_{base} = \begin{cases} C_{correct} & \text{if } a_t = a_{optimal} \\ C_{wrong} & \text{if } a_t \neq a_{optimal} \text{ and } s_t \text{ is not healthy} \\ C_{no_{action_{sick}}} & \text{if } a_t = NO_{ACTION} \text{ and } s_t \text{ is not healthy} \\ C_{harmful} & \text{if } a_t \neq NO_{ACTION} \text{ and } s_t \text{ is healthy} \end{cases}$$

Where $Ccorrect$ is a positive reward for a correct action, and $Cwrong, Charmful$, and Cno_action_sick are penalties.

To incorporate economic factors, penalties for action cost and time are included. The cost penalty $Pcost$ and time penalty $Ptime$ are calculated as:

$$Pcost(at) = wcost \times Cost(at)$$

$$Ptime(at) = wtime \times Time(at)$$

Where w*cost* and w*time* are weighting factors.

Finally, several bonuses are added to encourage more nuanced behavior. A confidence bonus B*conf* rewards the agent for acting on high-confidence CNN predictions, and an early detection bonus $Bearly$ rewards proactive interventions. The total reward Rt is the sum of these components:

$$Rt = Rbase - Pcost(at) - Ptime(at) + Bconf(st) + Bearly + \ldots$$

The constants were selected empirically to prioritize safety (avoiding harmful actions), penalize inaction under stress, and treat cost and time as secondary factors. In our implementation, the constants were chosen to strongly penalize harmful actions on healthy plants, (penalize inaction when treatment is required, and moderately penalize incorrect interventions, while keeping cost and time as secondary factor

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

3.4.3. RL Algorithm: Proximal Policy Optimization (PPO)

The agent was trained with Proximal Policy Optimization (PPO), a model-free policy-gradient method that is widely used due to its stable learning behavior. PPO updates the policy by maximizing a clipped surrogate objective that limits overly large policy changes:

$$L^{(CLIP)(\theta)} = E_t\left[\min\left(r_{(t)(\theta)A_t}, clip\left(r_{(t)(\theta)}, 1-\varepsilon, 1+\varepsilon\right)A_t\right)\right]$$

where $r_t(\theta) = \frac{\pi\left(\theta\left(a_{(t|\ \ )}{}^{s_t}\right)\right)}{\pi_{\theta_{old}}\left(a_{(t|\ \ )}{}^{s_t}\right)}$, $\widehat{A_t}$ is the advantage estimate, and ϵ controls the clipping range. This mechanism discourages updates that push $r_t(\theta)$ outside $[1-\epsilon, 1+\epsilon]$, improving training stability. The PPO agent was trained for 100,000 timesteps using standard settings $(\gamma = 0.99, \lambda = 0.95, \epsilon = 0.2, learning\ rate = 3 \times 10^{-4}, batchsize = 64, n_steps = 2048)$.

4. RESULTS AND DISCUSSION

This chapter presents the empirical results of the study. It is divided into two main sections: the performance evaluation of the CNN-based detection model and the performance analysis of the RL-based action recommendation agent. The chapter concludes with a comprehensive discussion of the findings, their implications, and the system's overall efficacy.

4.1. CNN Model Performance

4.1.1. Training Performance

The CNN model was trained for 45 epochs, and its performance was monitored on both the training and validation sets. The training history provides insights into the model's learning process and its ability to generalize. Figure 3 shows a comprehensive overview of the training metrics, including loss, accuracy, precision, and top-3 accuracy for both plant and stress classification heads.

The total loss for both training and validation sets decreased steadily, indicating that the model was effectively learning from the data. The validation loss closely tracked the training loss, suggesting that there was minimal overfitting. The stress head loss was consistently higher than

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

the plant head loss, which is expected given the significantly higher number of classes (20 vs. 8) and the greater visual subtlety of stress symptoms compared to plant species characteristics.

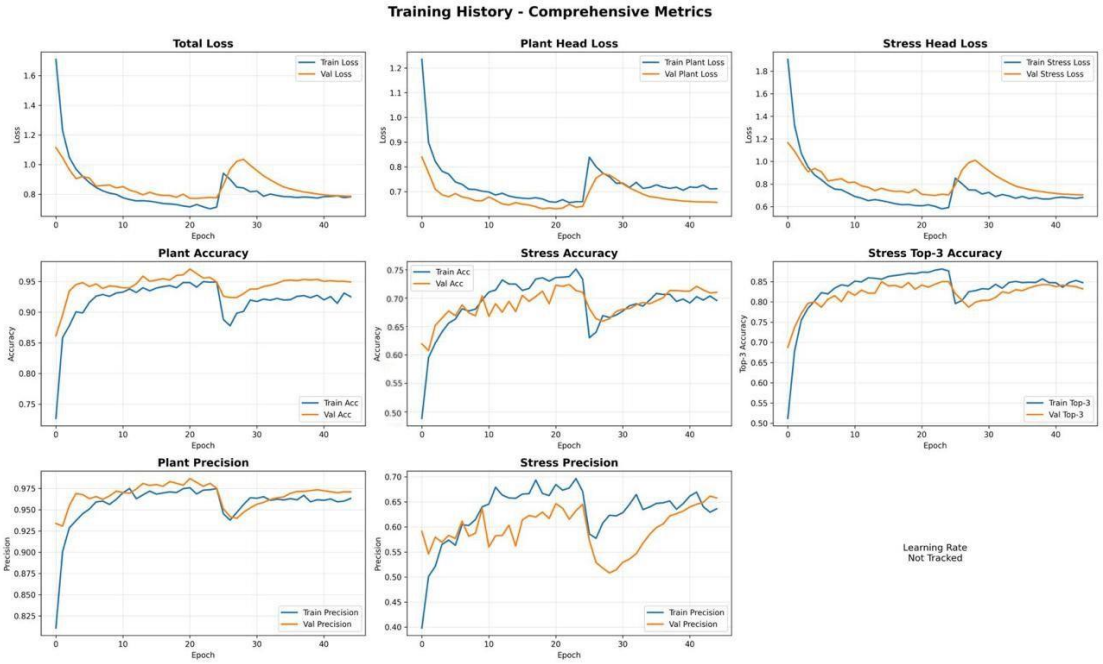


Figure 3. CNN Training History: Comprehensive Metrics

The plant classification accuracy quickly rose to over 95% on the validation set, demonstrating strong capability in distinguishing the eight plant species. Stress classification accuracy was more modest, reaching approximately 72% on the validation set. However, the top-3 accuracy for stress classification reached 84%, indicating that the correct stress type is often among the model's next most likely predictions.

After training, the final model was evaluated on an unseen test set of 470 images, providing an unbiased estimate of generalization performance. On this test set, the model achieved a plant-species accuracy of 0.96 and a stress-condition accuracy of 0.72. The corresponding losses were 0.7666 for the plant head and 0.9574 for the stress head, with an overall loss of 0.8257. Plant-species performance was consistently high (weighted precision/recall/F1 = 0.96), and most classes exceeded 0.90. For example, 93 of 99 "ash gourd" samples and all 79 "tomato" samples were correctly classified. Minor confusion remained between visually similar species such as "ash gourd" and "bottle gourd".

The stress classification task was more challenging, yielding 49% overall accuracy with a weighted F1-score of 0.49. Performance varied substantially across stress categories. The model achieved strong results on classes with distinctive visual patterns, such as Leaf Miner (LM, F1 = 0.84) and Mites (MIT, F1 = 0.67). In contrast, it failed to correctly predict visually similar and/or low-support classes (e.g., JAS_MIT and PLEI_MIT, with no correct predictions). The confusion matrix (Figure 4) indicates substantial confusion among nutrient deficiencies

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

(e.g., K, N, and N_K) and between certain pest-related classes. For example, many N_K samples were predicted as N, and healthy leaves were frequently confused with early deficiency patterns, reflecting the subtlety of early-stage symptoms and class overlap.

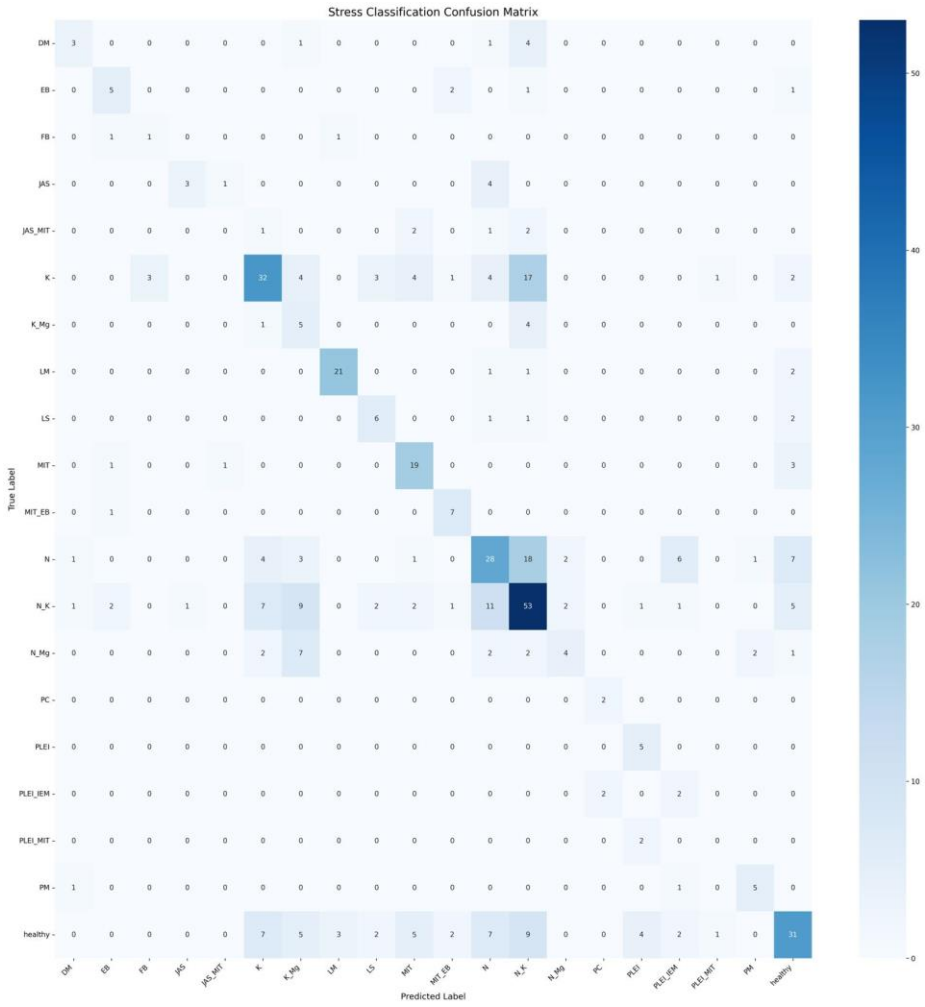


Figure 4. Confusion Matrix for Stress Type Classification

4.1.2. Qualitative Analysis

A qualitative review of the model's predictions on sample images (Figure 5) provides further insight. The model correctly identified 'N_K' stress on a snake gourd and 'LM' on a tomato with high confidence. It also correctly identified a healthy eggplant leaf. However, it exhibited confusion in other cases, for example, misclassifying 'N' (Nitrogen deficiency) as 'N_K' on an eggplant leaf. This is a plausible error, as symptoms of different nutrient deficiencies can be visually similar. Another notable error was predicting 'K_Mg' for an 'N_Mg' deficiency, again highlighting the difficulty in distinguishing between related abiotic stressors. These examples

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

underscore the complexity of the stress classification task and point to areas for future model improvement.

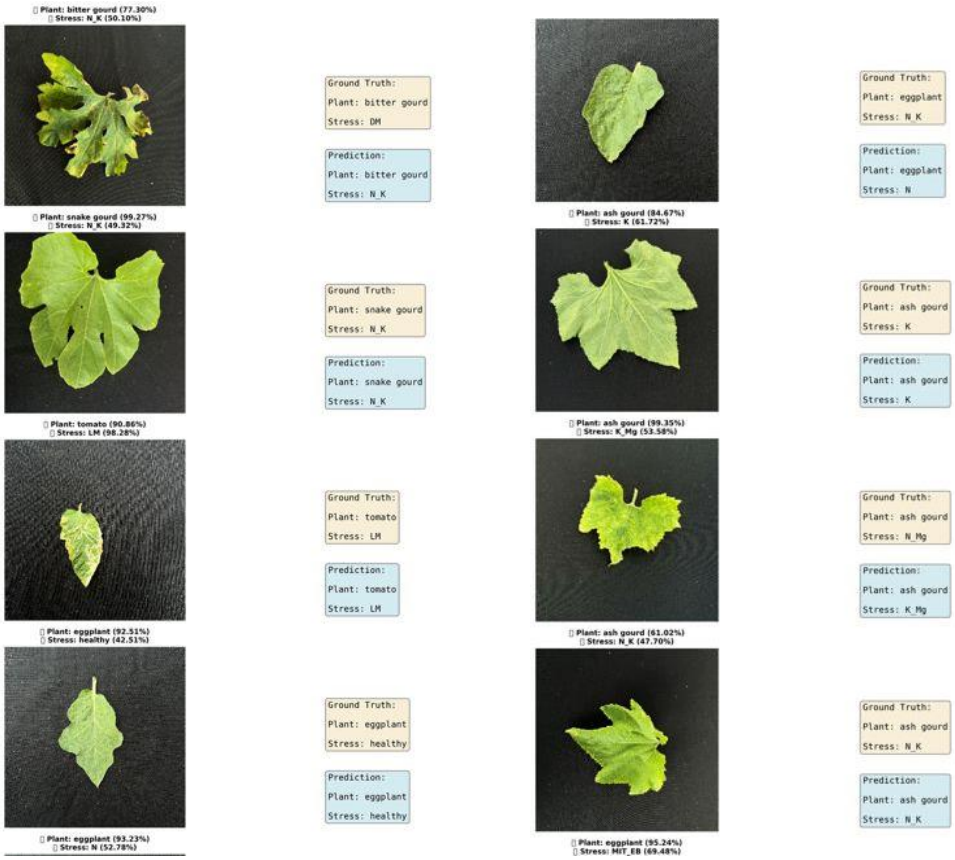


Figure 5. Qualitative Prediction Examples from the CNN Model

4.2. RL Model Performance

4.2.1. Test Episode Analysis

The trained PPO agent was evaluated over 20 test episodes, where each episode consisted of 50 sequential state–action steps. Performance was assessed using three indicators: total reward, total intervention cost, and the optimal action selection rate.

Across episodes, the agent produced a mean total reward of −3269.66 with a standard deviation of 224.00 (range: −3736.90 to −2822.22). The total cost per episode was relatively stable, averaging 3934.25 with a standard deviation of 52.22 (range: 3805.00 to 4000.00). The optimal action rate remained low, with a mean of 5.50% (std: 2.59%, range: 0–10%).

The consistently negative total reward indicates that the agent incurred more penalties than rewards. This outcome is largely explained by (i) the low rate of selecting the predefined

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

optimal action and (ii) the cost and penalty terms applied to non-optimal interventions. Moreover, the agent's decision quality is constrained by the upstream CNN stress classifier, whose imperfect stress predictions (test accuracy 0.72) limit the reliability of the state representation used by the RL policy. Overall, the results suggest that improving stress recognition and/or relaxing the "single optimal action" assumption in the reward definition could substantially increase the agent's practical performance.

4.2.2. Action Distribution and Cost Analysis

During testing, the learned policy produced a highly skewed action distribution. The agent overwhelmingly selected Action 7 (NPK_BALANCED_FERTILIZER), accounting for 95.5% of all decisions, while the remaining actions were chosen only rarely (3.0% potassium fertilizer, 1.1% nitrogen fertilizer, and 0.4% organic compost). This pattern indicates a conservative "safe" policy: because many stress cases relate to nutrient deficiencies (e.g., N, K, N_K), a balanced fertilizer becomes a plausible general-purpose response. Although this strategy helps the agent avoid large penalties associated with clearly incorrect specialized interventions, it also reduces the chance of achieving the maximum reward that would come from selecting the single best action for each specific stress type.

From a cost perspective, this dominance also explains the spending profile. Even though NPK-balanced fertilizer has a relatively high unit cost (80 TL), its very high usage frequency makes it the primary contributor to total cost during evaluation (overall total cost 78,685 TL). Consequently, the mean cost per action was approximately 78.69 TL, largely driven by the repeated selection of the same high-cost intervention.

4.3. Discussion

The two-stage framework shows mixed outcomes that clarify where the pipeline succeeds and where it is constrained. The CNN achieved strong plant-species recognition (96% accuracy), indicating that efficient architectures such as MobileNetV3 can reliably distinguish species from RGB images. In contrast, stress classification remained the main bottleneck (72% accuracy), which directly limits the RL module because policy quality depends on the accuracy of the provided state.

Under uncertainty in the stress predictions, the PPO agent adopted a conservative behavior, often defaulting to a low-risk, general intervention to avoid severe penalties from clearly wrong actions. This explains the low optimal action rate (5.50%) and consistently negative returns. Nevertheless, episodes with higher optimal-action selections produced better rewards, suggesting that the RL component can learn more effective strategies if the perception stage becomes more reliable.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Overall, the study supports the feasibility of a low-cost RGB-based advisory system and highlights that future improvements should prioritize more accurate stress recognition and, potentially, reward designs that better handle uncertainty and multiple acceptable interventions.

5. CONCLUSION

This study successfully designed and implemented a novel, two-stage deep learning framework that uses RGB images to provide low-cost plant stress detection and action recommendations, presenting a viable alternative to expensive sensor- and drone-based precision agriculture technologies. The system's CNN component proved highly effective at identifying plant species with 96% accuracy, establishing a solid perceptual front-end. The subsequent RL component, guided by a carefully designed reward function, learned a safe and economically rational, albeit conservative, policy for recommending agricultural interventions.

The primary challenge identified was the difficulty of the stress classification task, where the CNN achieved 72% accuracy. This performance bottleneck directly impacted the RL agent's ability to select the optimal action, leading it to favor a general-purpose strategy. Despite this limitation, the project serves as a strong proof-of-concept. It validates the architectural approach of cascading a CNN classifier into an RL decision-maker and demonstrates that meaningful, automated agricultural advice can be derived from simple photographs. The framework represents a significant step towards democratizing precision agriculture, with the potential to be developed into an accessible tool for farmers globally.

REFERENCES

[1] Dhanya, V., Subeesh, A., Kushwaha, N., Vishwakarma, D., Kumar, T. N., Ritika, G., & Singh, A. K. (2022). Deep learning-based computer vision approaches for smart agricultural applications. *Artificial Intelligence in Agriculture, 6*, 211–229. doi: 10.1016/j.aiia.2022.09.007

[2] Francini, A., & Sebastiani, L. (2019). Abiotic stress effects on performance of horticultural crops. *Horticulturae, 5*(4), 67.

[3] Hughes, D., & Salathé, M. (2015). *An open access repository of images on plant health to enable the development of mobile disease diagnostics.* arXiv preprint arXiv:1511.08060.

[4] Lichtenthaler, H. K. (1996). Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. *Journal of Plant Physiology, 148*(1-2), 4–14. doi: 10.1016/S0176-1617(96)80287-2

[5] Linaza, M. T., Posada, J., Bund, J., Eisert, P., Quartulli, M., Döllner, J., & La-Paglia-Gargiulo, M. (2021). Data-driven artificial intelligence applications for sustainable precision agriculture. *Agronomy, 11*(6), 1227. doi: 10.3390/agronomy11061227

[6] Mavridou, E., Vrochidou, E., Papakostas, G. A., Pachidis, T., & Kaburlasos, V. G. (2019). Machine vision systems in precision agriculture for crop farming. *Journal of Imaging, 5*(12), 89. doi: 10.3390/jimaging5120089

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[7] Mosa, K. A., Ismail, A., & Helmy, M. (2017). Introduction to plant stresses. In *Plant Stress Tolerance* (pp. 1-19). Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-59379-1_1

[8] Oerke, E.-C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science, 144*(1), 31–43. doi: 10.1017/S0021859605005708

[9] Orka, N. A., Uddin, M. N., Toushique, F. M., & Hossain, M. S. (2023a). *OLID I: An open leaf image dataset of Bangladesh's major crops.* Kaggle. doi: 10.34740/KAGGLE/DS/3472313

[10] Orka, N. A., Uddin, M. N., Toushique, F. M., & Hossain, M. S. (2023b). OLID I: an open leaf image dataset for plant stress recognition. *Frontiers in Plant Science, 14*, 1251888. doi: 10.3389/fpls.2023.1251888

[11] Tan, L., Lu, J., & Jiang, H. (2021). Tomato leaf diseases classification based on leaf images: a comparison between classical machine learning and deep learning methods. *AgriEngineering*, *3*(3), 542–558. doi: 10.3390/agriengineering3030035

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

TÜRKÇE MEDİKAL SORU-CEVAP GÖREVLERİ İÇİN BÜYÜK DİL MODELLERİNİN QLORA TABANLI İNCE AYARI

Yüksek Lisans Öğrencisi Cemre KÜÇÜKGÖDE

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

cemrekucukg@gmail.com - 0009-0005-7320-4607

Doç. Dr. Özgür GÜMÜŞ

Ege Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

ozgur.gumus@ege.edu.tr - 0000-0003-3279-5998

ÖZET

Büyük dil modelleri, doğal dil işleme alanında sağladıkları yüksek performans sayesinde soru-cevap sistemleri başta olmak üzere birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, özellikle medikal alan gibi yüksek riskli ve uzmanlık gerektiren bağlamlarda, bu modellerin doğruluğu, güvenilirliği ve güvenli yanıt üretme davranışları kritik önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Türkçe medikal soru-cevap görevleri için büyük dil modellerinin alan uyarlamasını sağlamak amacıyla QLoRA tabanlı bir ince ayar yaklaşımı önerilmektedir.

Çalışma kapsamında, açık kaynaklı ve talimat temelli Mistral-7B-Instruct-v0.2 büyük dil modeli temel alınmış; 4-bit nicemleme (quantization) ve LoRA adaptörleri kullanılarak model, ITU Perceptron takımı tarafından hazırlanan Türkçe Medikal Reasoning Veri Seti üzerinde ince ayara tabi tutulmuştur. Bu yaklaşım, modelin temel dil yeteneklerini korurken Türkçe medikal bağlama uyumunu artırmayı hedeflemektedir. Model performansı, BLEU, ROUGE-1, ROUGE-L gibi kelime tabanlı metriklerin yanı sıra BERTScore ve anlamsal benzerlik (semantic similarity) ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Deneysel sonuçlar, kelime düzeyinde örtüşmeye dayalı metriklerde sınırlı düşüşler gözlemlenmesine rağmen, anlamsal benzerlik metriklerinde belirgin bir iyileşme sağlandığını ortaya koymaktadır. Bu durum, modelin referans yanıtlarla birebir örtüşmek yerine, anlam bakımından tutarlı ve açıklayıcı yanıtlar üretme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Ayrıca gerçekleştirilen güvenlik analizleri sonucunda, risk içeren yanıt oranının düşük seviyelerde kaldığı ve modelin büyük ölçüde ihtiyatlı bir yanıt üretme davranışı sergilediği tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgular, QLoRA tabanlı ince ayar yaklaşımının Türkçe medikal soru-cevap görevleri için etkili ve güvenli bir alan uyarlama yöntemi sunduğunu göstermektedir. Bu çalışma, büyük dil modellerinin medikal doğal dil işleme uygulamalarında kontrollü ve güvenilir biçimde kullanılmasına yönelik önemli bulgular sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Büyük Dil Modelleri, QLoRA, Türkçe Medikal Soru-Cevap, Kaynak-Verimli İnce Ayar, Model Güvenliği

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Büyük dil modelleri, doğal dil işleme alanında son yıllarda kaydedilen ilerlemelerle birlikte metin üretimi, soru-cevap sistemleri ve bilgi çıkarımı gibi pek çok görevde dikkat çekici başarılar elde etmiştir [7,9]. Özellikle talimat temelli (instruction-based) modellerin geliştirilmesiyle birlikte, bu sistemlerin farklı alanlara uyarlanabilirliği önemli ölçüde artmıştır. Bununla birlikte, medikal alan gibi yüksek doğruluk, güvenilirlik ve etik hassasiyet gerektiren uygulamalarda, büyük dil modellerinin doğrudan kullanımı çeşitli riskleri de beraberinde getirmektedir [3,4].

Medikal soru-cevap görevleri, yalnızca dilsel yeterlilik değil, aynı zamanda alan bilgisi, bağlamsal tutarlılık ve güvenli yanıt üretimi gerektiren karmaşık bir problem alanı sunmaktadır. Bu bağlamda, büyük dil modellerinin genel amaçlı ön eğitimlerinin, Türkçe medikal terminoloji ve klinik bağlamı yeterli düzeyde kapsayamaması önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır. Ayrıca, bu modellerin tam ince ayar (full fine-tuning) yöntemleriyle eğitilmesi, yüksek hesaplama maliyetleri ve donanım gereksinimleri nedeniyle çoğu araştırma ortamı için pratik değildir.

Son yıllarda geliştirilen kaynak-verimli ince ayar yaklaşımları, büyük dil modellerinin sınırlı hesaplama kaynaklarıyla alan uyarlamasını mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşımlar arasında yer alan QLoRA yöntemi, düşük bitli nicemleme (quantization) ile LoRA adaptörlerini birleştirerek hem bellek kullanımını azaltmakta hem de model performansını büyük ölçüde korumaktadır [1,2]. Böylece, büyük ölçekli modellerin tek bir GPU üzerinde eğitilebilmesi mümkün hale gelmektedir.

Bu çalışmada, temel model olarak açık kaynaklı Mistral-7B-Instruct-v0.2 büyük dil modeli [10] kullanılmıştır. Modelin Türkçe medikal alana uyarlanması amacıyla, ITU Perceptron takımı tarafından hazırlanan Türkçe Medikal Reasoning Veri Seti [11] üzerinde QLoRA tabanlı ince ayar gerçekleştirilmiştir. Seçilen veri seti, Türkçe medikal soru-cevap çiftlerinden oluşmakta olup, modelin hem dilsel hem de alan bilgisi açısından uyum sağlamasını hedeflemektedir.

İnce ayar sonrasında model performansı, BLEU, ROUGE ve BERTScore gibi kelime tabanlı ve anlamsal değerlendirme metrikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Ayrıca, medikal alanın doğası gereği kritik öneme sahip olan güvenlik davranışları da ayrı bir değerlendirme süreci kapsamında ele alınmıştır.

Bu çalışmanın temel katkıları şu şekilde özetlenebilir:
(i) Türkçe medikal soru-cevap alanında QLoRA tabanlı bir ince ayar yaklaşımının açık kaynaklı bir büyük dil modeli üzerinde uygulanması,
(ii) Mistral-7B-Instruct modeli ve Türkçe medikal veri seti kullanılarak gerçekleştirilen kapsamlı deneysel değerlendirme,
(iii) anlamsal benzerlik ve güvenlik odaklı analizlerle model davranışlarının ayrıntılı biçimde ortaya konulması.

Elde edilen bulgular, kaynak-verimli ince ayar yöntemlerinin Türkçe medikal doğal dil işleme uygulamaları için etkili ve güvenli bir alternatif sunduğunu göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, Türkçe medikal soru-cevap görevleri için gerçekleştirilen deneysel sürecin tüm aşamaları ayrıntılı biçimde sunulmaktadır. Deneysel çalışma; veri setinin hazırlanması, model ve ince ayar stratejisinin belirlenmesi, eğitim sürecinin yürütülmesi ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi adımlarından oluşmaktadır. Tüm deneyler, sınırlı donanım koşullarında tekrarlanabilirlik gözetilerek tasarlanmış ve Google Colab ortamında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, açık kaynaklı bir büyük dil modeli temel alınmış ve modelin Türkçe medikal alana uyarlanması amacıyla QLoRA tabanlı kaynak-verimli ince ayar yaklaşımı [1,2] tercih edilmiştir. Bu yaklaşım sayesinde, yüksek bellek gereksinimi olan tam ince ayar yöntemlerine kıyasla, daha düşük hesaplama maliyetiyle alan uyarlaması açısından pratik bir çözüm sunulmaktadır. Eğitim sürecinde düşük bitli nicemleme kullanılarak bellek kullanımı azaltılmış, LoRA adaptörleri aracılığıyla modelin yalnızca sınırlı bir parametre alt kümesi güncellenmiştir.

Deneysel değerlendirme aşamasında, model performansı hem kelime düzeyinde örtüşmeyi ölçen geleneksel metrikler hem de anlamsal benzerliği dikkate alan çağdaş değerlendirme ölçütleri kullanılarak analiz edilmiştir. Ayrıca, medikal alanın doğası gereği kritik öneme sahip olan güvenlik ve halüsinasyon davranışları [4,8], ayrı bir analiz süreci kapsamında ele alınmıştır.

2.1 Veri Seti

Bu çalışmada, Türkçe medikal soru-cevap görevleri için oluşturulmuş ve açık erişimli olan ITU Perceptron Türkçe Medikal Reasoning Veri Seti kullanılmıştır [11]. Veri seti, farklı medikal konuları kapsayan Türkçe soru-cevap çiftlerinden oluşmakta olup, modelin hem genel medikal bilgiye hem de Türkçe medikal terminolojiye uyum sağlamasını amaçlamaktadır. Veri seti HuggingFace platformu üzerinden temin edilmiş ve deneysel süreç boyunca aynı veri bölünmesi korunarak kullanılmıştır.

Veri ön işleme sürecinde, ham veri üzerinde çeşitli temizlik ve filtreleme adımları uygulanmıştır. Eksik, tutarsız veya anlamsal bütünlüğü bozan örnekler veri setinden çıkarılmış; soru ve yanıt metinleri dilsel ve bağlamsal tutarlılık gözetilerek yeniden düzenlenmiştir. Ardından, büyük dil modellerinin talimat temelli öğrenme yeteneklerinden yararlanmak amacıyla veri seti talimat temelli (instruction-based) formata dönüştürülmüştür. Bu formatta her bir örnek, modele açık, bağlamsal ve yönlendirici bir talimat sunacak şekilde yapılandırılmıştır.

Hazırlanan veri seti, eğitim, doğrulama ve test olmak üzere üç alt kümeye ayrılmıştır. Eğitim kümesi model parametrelerinin güncellenmesi için kullanılırken, doğrulama kümesi hiperparametre ayarlamaları ve eğitim sürecinin izlenmesi amacıyla değerlendirilmiştir. Nihai performans analizi ise eğitim sürecinde hiç kullanılmamış olan test kümesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, elde edilen sonuçların tarafsız ve güvenilir biçimde değerlendirilmesini sağlamaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Veri setine ilişkin örnek model çıktıları ve değerlendirme sonuçları, sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Özellikle modelin farklı kalite seviyelerindeki yanıt örnekleri, hem nicel metrikler hem de nitel analizler aracılığıyla ele alınarak model davranışı kapsamlı biçimde incelenmiştir.

2.2 Model ve QLoRA Konfigürasyonu

Bu çalışmada, Türkçe medikal soru-cevap görevleri için temel model olarak açık kaynaklı ve talimat temelli Mistral-7B-Instruct-v0.2 büyük dil modeli tercih edilmiştir [10]. Seçilen model, genel amaçlı ön eğitimi sayesinde geniş bir dilsel kapsama sahip olmakla birlikte, medikal alan ve Türkçe bağlam için doğrudan optimize edilmemiştir. Bu nedenle, modelin hedef alana uyarlanması amacıyla QLoRA tabanlı kaynak-verimli ince ayar yaklaşımı uygulanmıştır.

QLoRA yöntemi, düşük bitli nicemleme (quantization) ile LoRA adaptörlerini birleştirerek, büyük dil modellerinin bellek ve hesaplama gereksinimlerini önemli ölçüde azaltmayı hedeflemektedir [1,2]. Bu yaklaşımda, temel model 4-bit nicemleme ile sabitlenirken, modelin tamamı yerine yalnızca LoRA adaptörleri aracılığıyla eklenen düşük-rank parametreler eğitilmektedir. Böylece, tam ince ayar yöntemlerine kıyasla çok daha az sayıda parametre güncellenmekte ve eğitim süreci daha verimli hale gelmektedir.

Bu çalışmada LoRA adaptörleri, dikkat (attention) ve ileri beslemeli ağ (feed-forward) katmanlarının projeksiyon bileşenlerine uygulanmıştır. Özellikle sorgu, anahtar ve değer projeksiyonlarının yanı sıra çıkış projeksiyonu ve ağ geçidi (gate) katmanları hedeflenmiştir. LoRA yapılandırmasında düşük-rank değeri ve ölçekleme katsayısı, literatürde önerilen ve ön deneylerle doğrulanan değerler doğrultusunda belirlenmiştir. Bu sayede, modelin ifade gücü korunurken aşırı uyum (overfitting) riski sınırlandırılmıştır.

QLoRA tabanlı yapılandırma, sınırlı donanım kaynaklarına sahip ortamlarda büyük dil modellerinin etkin biçimde eğitilmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışmada tercih edilen konfigürasyon, tek bir GPU üzerinde gerçekleştirilen eğitim sürecinde bellek kullanımı ve eğitim süresi açısından uygulanabilir bir yapı sunmuştur. Aynı zamanda, modelin anlamsal tutarlılık ve güvenli yanıt üretme davranışlarını koruyarak Türkçe medikal soru-cevap görevine uyum sağlaması hedeflenmiştir.

Bu bölümde açıklanan model ve QLoRA konfigürasyonu, sonraki alt bölümde sunulan eğitim ortamı ve hiperparametre ayarlarıyla birlikte değerlendirilerek, deneysel sonuçların temelini oluşturmaktadır.

2.3 Eğitim Ortamı ve Hiperparametreler

Bu çalışmada gerçekleştirilen tüm eğitim ve çıkarım (inference) süreçleri, farklı donanım kısıtları altında tekrarlanabilirliği sağlamak amacıyla Google Colab ortamında yürütülmüştür. Eğitim sürecinde, GPU destekli bir çalışma ortamı kullanılarak büyük dil modelinin QLoRA tabanlı ince ayarı gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, yüksek donanım gereksinimleri nedeniyle

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

erişimi sınırlı olan tam ince ayar yöntemlerine kıyasla, daha geniş araştırma ortamlarında uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır.

Eğitim sırasında temel model 4-bit nicemleme ile belleğe yüklenmiş ve yalnızca LoRA adaptörleri eğitilebilir parametreler olarak tanımlanmıştır. Bu yapı sayesinde, modelin toplam parametre sayısının yalnızca küçük bir bölümü güncellenmiş ve bellek kullanımı önemli ölçüde azaltılmıştır. Eğitim sürecinde optimizasyon yöntemi olarak AdamW tercih edilmiş, öğrenme oranı ve diğer hiperparametreler literatürde önerilen değerler ve ön deneyler doğrultusunda belirlenmiştir.

Model eğitimi, sınırlı batch boyutu ve gradyan biriktirme (gradient accumulation) stratejisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, GPU belleği aşılmadan daha büyük etkili batch boyutlarıyla eğitim yapılabilmiştir. Eğitim süresince kayıp (loss) değerleri izlenmiş ve modelin aşırı uyum göstermesini önlemek amacıyla doğrulama kümesi performansı dikkate alınmıştır. Eğitim tamamlandığında, elde edilen LoRA adaptörleri kaydedilmiş ve model, daha sonraki değerlendirme ve çıkarım aşamalarında kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

Çıkarım aşamasında, modelin yanıt üretim davranışını daha dengeli ve güvenli hale getirmek amacıyla çeşitli örnekleme (sampling) parametreleri ayarlanmıştır. Maksimum çıktı uzunluğu, sıcaklık (temperature) ve olasılık eşiği (top-p) gibi parametreler, yanıtların anlamsal bütünlüğünü korumayı ve aşırı uzun veya tekrarlı çıktıları sınırlamayı hedefleyecek şekilde belirlenmiştir. Bu ayarların, modelin medikal bağlamda daha kontrollü ve ihtiyatlı yanıtlar üretmesine katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

Bu bölümde açıklanan eğitim ortamı ve hiperparametre ayarları, bir sonraki bölümde sunulan değerlendirme metrikleri ve sonuçların doğru biçimde yorumlanabilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Model performansının ve güvenlik davranışlarının değerlendirilmesi, bu yapılandırma temel alınarak gerçekleştirilmiştir.

2.4 Değerlendirme Metrikleri

Bu çalışmada, QLoRA tabanlı ince ayar sonrasında elde edilen model performansını kapsamlı biçimde değerlendirmek amacıyla hem kelime tabanlı hem de anlamsal benzerliği esas alan çeşitli değerlendirme metrikleri kullanılmıştır. Medikal soru-cevap görevlerinin doğası gereği, yalnızca kelime düzeyinde örtüşmeye dayalı ölçütlerin model başarısını tam olarak yansıtamayabileceği göz önünde bulundurulmuş ve değerlendirme süreci çok boyutlu bir yaklaşımla ele alınmıştır.

Kelime tabanlı değerlendirme kapsamında BLEU, ROUGE-1 ve ROUGE-L metrikleri kullanılmıştır. BLEU metriği, model tarafından üretilen yanıtlar ile referans yanıtlar arasındaki n-gram örtüşmesini ölçerek kelime düzeyinde benzerlik hakkında bilgi sağlamaktadır. ROUGE-1 metriği unigram düzeyinde örtüşmeyi, ROUGE-L metriği ise en uzun ortak alt diziye dayalı benzerliği dikkate alarak, özellikle hatırlama (recall) odaklı bir değerlendirme sunmaktadır. Bu metrikler, model çıktılarının referans metinlerle yapısal benzerliğini analiz etmek amacıyla kullanılmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bununla birlikte, kelime tabanlı metriklerin anlamsal olarak doğru ancak farklı biçimde ifade edilmiş yanıtları yeterince yansıtamayabileceği bilinmektedir. Bu nedenle, çalışmada anlamsal benzerliği ölçen BERTScore metriğine de yer verilmiştir [6]. BERTScore, bağlamsal kelime temsillerini kullanarak model yanıtları ile referans yanıtlar arasındaki anlamsal uyumu değerlendirmekte ve özellikle doğal dil üretimi görevlerinde daha güvenilir sonuçlar sunmaktadır.

Ek olarak, cümle düzeyinde anlamsal yakınlığı ölçmek amacıyla cümle gömme (sentence embedding) tabanlı bir semantic similarity metriği kullanılmıştır. Bu ölçüt, model tarafından üretilen yanıtların referans yanıtlarla genel anlam düzeyinde ne ölçüde örtüştüğünü ortaya koymakta ve modelin medikal bağlamdaki açıklayıcılığını değerlendirmeye yardımcı olmaktadır. Bu metrikler, modelin yalnızca doğru kelimeleri üretip üretmediğini değil, aynı zamanda doğru anlamı aktarabilme başarısını da analiz etmeyi mümkün kılmaktadır.

Son olarak, medikal alanın yüksek riskli yapısı göz önünde bulundurularak, model çıktıları güvenlik ve halüsinasyon davranışları açısından da değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, kesin tanı, tedavi veya dozaj önerisi içeren riskli yanıtlar analiz edilmiş; modelin ihtiyatlı yanıt üretme eğilimi nicel olarak incelenmiştir. Halüsinasyon davranışı, güvenlik ihlali ve anlamsal tutarsızlık göstergeleri üzerinden ele alınmıştır.

Bu bölümde tanımlanan değerlendirme metrikleri, bir sonraki bölümde sunulan deneysel sonuçların nicel ve nitel açıdan yorumlanmasında temel ölçütler olarak kullanılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, QLoRA tabanlı ince ayar yaklaşımı ile eğitilen büyük dil modelinin Türkçe medikal soru-cevap görevindeki performansı nicel ve nitel açıdan değerlendirilmiştir. Değerlendirme süreci; kelime tabanlı ve anlamsal metrikler üzerinden elde edilen nicel sonuçlar, model yanıtlarının dağılım özellikleri ve güvenlik davranışlarının analizi olmak üzere üç ana başlık altında ele alınmıştır.

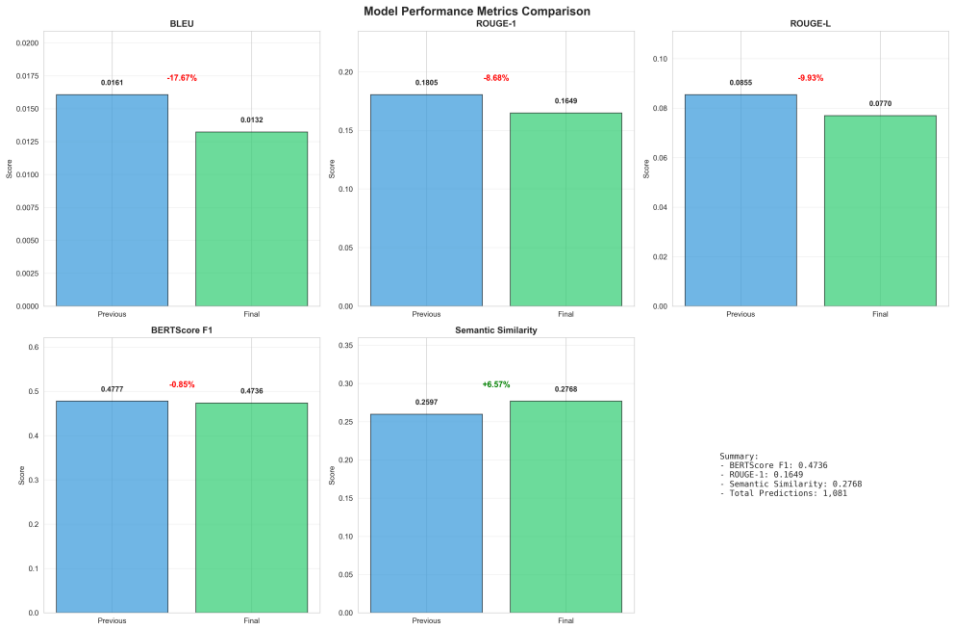
3.1 Nicel Performans Sonuçları

Model performansının nicel değerlendirilmesinde BLEU, ROUGE-1, ROUGE-L, BERTScore ve semantic similarity metrikleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, modelin referans yanıtlarla kelime düzeyinde örtüşme açısından görece sınırlı düşüşler sergilediğini, buna karşın anlamsal benzerlik metriklerinde daha tutarlı ve güçlü bir performans ortaya koyduğunu göstermektedir. Özellikle BERTScore ve semantic similarity değerleri, modelin medikal bağlamda anlamı koruyarak daha serbest ve açıklayıcı yanıtlar ürettiğine işaret etmektedir.

Kelime tabanlı metriklerde gözlemlenen bu düşüşler, modelin referans yanıtlara birebir bağlı kalmak yerine, aynı içeriği farklı biçimlerde ifade etmeyi tercih ettiğini göstermektedir. Medikal soru-cevap görevlerinde anlamsal doğruluğun kelime düzeyinde örtüşmeden daha kritik olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu durum model davranışı açısından olumsuz bir

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

sonuç olarak değerlendirilmemektedir. Aksine, modelin bağlamsal tutarlılığı koruyarak daha doğal ve açıklayıcı yanıtlar üretebildiği görülmektedir.



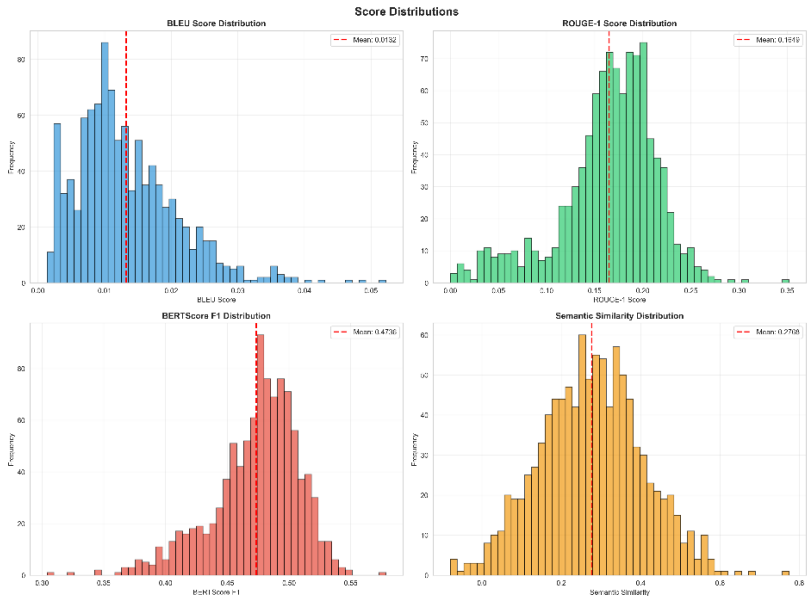
Görsel 1. QLoRA tabanlı ince ayar sonrası model performansının farklı değerlendirme metrikleri açısından karşılaştırılması

3.2 Skor Dağılımları ve Model Davranışı

Modelin performansının daha ayrıntılı biçimde incelenebilmesi amacıyla, değerlendirme metriklerine ait skor dağılımları analiz edilmiştir. Skor dağılımları, modelin büyük çoğunlukla orta ve yüksek anlamsal benzerlik değerlerine sahip yanıtlar ürettiğini, aşırı düşük performans gösteren örneklerin ise sınırlı sayıda kaldığını ortaya koymaktadır. Bu durum, modelin genel olarak istikrarlı bir performans sergilediğine işaret etmektedir.

Özellikle semantic similarity ve BERTScore dağılımlarının dar bir aralıkta yoğunlaşması, modelin yanıt kalitesinde belirgin dalgalanmalar göstermediğini ve eğitim sürecinin dengeli bir biçimde tamamlandığını düşündürmektedir. Elde edilen bu bulgular, QLoRA tabanlı ince ayar yaklaşımının tutarlı ve öngörülebilir model davranışları üretme potansiyeline sahip olduğunu desteklemektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 2. QLoRA tabanlı ince ayar sonrası model çıktılarının farklı değerlendirme metrikleri açısından skor dağılımları

3.3 Nitel Değerlendirme: Örnek Yanıt Analizi

Nicel metriklerin yanı sıra, modelin ürettiği yanıtların içerik kalitesini daha ayrıntılı biçimde değerlendirebilmek amacıyla nitel bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, test kümesinden seçilen farklı kalite seviyelerindeki yanıt örnekleri incelenmiştir. İncelenen örnekler, modelin çoğu durumda sorulan medikal soruya bağlamsal olarak uygun, açıklayıcı ve yapılandırılmış yanıtlar üretebildiğine işaret etmektedir.

Bununla birlikte, bazı yanıtlarda gereğinden fazla detay veya ihtiyatlı ifade kullanımı gözlemlenmiştir. Bu durum, modelin güvenli yanıt üretme eğilimiyle ilişkili olup, medikal bağlamda riskli olabilecek kesin tanı veya tedavi önerilerinden bilinçli olarak kaçınıldığını düşündürmektedir. Bu tür bir yanıt üretim davranışı, modelin kontrollü ve riskten kaçınan bir yaklaşım benimsediğini ortaya koymaktadır.

Example Responses

Best Example (BERTScore: 0.5786)

Question: Ayakta durduktan sonra 1 dakika içinde bacak venlerindeki kan hacminde, yatarken ile karşılaştırıldığında ne tür bir fizyolojik değişiklik meydana gelir?...
Response: ◆umlu veya ayaktaki pozisyonlarda olan (örneğin, usta) dururken, yüksek derecede dinamiktir. Bu senaryoda, kalbin neden olduğu sıvı dağılımını etkiler; bu da vasküler tonusun artmasına ve sempatik aktivasyona yol açar. Anahtar fizyolojik değişiklikler şunları içerir: 1. Artan Vazokonstriksiyon: - Kalp atış hızı ve basıncı arttırarak sistemik damarlara kan akışını artırmasını sağlayan adrenalin salgısı (ayaktaki pozisyonda sempatik sinir sistemi aktive olur). - Böbreklerden, iskelet kaslarından v...

Worst Example (BERTScore: 0.3041)

Question: Bir kamu etkinliğinde rastgele bir karşılaşmada, bir cerrahi onkolog, hasta bakımında doğrudan yer almayan başka bir doktor tarafından hastanın durumu ve tedavisi hakkında sorulduğunda, gizlilik düzenlemeleri ve etik yönergeler doğrultusunda hasta hakkında hangi bilgileri paylaşma yetkisine sahiptir...
Response: ми İnsanlar Arasındaki Gizliliğin Korunmasına Dayalı Etkiden Sahip Olabilecek Hasta Bilgilerini Paylaşma Yetkisine Sahip Olduğundan Eminken, Cerrahi Onkoloj çok az miktarda bilgi verebilecektir. Bunarıza: - Daha Fazla Ayrıntıya Girmeme Yasaklanmaktadır: Beceri olmadan (örneğin, akrabesi olsaydı) genel bir konuya ilişki kurmaya izin vermemektedir; bu da "hastanın kim olduğuna" anlamına gelmez. Özetler, belgelenen yaşam koşullarıyla uygulanabilirse (örneğin, cinsiyet, yaş), ancak herhangi bir kişi...

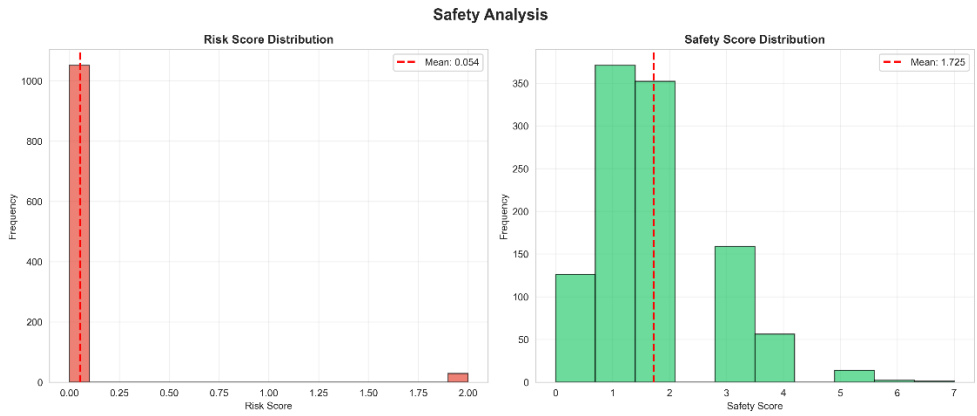
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Görsel 3. QLoRA ile ince ayarlanan büyük dil modelinin test kümesinden seçilmiş örnek yanıtları üzerinden gerçekleştirilen nitel değerlendirme

3.4 Güvenlik ve Halüsinasyon Analizi

Medikal soru-cevap görevlerinde güvenli yanıt üretimi kritik bir gereklilik olduğundan, model çıktıları güvenlik ve halüsinasyon davranışları açısından ayrıca değerlendirilmiştir. Yapılan analizler, risk içeren yanıt oranının düşük seviyelerde kaldığını ve modelin çoğu durumda uyarı ve belirsizlik ifadeleri kullanarak ihtiyatlı bir yanıt üretme eğilimi sergilediğini ortaya koymaktadır.

Güvenlik skorlarının dağılımı incelendiğinde, modelin büyük ölçüde güvenli sınırlar içerisinde kaldığı ve potansiyel olarak riskli olabilecek ifadelerden kaçınma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu bulgular, QLoRA tabanlı ince ayar sürecinin yalnızca performans açısından değil, aynı zamanda güvenli ve kontrollü kullanım bağlamında da olumlu sonuçlar sunduğunu göstermektedir.



Görsel 4. QLoRA ile ince ayarlanan büyük dil modelinin test kümesi üzerindeki güvenlik ve risk skorlarının dağılımını gösteren analiz sonuçları

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Türkçe medikal soru-cevap görevleri için büyük dil modellerinin QLoRA tabanlı kaynak-verimli ince ayar yaklaşımı ile alan uyarlaması ele alınmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar, farklı donanım kısıtları altında büyük ölçekli dil modellerinin tutarlı ve güvenli biçimde eğitilebileceğini göstermektedir. Özellikle anlamsal benzerlik temelli değerlendirme metriklerinde elde edilen sonuçlar, modelin referans yanıtlarla birebir örtüşmek yerine, bağlamsal ve anlamsal tutarlılığı koruyan yanıtlar üretebildiğini ortaya koymaktadır.

Kelime tabanlı değerlendirme metriklerinde gözlemlenen görece sınırlı düşüşler, modelin daha serbest ve açıklayıcı yanıt üretme eğilimiyle ilişkilendirilmektedir. Medikal soru-cevap görevlerinde anlamsal doğruluğun, kelime düzeyinde birebir örtüşmeden daha kritik olduğu

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

göz önünde bulundurulduğunda, bu durum model davranışı açısından olumsuz bir sonuç olarak değerlendirilmemektedir. Aksine, modelin bağlamı doğru yakalayarak kullanıcıya daha anlaşılır ve yapılandırılmış yanıtlar sunabildiği görülmektedir.

Güvenlik ve halüsinasyon analizleri, modelin medikal bağlamda ihtiyatlı bir yanıt üretme stratejisi benimsediğini göstermektedir. Risk içeren yanıt oranının düşük seviyelerde kalması ve modelin büyük çoğunlukla uyarı veya belirsizlik ifadeleri kullanması, güvenli kullanım açısından olumlu bir gösterge olarak değerlendirilmektedir [4,8]. Bununla birlikte, bazı yanıtlarda gözlemlenen aşırı ihtiyatlı ifade kullanımı, yanıtların bilgi yoğunluğunu azaltabilmekte ve kullanıcı deneyimini sınırlayabilmektedir. Bu durum, güvenlik ile açıklayıcılık arasındaki dengenin gelecekte daha hassas biçimde ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Değerlendirme süreci, belirli bir veri seti ve tek bir temel model mimarisi ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca, kullanılan değerlendirme metrikleri her ne kadar anlamsal benzerliği ve güvenliği ölçmeye yönelik olsa da, insan değerlendirmesine dayalı nitel analizlerin sınırlı olması önemli bir kısıt olarak değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra, modelin yanıt uzunluklarının zaman zaman gereğinden fazla olması, pratik kullanım senaryoları açısından iyileştirilmesi gereken bir diğer noktadır.

Gelecek çalışmalarda, farklı büyük dil modeli mimarilerinin QLoRA tabanlı ince ayar performanslarının karşılaştırılması, daha gelişmiş güvenlik ve halüsinasyon tespit yöntemlerinin entegre edilmesi ve insan değerlendirmesine dayalı analizlerin genişletilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, yanıt uzunluğunu ve belirsizlik düzeyini daha dengeli hale getirecek post-processing ve prompt tasarım stratejileri, model çıktılarının kullanıcı açısından daha etkili hale getirilmesine katkı sağlayabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma QLoRA tabanlı kaynak-verimli ince ayar yaklaşımının Türkçe medikal soru-cevap görevleri için uygulanabilir ve güvenli bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, büyük dil modellerinin alan uyarlamasına yönelik gerçekleştirilecek gelecekteki çalışmalar için önemli bir referans niteliği taşımaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KAYNAKÇA

[1] Hu, E. J., Shen, Y., Wallis, P., Allen-Zhu, Z., Li, Y., Wang, S. ve Chen, W., *LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models*, arXiv:2106.09685, 2022.

[2] Dettmers, T., Pagnoni, A., Holtzman, A. ve Zettlemoyer, L., *QLoRA: Efficient Finetuning of Quantized Large Language Models*, arXiv:2305.14314, 2023.

[3] Singhal, K., Azizi, S., Tu, T., Mahdavi, S., Wei, J., Chung, H. W., Scales, N., Tanwani, A., Cole-Lewis, H., Pfohl, S. ve diğerleri, *Large Language Models Encode Clinical Knowledge*, Nature, 620, 172–180, 2023.

[4] Ji, Z., Lee, N., Frieske, R., Yu, T., Su, D., Xu, Y., Ishii, E. ve Fung, P., *Survey of Hallucination in Natural Language Generation*, ACM Computing Surveys, 55(12), 1–38, 2023.

[5] Zhang, Y., Sun, Z., Galley, M., Chen, Y. ve Brockett, C., *Evaluating the Factual Consistency of Large Language Models in Medical Question Answering*, Proceedings of the 2023 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), 2023.

[6] Liu, T., Ott, M., Goyal, N., Du, J., Joshi, M., Chen, D., Levy, O., Lewis, M., Zettlemoyer, L. ve Stoyanov, V., *BERTScore: Evaluating Text Generation with Contextualized Embeddings*, Proceedings of the 8th International Conference on Learning Representations (ICLR), 2020.

[7] Wei, J., Bosma, M., Zhao, V., Guu, K., Yu, A. W., Lester, B., Du, N., Dai, A. M. ve Le, Q. V., *Finetuned Language Models Are Zero-Shot Learners*, Proceedings of the 2022 Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 2022.

[8] Gao, J., Qian, Z., Chen, W., Li, X., Yu, Z., Guo, J. ve Liu, Z., *On the Safety of Large Language Models*, arXiv:2302.04821, 2023.

[9] OpenAI, *GPT-4 Technical Report*, arXiv:2303.08774, 2023.

[10] Jiang, A. Q., Sablayrolles, A., Mensch, A., et al., Mistral 7B, arXiv:2310.06825, 2023.

[11] ITU Perceptron Team, Turkish Medical Reasoning Dataset, HuggingFace Datasets, 2023.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

GEMİ KAZALARININ ANALİZİNDE MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİNİN KULLANIMI: WOS TABANLI BİBLİYOMETRİK BİR DEĞERLENDİRME

Öğretim Görevlisi, İPEK GÖLBOL PEKDAŞ
İskenderun Teknik Üniversitesi, ipek.golbolpekdas@iste.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-8765-555X

ÖZET

Gemi kazaları, insan yaşamı, ekonomik kayıplar ve çevresel etkiler açısından denizcilik sektörü için önemli riskler barındırmaktadır. Teknolojik gelişmeler ve dijital dönüşüm süreci, sektörde gelişmiş navigasyon sistemleri, otomasyon çözümleri ve veri temelli uygulamaların benimsenmesini sağlamıştır. Buna rağmen gemi kazalarının yol açtığı çok boyutlu sorunlar, deniz güvenliğinin hâlen önemli bir araştırma alanı olduğunu göstermekte ve kazaların nedenleri ile sonuçlarının daha kapsamlı biçimde analiz edilmesini gerekli kılmaktadır.

Son yıllarda makine öğrenmesi yöntemleri, gemi kazalarının analizinde karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkilerin modellenmesine olanak sağlayan etkili araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, gemi kazalarının analizinde makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanıldığı akademik çalışmaların genel görünümünü ortaya koymaktır. Bu kapsamda, Web of Science (WoS) veri tabanında yer alan çalışmaların bibliyometrik verileri kullanılarak bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Bibliyometrik analiz; yayınların yıllara göre dağılımı ile ülke bazlı katkılar üzerinden yürütülmüş; yalnızca SSCI, SCI-Expanded ve ESCI indeksleri kapsamındaki yayınlar dikkate alınmıştır. İncelenen veri seti, 2022–2026 yılları arasında yayımlanan toplam 22 çalışmadan oluşmaktadır. Yayınların yıllara göre dağılımı incelendiğinde, özellikle 2024 ve 2025 yıllarında belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Çalışmaların büyük bölümünün makale ve bildiri türünde olduğu, ağırlıklı olarak oşinografi ile denizcilik ve okyanus mühendisliği alanlarında yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Ülke bazlı dağılım, çalışmaların büyük ölçüde Doğu Asya ve Avrupa kaynaklı olduğunu; Türkiye adresli kurumların da sınırlı katkı sağladığını ortaya koymaktadır.Tematik dağılım incelendiğinde, çalışmaların ağırlıklı olarak kaza tahmini ve risk analizi, kaza şiddeti ve sonuç modellemesi ile karar destek sistemlerine odaklandığı; uzamsal ve zamansal kaza analizleri ile açıklanabilir makine öğrenmesi yaklaşımlarının da öne çıktığı görülmektedir.

Sonuç olarak, makine öğrenmesi temelli çalışmalar, geçmiş kaza verilerine dayalı risk ve sonuç öngörüleri üreterek denizcilik operasyonlarında veri temelli güvenlik yönetimine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, mevcut literatürde insan davranışı ve insan faktörü boyutlarının sınırlı düzeyde ele alındığı, bu konunun gelecekte yapılacak çalışmalar için geliştirmeye açık bir alan sunduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler : Gemi kazaları, Makine öğrenmesi, Bibliyometrik analiz, Deniz güvenliği

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

MACHINE LEARNING APPROACHES IN MARITIME ACCIDENT ANALYSIS: A WOS-BASED BIBLIOMETRIC EVALUATION

Lecturer, İPEK GÖLBOL PEKDAŞ
İskenderun Technical University, ipek.golbolpekdas@iste.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-8765-555X

ABSTRACT

Maritime accidents pose significant risks to the maritime sector in terms of loss of life, economic losses, and environmental impacts. Despite ongoing technological developments and the digital transformation of the maritime industry, including the adoption of advanced navigation systems, automation solutions, and data-driven applications, maritime accidents continue to occur. The multidimensional consequences of these accidents indicate that maritime safety remains a critical research area, requiring more comprehensive analyses of accident causes and outcomes.

In recent years, machine learning methods have gained increasing attention as effective tools for maritime accident analysis, as they enable the modelling of complex and non-linear relationships within large-scale accident datasets. The aim of this study is to present an overview of academic research that applies machine learning techniques to the analysis of maritime accidents. To this end, a bibliometric evaluation was conducted using publication data obtained from the Web of Science (WoS) database. The analysis focused on the annual distribution of publications and country-based contributions, considering only studies indexed in SSCI, SCI-Expanded, and ESCI.

The analysed dataset consists of 22 studies published between 2022 and 2026. The results indicate a noticeable increase in research output, particularly during 2024 and 2025. Most of the identified publications are journal articles and conference proceedings, primarily associated with the fields of oceanography, maritime engineering, and ocean engineering. Geographically, the literature is dominated by contributions from East Asia and Europe, with limited input from Türkiye.. From a thematic perspective, the reviewed studies mainly focus on accident prediction and risk analysis, accident severity and consequence modelling, and decision support systems. In addition, spatial and temporal accident analyses, as well as explainable machine learning approaches, have emerged as notable research themes within the literature.

In conclusion, machine learning–based studies contribute to data-driven safety management in maritime operations by generating risk- and outcome-oriented insights from historical accident data. However, the limited consideration of human behaviour and human factor dimensions within the existing literature suggests that this aspect remains an important area for future research.

Keywords: Maritime accidents, Machine learning, Bibliometric analysis, Maritime safety

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

YOLOV11 MİMARİSİ: YENİ NESİL NESNE ALGILAMA

Dr. Öğr. Üyesi, HAKAN YÜKSEL

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, hakanyuksel@isparta.edu.tr – ORCID: 0000-0003-2186-533X

ÖZET

Derin öğrenmeye dayalı nesne algılamadaki son gelişmeler büyük ölçüde, doğruluktan ödün vermeden gerçek zamanlı performansı vurgulayan YOLO (You Only Look Once) mimari ailesi tarafından yönlendirilmiştir. Bu çalışma, YOLOv11 mimarisini sunmaktadır. Bu mimari, çeşitli dağıtım ortamlarında ölçeklenebilirlik, sağlamlık ve verimlilikte ortaya çıkan zorlukları ele almak üzere tasarlanmıştır. YOLOv11 mimarisi, tek aşamalı algılama paradigmasına dayanırken, ağ tasarımı, eğitim stratejisi ve çıkarım optimizasyonunda önemli yenilikler sunmaktadır. Mimari düzeyde, YOLOv11, hiyerarşik özellik çıkarımını uyarlanabilir derinlik ve genişlik ölçeklendirmesiyle birleştiren modüler, çok yollu bir omurga entegre etmektedir. Bu tasarım, ağın temsil kapasitesi ve hesaplama maliyetini dinamik olarak dengelemesini sağlayarak hem uç cihazlar hem de yüksek performanslı sunucular için uygun hale getirmektedir. Gelişmiş özellik birleştirme mekanizmalarını kullanan rafine edilmiş yapısı, yüksek seviyeli anlamsal bilgilerle birlikte uzamsal ayrıntıların yayılımını iyileştirerek küçük, gizlenmiş ve yoğun paketlenmiş nesneler için tespit performansını güçlendirmektedir.

Standart nesne algılama kıyaslama testleri üzerinde kapsamlı deneysel değerlendirmeler yapılmış ve YOLOv11'in ortalama hassasiyet, çıkarım hızı ve parametre verimliliği açısından önceki YOLO varyantlarından ve karşılaştırılabilir en gelişmiş dedektörlerden sürekli olarak daha iyi performans gösterdiği kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yolov11, Mimari, Nesne Algılama

YOLOV11 ARCHITECTURE: NEXT GENERATION OBJECT DETECTION

ABSTRACT

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Recent advancements in deep learning-based object detection have been largely driven by the YOLO (You Only Look Once) family of architectures, which emphasizes real-time performance without sacrificing accuracy. This study presents the YOLOv11 architecture, designed to address the challenges of scalability, robustness, and efficiency in diverse deployment environments. While building on a single-stage detection paradigm, the YOLOv11 architecture offers significant innovations in network design, training strategy, and inference optimization. At the architectural level, YOLOv11 integrates a modular, multipath backbone that combines hierarchical feature inference with adaptive depth and width scaling. This design allows the network to dynamically balance representation capacity and computational cost, making it suitable for both edge devices and high-performance servers. Its refined structure, utilizing advanced feature merging mechanisms, enhances detection performance for small, hidden, and densely packed objects by improving the diffusion of spatial details along with high-level semantic information.

Extensive experimental evaluations have been conducted on standard object detection benchmark tests, and YOLOv11 has been proven to consistently outperform previous YOLO variants and comparable most advanced detectors in terms of average sensitivity, inference speed, and parameter efficiency.

Keywords: Yolov11, Architecture, Object Detection

1. GİRİŞ

Nesne tespiti, bilgisayar görüşünde temel bir problem olup, görüntüler veya video akışları içindeki ilgi çekici nesneleri tanımlamayı ve konumlandırmayı amaçlamaktadır. Derin öğrenmenin hızlı ilerlemesiyle birlikte, nesne tespiti hem doğruluk hem de hesaplama verimliliğinde önemli iyileştirmeler göstermiş ve otonom sürüş, akıllı gözetim, robotik ve endüstriyel denetim gibi gerçek dünya uygulamalarında kullanılmasını sağlamıştır [1]. Bununla birlikte, özellikle kaynak kısıtlı ve zamana duyarlı sistemler için, tespit doğruluğu ve gerçek zamanlı performans arasında bir denge kurmak kritik bir zorluk olmaya devam etmektedir.

Erken dönem derin öğrenme tabanlı nesne tespiti çerçeveleri, ağırlıklı olarak iki aşamalı bir tespit paradigmasını izlemiştir; burada önce bölge önerileri oluşturulur ve daha sonra sınıflandırılır ve son olarak iyileştirmektedir. Bu yaklaşımlar yüksek tespit doğruluğu gösterse de nispeten yüksek hesaplama maliyetleri, gerçek zamanlı senaryolardaki uygulanabilirliklerini sınırlamıştır. Bu sınırlamalara yanıt

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

olarak, konumlandırma ve sınıflandırmayı tek bir ileri geçişte birleştirmek ve çıkarım gecikmesini önemli ölçüde azaltmak için tek aşamalı dedektörler tanıtılmıştır [2].

Tek aşamalı dedektörler arasında, You Only Look Once (YOLO) model ailesi, en etkili ve yaygın olarak benimsenen nesne algılama çerçevelerinden biri olarak ortaya çıkmıştır [3]. YOLO, nesne algılamayı tek bir regresyon problemi olarak yeniden formüle ederek, tam görüntülerden doğrudan sınırlayıcı kutu koordinatlarını ve sınıf olasılıklarını tahmin etmektedir [4]. Bu tasarım, uçtan uca eğitim ve gerçek zamanlı çıkarım sağlayarak, YOLO tabanlı modelleri özellikle düşük gecikme ve yüksek verimlilik gerektiren uygulamalar için uygun hale getirmektedir.

YOLO mimarisi, sürekli evrim geçirmiş ve ardışık sürümler mimari yenilikler, geliştirilmiş kayıp fonksiyonları, çok ölçekli özellik temsilleri ve gelişmiş eğitim stratejileri içermiştir. Bu iyileştirmeler, gerçek zamanlı performansı korurken algılama doğruluğunu önemli ölçüde artırmıştır. Sonuç olarak, güncel YOLO versiyonları, küçük nesneler, yoğun sahneler ve ölçek varyasyonları içeren zorlu durumlarda bile iki aşamalı dedektörlere kıyasla rekabetçi bir doğruluk elde edebilmektedir.

YOLO tabanlı nesne algılama modelleri hala çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Küçük veya gizlenmiş nesnelerin tespiti, sınıf dengesizliğinin ele alınması ve değişen aydınlatma ve çevresel koşullar altında sağlamlığın korunması gibi konular aktif araştırma konuları olmaya devam etmektedir [5].

Bu bağlamda, YOLO tabanlı nesne tespiti hızla gelişen bir araştırma alanı olmaya devam etmektedir. Yapılan çalışmalar, özellik çıkarımını iyileştirmeye, yerelleştirme hassasiyetini artırmaya ve doğruluk ile hesaplama verimliliği arasında daha iyi bir denge kurmaya odaklanmaktadır. Bu çalışma, YOLOv11 versiyonun mimarisini incelemek ve mevcut gelişmeleri takip etmek üzerine sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

You Only Look Once (YOLO), nesne algılama araştırmaları gerçek zamanlı ve tek aşamalı algılama yöntemlerine doğru önemli bir dönüşüm yaşanmıştır. Geleneksel iki aşamalı dedektörlerin yerine, YOLO tabanlı modeller nesne algılamayı birleşik bir regresyon problemi olarak formüle ederek uçtan uca eğitim ve hızlı çıkarım sağlamaktadır [6]. Bu sistem, YOLO' yu hem akademik araştırmalarda hem de endüstriyel uygulamalarda etkili ve yaygın olarak benimsenen nesne algılama yöntemlerinden biri haline getirmiştir.

YOLO, birden fazla sürüm ve alternatif çalışma yoluyla sürekli gelişim göstermiştir (Çizelge 1). Her yineleme, yerelleştirme doğruluğunu iyileştirme, küçük nesne algılamayı geliştirme, sağlamlığı artırma veya gerçek zamanlı ve uç cihaz dağıtımı için çıkarım hızını optimize etme gibi önceki modellerin belirli sınırlamalarını ele almayı amaçlamaktadır [7, 8]. YOLO, artık farklı araştırma grupları ve kuruluşlar

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

tarafından geliştirilen, her biri mimari değişiklikler, eğitim stratejileri veya optimizasyon teknikleri öneren çeşitli modelleri içermektedir.

Çizelge 1. YOLO versiyonları

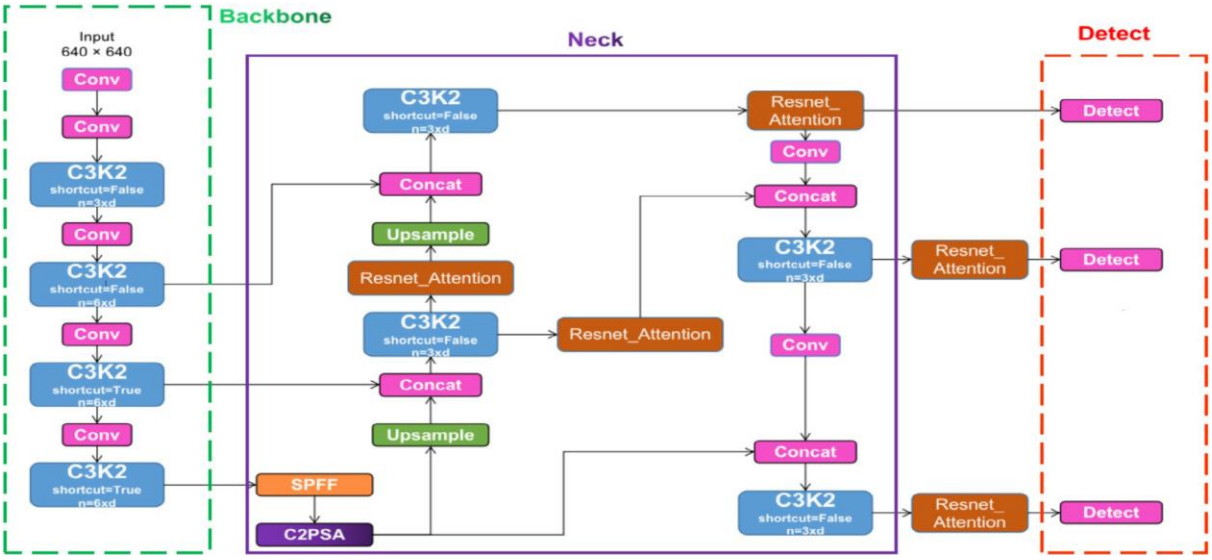
Model	Yıl	Görevler	Katkılar	Çerçeve
YOLO [3]	2015	Nesne Algılama, Temel Sınıflandırma	Tek aşamalı nesne dedektörü	Darknet
YOLOv2 [9]	2016	Nesne Algılama, Geliştirilmiş Sınıflandırma	Çok ölçekli eğitim, boyut kümeleme	Darknet
YOLOv3 [10]	2018	Nesne Algılama, Çok Ölçekli Algılama	SPP bloğu, Darknet-53 omurgası	Darknet
YOLOv4 [11]	2020	Nesne Algılama, Temel Nesne Takibi	Mish aktivasyonu, CSPDarknet-53 omurgası	Darknet
YOLOv5 [12]	2020	Nesne Algılama, Temel Örnek Bölümleme (özel değişiklikler yoluyla)	Çapa içermeyen algılama, SWISH aktivasyonu, PANet	PyTorch
YOLOv6 [13]	2022	Nesne Algılama, Örnek Bölümleme	Kendi kendine dikkat, çapa içermeyen OD	PyTorch
YOLOv7 [14]	2022	Nesne Algılama, Nesne Takibi, Örnek Bölümleme	Transformer'lar, E-ELAN yeniden parametrelendirme	PyTorch
YOLOv8 [15]	2023	Nesne Algılama, Örnek Bölümleme, Panoptik Bölümleme, Anahtar Nokta Tahmini	GAN'lar, çapa içermeyen algılama	PyTorch
YOLOv9 [16]	2024	Nesne Algılama, Örnek Bölümleme	PGI ve GELAN	PyTorch
YOLOv10 [17]	2024	Nesne Algılama	Çerçeve için tutarlı ikili atamalar	PyTorch

3. YOLOv11 MİMARİSİ

YOLOv11, C3K2 blokları, SPFF (Spatial Pyramid Pooling Fast) ve C2PSA gibi gelişmiş dikkat mekanizmalarıyla daha verimli bir mimari sunmaktadır [18]. YOLOv11, YOLO'nun bilinen gerçek zamanlı çıkarım hızını korurken küçük nesne tespitini geliştirmek ve bu doğruluğu artırmak için mevcut mimarisi güncellenmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

YOLOv11'in mimarisi Görsel 1' de gösterilmiştir [19]. YOLOv8, YOLOv9 ve YOLOv10 gibi önceki YOLO sürümlerinde sunulan geliştirmeler üzerine hem hızı hem de doğruluğu optimize etmek üzere tasarlanmıştır. YOLOv11'deki ana mimari yenilikler, yüksek hızlı çıkarımı korurken uzamsal bilgileri işleme yeteneğini artıran C3K2 bloğu, SPFF modülü ve C2PSA bloğu etrafında dönmektedir.



Görsel 1. Yolov11 Mimarisi [19]

3.1. Omurga

Evrişimsel Blok; verilen c, h, w değerlerini 2 boyutlu bir evrişim katmanından, ardından 2 boyutlu bir Toplu Normalizasyon katmanından ve son olarak bir SiLU Aktivasyon Fonksiyonundan geçirerek işleyen "Evrişim Bloğu" olarak adlandırılmaktadır [20].

Darboğaz; kısayol parametresi içeren bir dizi evrişimsel bloktan oluşmaktadır. Bu parametre, artık kısmı almayı karar vermektedir. ResNet bloğuna benzer ve kısayol False olarak ayarlanırsa, artık kısım dikkate alınmaz.

C2F (YOLOv8); C2F bloğu (Çapraz Aşamalı Kısmi Odaklama, CSP-Odaklama), özellikle verimliliğe ve özellik haritasının korunmasına odaklanan CSP ağından türetilmiştir [15]. Bu blok, çıktıyı ikiye bölen bir Evrişim Bloğu içermekte ve bunlar bir dizi "n" darboğaz katmanından geçirilerek işlenmektedir. Akabinde her katman çıktısı bir son Evrişim bloğu ile birleştirilmektedir.

C3K2; YOLOv11, omurganın farklı aşamalarında özellik çıkarımını ele almak için C3K2 bloklarını kullanmaktadır. Daha küçük 3x3 çekirdekler, modelin görüntüdeki temel özellikleri yakalama yeteneğini korurken daha verimli hesaplama sağlamaktadır [21]. YOLOv11'in omurgasının merkezinde, önceki YOLO sürümlerde bulunan CSP (Çapraz Aşamalı Kısmi) darboğazının bir evrimi

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

olan C3K2 bloğu bulunmaktadır. Bu blok, özellik haritasını bölerek ve daha büyük çekirdek evrişimlerine göre daha hızlı ve hesaplama açısından daha ucuz olan bir dizi daha küçük çekirdek evrişimi (3x3) uygulayarak ağ üzerinden bilgi akışını optimize etmektedir [21]. Daha küçük, ayrı özellik haritalarını işleyerek ve birkaç evrişimden sonra birleştirerek, C3K2 bloğu, YOLOv8'in C2F bloklarına kıyasla daha az parametreyle özellik temsilini iyileştirmektedir.

C3K, C2F bloğuna benzer bir yapıya sahiptir. Ancak burada bölme işlemi gerçekleştirilmez; giriş, bir Evrişim bloğundan geçirildikten sonra bir dizi "n" darboğaz katmanı ve birleştirmeler gelmektedir. Bu aşamadan sonra Evrişim bloğu ile sona ermektedir.

C3K2, bilgiyi işlemek için C3K bloğunu kullanmaktadır. Başlangıç ve sonda, 2 Evrişim bloğu bulunur, ardından bir dizi C3K bloğu gelmektedir. Son olarak Evrişim bloğu çıktısı ve son C3K bloğu çıktısı birleştirilir ve son Evrişim bloğu ile sona ermektedir. Bu blok, CSP yapısından yararlanarak hız ve doğruluk arasında bir denge kurmaya odaklanmaktadır.

3.2.Boyun

YOLOv11, bir görüntünün farklı bölgelerinden farklı ölçeklerdeki özellikleri bir araya getirmek için tasarlanmış olan SPFF (Hızlı Mekansal Piramit Havuzlama) modülünü kullanmaktadır [21]. Bu, ağın farklı boyutlardaki nesneleri, özellikle de önceki YOLO sürümleri için zorluk teşkil eden küçük nesneleri yakalama yeteneğini geliştirmektedir.

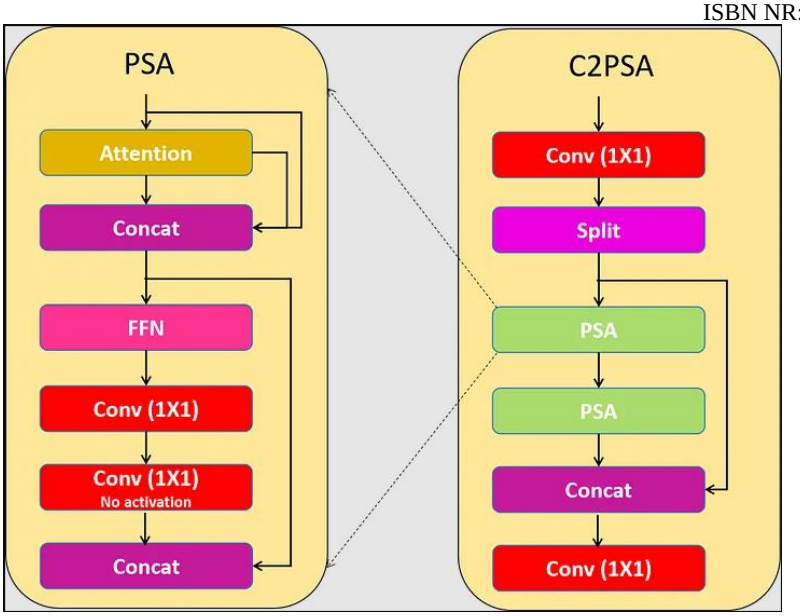
3.3.C2PSA Bloğu

YOLOv11'deki önemli yeniliklerden biri, C2PSA bloğunun (Çapraz Aşamalı Kısmi Mekansal Dikkat) eklenmesidir [22]. Bu blok, özellik haritalarında mekansal alaka düzeyini vurgulayarak, modelin görüntü içindeki önemli bölgelere odaklanmasını iyileştiren dikkat mekanizmalarını oluşturmaktadır [18]. PSA ve C2PSA adımları arasındaki etkileşim Görsel 2' de gösterilmiştir.

Konum Duyarlı Dikkat; giriş tensörlerine konum duyarlı dikkat ve ileri beslemeli ağlar uygulama işlevini kapsayarak özellik çıkarma ve işleme yeteneklerini geliştirmektedir. Bu katman, giriş katmanını Dikkat katmanı ile işlemeyi ve giriş ve dikkat katmanı çıktısını birleştirmektedir. Akabinde ise ileri beslemeli sinir ağı'ndan geçirerek evrişim bloğu ve aktivasyonsuz evrişim bloğu'ndan geçirmeyi sürdürmektedir. Konum Duyarlı Dikkat, evrişim bloğu çıktısını ve ilk temas katmanı çıktısını birleştirmeyi içermektedir [22].

C2PSA; özellik haritasının ayrı dallarında çalışan ve daha sonra C2F blok yapısına benzer şekilde birleştirilen iki PSA modülü kullanmaktadır. Bu yapı, hesaplama maliyeti ve tespit doğruluğu arasında bir denge sağlarken modelin mekansal bilgilere odaklanmasını sağlamaktadır. C2PSA bloğu, çıkarılan özellikler üzerinde mekansal dikkat uygulayarak modelin ilgi alanlarına seçici olarak odaklanma yeteneğini geliştirmektedir [22].

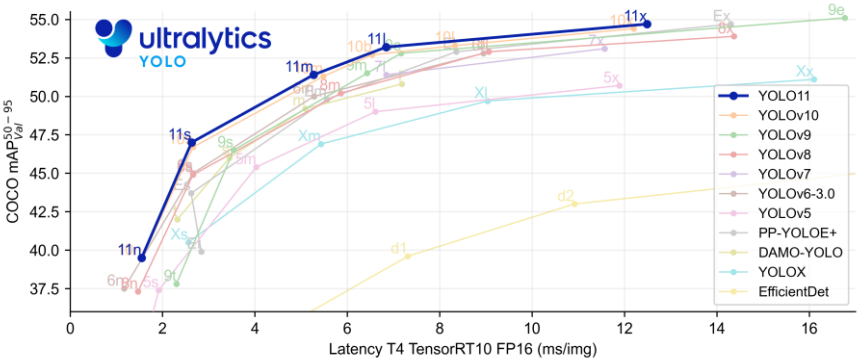
ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 2. PSA ve C2PSA [22]

4. BULGULAR

YOLO11, Ultralytics YOLO serisinin gerçek zamanlı nesne dedektörlerinin en yeni sürümüdür ve en üst düzey doğruluk, hız ve verimlilikle mümkün olanı yeniden tanımlamaktadır. Önceki YOLO sürümlerinin etkileyici gelişmelerine dayanan YOLO11, mimari ve eğitim yöntemlerinde önemli iyileştirmeler sunarak, çok çeşitli bilgisayar görüşü görevleri için çok yönlü bir seçenek haline gelmektedir [23].



Görsel 3. Yolo versiyonlarının hız-doğruluk dengesi [23]

Görsel 3, MS COCO doğrulama kümesinde birden fazla YOLO tabanlı nesne algılama modeli ve ilgili dedektörlerin hız-doğruluk dengesi karşılaştırmasını sunmaktadır [18]. Yatay eksen, TensorRT FP16 kullanılarak bir NVIDIA T4 GPU'da görüntü başına milisaniye cinsinden ölçülen çıkarım gecikmesini temsil ederken, dikey eksen algılama doğruluğu için standart bir ölçüt olan COCO mAP@0.50:0.95'i

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

göstermektedir. Performans karşılaştırması, nesne algılama ve segmentasyon gibi çeşitli görevlerde ortalama hassasiyet (mAP), çıkarım hızı (FPS) ve parametre verimliliği gibi ölçütleri kapsamaktadır.

Görsel 3, genel olarak incelendiğinde; gecikme ve doğruluk arasında açık bir pozitif korelasyon gözlemlenmektedir. Model karmaşıklığı ve çıkarım süresi arttıkça, algılama performansı genellikle iyileşmektedir. Bu eğilim, nesne algılama sistemlerinde gerçek zamanlı verimlilik ve doğruluk arasındaki temel dengeyi vurgulamaktadır.

YOLO11, grafiğin üst performans zarfını sürekli olarak oluşturmakta ve önceki YOLO sürümlerine kıyasla benzer veya hatta daha düşük gecikmelerde en yüksek mAP değerlerine ulaşmaktadır. Bu, YOLO11'in özellikle küçük (11n, 11s) ve orta (11m) model ölçeklerinde üstün bir doğruluk-gecikme dengesi sağladığını göstermektedir. YOLOv10 ve YOLOv9, YOLO11'i yakından takip ederek YOLOv8 ve önceki sürümlere göre güçlü performans iyileştirmeleri göstermektedir. Özellikle YOLOv9, orta ila yüksek gecikme rejimlerinde doğrulukta kayda değer kazanımlar göstermekte olup, mimari yeniliklerinin aşırı hesaplama yükü olmadan özellik öğrenimini etkili bir şekilde iyileştirdiğini düşündürmektedir. YOLOv8 ve YOLOv7 rekabetçi kalmaktadır, ancak benzer gecikme noktalarında sürekli olarak daha yeni nesiller tarafından geride kalmaktadır; bu da daha yeni optimizasyonlarla karşılaştırıldığında önceki tasarım seçimlerinden elde edilen getirilerin azaldığını göstermektedir.

YOLOv5, YOLOX ve YOLOv6.0, özellikle daha küçük model varyantlarında, eşdeğer gecikme seviyelerinde daha düşük doğruluk göstermektedir. Bu modeller, kaynak kısıtlaması yüksek sistemlerde kullanım için geçerliliğini korurken, yeni YOLO sürümlerine göre performans farkları açıkça görülmektedir. PP-YOLOE+ ve DAMO-YOLO saygın bir doğruluk sunar, ancak genellikle modern YOLO modellerine kıyasla performans seviyelerine ulaşmak için daha yüksek gecikme süresi gerektirmektedir. Bu da onları hız-doğruluk dengesi açısından daha az verimli hale getirmektedir. EfficientDet, özellikle düşük gecikme süresi, belirli bir gecikme süresi için doğruluk açısından YOLO tabanlı dedektörlerin önemli ölçüde altında görünmektedir. Bu, YOLO tarzı mimarilerin modern donanım hızlandırıcılarında gerçek zamanlı algılama senaryoları için daha iyi optimize edildiğini göstermektedir.

Çizelge 2, Yolov11 modellerinin kendi içerisinde karşılaştırması göstermektedir. Tüm YOLO11 varyantları, model çıkarımı, doğrulama, eğitim ve dışa aktarma gibi temel işlevleri tutarlı bir şekilde desteklemektedir. Bu, YOLO11'in göreve özgü bir dedektörden ziyade genel amaçlı bir görüş modeli olarak çok yönlülüğünü vurgulamaktadır.

Çizelge 2. YOLOv11 versiyon özellikleri [23]

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Model	Görev	Model Çıkarım	Doğrulama	Eğitim	Dışa Aktarma
YOLO11	Detection	+	+	+	+
YOLO11-seg	Instance Segmentation	+	+	+	+
YOLO11-pose	Pose/Keypoints	+	+	+	+
YOLO11-obb	Oriented Detection	+	+	+	+
YOLO11-cls	Classification	+	+	+	+

5. SONUÇ

YOLOv11, nesne algılamada önemli bir dönüm noktası oluşturmaktadır. Hız, doğruluk ve verimliliğin üstün bir yaklaşımını sunmaktadır. Verimli özellik çıkarımı için C3K2 blokları ve kritik görüntü bölgelerine odaklanmayı artıran C2PSA dikkat mekanizması gibi mimari iyileştirmeleri, YOLOv8 ve YOLOv10 gibi önceki sürümlere göre performansını yükseltmektedir. Artan mAP puanları ve FPS oranlarıyla YOLOv11, gerçek zamanlı nesne algılamanın sınırlarını zorlamaya devam etmektedir [24].

Modelin esnekliği hem hassasiyetin hem de hızlı çıkarımın çok önemli olduğu otonom sürüşten tıbbi görüntülemeye kadar çeşitli gerçek dünya uygulamaları için ideal bir aday haline getirmektedir [18]. YOLOv11'in çok ölçekli algılama ve uzamsal dikkatteki gelişmeleri, karmaşık nesne yapılarına sahip ortamlarda mükemmel performans göstermesini sağlarken, hızlı çıkarım yeteneklerini de korumaktadır. Gerçek zamanlı algılama üzerinde çalışma yapan araştırmacılar için YOLOv11, hız ve doğruluk arasındaki her zaman önemli olan dengeyi sağlayan pratik bir çözüm sunmaktadır.

KAYNAKÇA

[1] Kaur, R., & Singh, S. (2023). A comprehensive review of object detection with deep learning. Digital Signal Processing, 132, 103812.

[2] Malhotra, P., & Garg, E. (2020, July). Object detection techniques: a comparison. In 2020 7th international conference on smart structures and systems (ICSSS) (pp. 1-4). IEEE.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

[3] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, real-time object detection. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 779–788.

[4] Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y., & Ma, B. (2022). A Review of Yolo algorithm developments. Procedia computer science, 199, 1066-1073.

[5] Wang, J., Jiang, S., Song, W., & Yang, Y. (2019, July). A comparative study of small object detection algorithms. In 2019 Chinese control conference (CCC) (pp. 8507-8512). IEEE.

[6] Du, J. (2018, April). Understanding of object detection based on CNN family and YOLO. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1004, p. 012029). IOP Publishing.

[7] Yang, Z. Y., Xia, W. K., Chu, H. Q., Su, W. H., Wang, R. F., & Wang, H. (2025). A comprehensive review of deep learning applications in cotton industry: From field monitoring to smart processing. Plants, 14(10), 1481.

[8] Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2014). Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 580-587).

[9] Redmon, J., & Farhadi, A. (2017). YOLO9000: better, faster, stronger. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 7263-7271).

[10] Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). Yolov3: An incremental improvement. arXiv preprint arXiv:1804.02767.

[11] Bochkovskiy, A., Wang, C. Y., & Liao, H. Y. M. (2020). Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection. arXiv preprint arXiv:2004.10934.

[12] Jani, M., Fayyad, J., Al-Younes, Y., & Najjaran, H. (2023). Model compression methods for YOLOv5: A review. arXiv preprint arXiv:2307.11904.

[13] Geetha, A. S. (2024). What is yolov6? a deep insight into the object detection model. arXiv preprint arXiv:2412.13006.

[14] Olorunshola, O. E., Irhebhude, M. E., & Evwiekpaefe, A. E. (2023). A comparative study of YOLOv5 and YOLOv7 object detection algorithms. Journal of Computing and Social Informatics, 2(1), 1-12.

[15] Sohan, M., Sai Ram, T., & Rami Reddy, C. V. (2024). A review on yolov8 and its advancements. In International Conference on Data Intelligence and Cognitive Informatics (pp. 529-545). Springer, Singapore.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

[16] Wang, C. Y., Yeh, I. H., & Mark Liao, H. Y. (2024, September). Yolov9: Learning what you want to learn using programmable gradient information. In European conference on computer vision (pp. 1-21). Cham: Springer Nature Switzerland.

[17] Wang, A., Chen, H., Liu, L., Chen, K., Lin, Z., & Han, J. (2024). Yolov10: Real-time end-to-end object detection. Advances in Neural Information Processing Systems, 37, 107984-108011.

[18] Khanam, R., & Hussain, M. (2024). Yolov11: An overview of the key architectural enhancements. arXiv preprint arXiv:2410.17725.

[19] Hameed, A., Shah, S. K., Khan, S. U., Alanazi, S., & Algamdi, S. A. (2025). Dermatology 2.0: Deploying YOLOv11 for Accurate and Accessible Skin Disease Detection: A Web-Based Approach. International Journal of Imaging Systems and Technology, 35(2), e70050.

[20] Rasheed, A. F., & Zarkoosh, M. (2025). YOLOv11 optimization for efficient resource utilization. The Journal of Supercomputing, 81(9), 1-21.

[21] Shi, Y., He, Q., Mao, C., Ge, Y., Du, H., & Wang, H. (2024, December). The Object Detection in Remote Sensing Images Based on Improved YOLO11 with LDConv. In 2024 6th International Conference on Robotics, Intelligent Control and Artificial Intelligence (RICAI) (pp. 605-609). IEEE.

[22] GokulaKrishnan, E., & Malathi, G. (2025). Exploring Hand Wrist Feature as Biometric Identifier: A Deep Learning Perspective using Yolov11. Results in Engineering, 107107.

[23] Ultralytics. Ultralytics yolov11. https://docs.ultralytics.com/models/yolo11/#supported-tasks-and-modes, 2024. Erişim Tarihi: 21.10.2025.

[23] Kotthapalli, M., Ravipati, D., & Bhatia, R. (2025). YOLOv1 to YOLOv11: A comprehensive survey of real-time object detection innovations and challenges. arXiv preprint arXiv:2508.02067.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

A Conceptual Framework for Mapping Landslide Risk and Agricultural Land Loss

Lecturer Dr. Leyla Derin
Ankara University, lderin@ankara.edu.tr, ORCID ID:0000-0001-7419-1717

ABSTRACT

Landslides have long been recognized as one of the most frequent and destructive natural hazards, with documented cases dating back to early historical records. Over the past several decades, increasing climate variability, land-use change, and the disturbance of natural slopes have intensified the occurrence and impacts of landslides worldwide. Beginning in the late 1970s, international scientific efforts —most notably the UNESCO-supported Working Party on World Landslide Inventory (WP/WLI) —began emphasizing the systematic identification and documentation of landslide-prone areas. These initiatives established foundational methodologies that continue to inform global disaster risk reduction strategies. More recent frameworks, including the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (2015–2030) and the Sustainable Development Goals (particularly SDG 13 and SDG 15), highlight the need to monitor environmental risks and protect agricultural land, especially in rural and developing regions where communities remain highly vulnerable.

Landslides are sudden and destructive events that result from the interplay of multiple factors, such as topography, soil characteristics, rainfall patterns, and human interventions. Uncontrolled agricultural activities - especially on steep terrain—can further increase slope instability and contribute to the long-term loss of productive soil. Responding to these concerns, this study proposes a conceptual approach for monitoring landslide risk and associated agricultural land loss through spatial mapping.

The proposed framework aims to identify high-risk zones by integrating multiple terrain attributes and assessing the extent of potential soil degradation. The model aligns with principles of disaster management, land-use planning, and sustainable agriculture. Key variables—including slope, soil type, rainfall, land cover, vegetation density, and the spatial distribution of past landslides—are evaluated collectively to determine areas most susceptible to failure.

Ultimately, this conceptual framework seeks to reveal regions where agricultural production losses are most concentrated. Understanding these hotspots is essential for guiding soil conservation strategies and developing informed disaster planning policies, particularly in rural environments where land resources are limited and highly sensitive to environmental change.

Keywords: landslide risk, agricultural land loss, soil degradation, spatial mapping, sustainable land use, rural planning

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

NOHUT (*Cicer arietinum* L.) GENETİK KAYNAKLARININ ISLAHTA KULLANIMI

Arş. Gör. Dr. İlker YÜCE

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, ilkeryuce001@gmail.com - 0000-0002-9761-3561

ÖZET

Nohut (*Cicer arietinum* L.), kurak ve yarı kurak bölgelerde önemli bir protein kaynağı olmakla birlikte, dar genetik tabanı nedeniyle biyotik ve abiyotik streslere karşı sınırlı uyum kapasitesine sahiptir. Bu durum, nohut ıslahında genetik kaynakların etkin kullanımını stratejik bir gereklilik haline getirmiştir. Son yıllarda yürütülen çalışmalar, gen bankalarında muhafaza edilen yerel çeşitler (landrace), mini-core ve core koleksiyonlar ile yabani *Cicer* türlerinin, verim, stres toleransı ve kalite özelliklerinin geliştirilmesinde önemli potansiyel sunduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle genom çapında ilişkilendirme çalışmaları (GWAS), genetik kaynaklardan elde edilen geniş varyasyonun; kuraklık, sıcaklık, tuzluluk, alüminyum toksisitesi ile *Ascochyta blight* ve *Fusarium* solgunluğu gibi hastalıklara dayanıklılık ile ilişkili lokusların belirlenmesini mümkün kılmıştır. Yabani akraba türlerden (*C. reticulatum, C. echinospermum*) yapılan introgresyon çalışmaları, kültür nohudunun genetik tabanının genişletilmesinde ve yeni allellerin ıslah programlarına kazandırılmasında kritik rol oynamaktadır. Ayrıca, genetik kaynaklar üzerinde yürütülen genomik seleksiyon ve çok çevreli denemeler, karmaşık özelliklerin daha etkin şekilde iyileştirilmesine olanak sağlamaktadır. Güncel bulgular, klasik seleksiyon yaklaşımlarının genomik araçlarla entegre edilmesinin, nohut ıslahında sürdürülebilir verim artışı ve iklim değişikliğine uyum açısından temel bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, genetik kaynakların sistematik karakterizasyonu ve pre-breeding çalışmalarının güçlendirilmesi, geleceğin nohut çeşitlerinin geliştirilmesinde kilit öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler : Genetik kaynaklar, Islah, Yabani türler

1. Giriş

Nohut (*Cicer arietinum* L.), Güney Asya, Batı Asya ve Akdeniz havzasında yaşayan insanlar için önemli bir besin proteini ve temel mikro besin kaynağı olan önemli bir baklagil bitkisidir. Ekonomik ve besin değeri olmasına rağmen, nohudun iyileştirilmesi, esas olarak kültüre alma sorunları ve yabani *Cicer* türlerinden sınırlı gen akışı nedeniyle dar bir genetik tabanla sınırlıdır (Singh ve ark., 2021; Shahnaz, 2025). Bu sınırlı çeşitlilik, bitkinin kuraklık, sıcaklık, tuzluluk ve antraknoz ve Fusarium solgunluğu gibi önemli hastalıklardan kaynaklanan temel kısıtlamalara uyum sağlama kapasitesini azaltmaktadır (Arriagada ve ark., 2022; Alsamman ve ark., 2024).

Yerel çeşitler, gen bankası kayıtları, mini çekirdek koleksiyonlar, ıslah hatları ve yabani akrabalardan oluşan genetik kaynaklar, genetik tabanı genişletmek için yeni allellerin birincil kaynağını temsil eder. Küresel nohut germplazmının kapsamlı değerlendirmeleri, verim istikrarı, stres toleransı ve besin değerinin artırılması için ıslahta yararlanılabilecek önemli fenotipik ve moleküler çeşitlilik ortaya koymuştur (Singh ve ark., 2022; Zatybekov ve ark., 2025). Özellikle önemli olan, direnç ve tolerans özellikleri için benzersiz alleller barındıran ve

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ıslah öncesi ve introgresyon programlarına giderek daha fazla dahil edilen *Cicer reticulatum* ve *Cicer echinospermum* gibi yabani akrabalardır (Singh ve ark., 2021; Rahman ve ark., 2024).

Genomik alanındaki son gelişmeler, bu genetik kaynakların karakterizasyonunu ve kullanımını önemli ölçüde hızlandırmıştır. Genom çapında ilişki çalışmaları ve yüksek yoğunluklu SNP genotipleme, tuzluluk toleransı, kuraklık ve ısı stresi adaptasyonu, nodülasyon özellikleri ve tohum besin kalitesi ile ilişkili lokusları tanımlamıştır (Ahmed ve ark., 2021; Chandana ve ark., 2024; Sari ve ark., 2024). Başlıca hastalıklar üzerine paralel çalışmalar, antraknoz ve Fusarium solgunluğu için yeni direnç kaynakları ve aday genomik bölgeler tanımlamıştır (Raman ve ark., 2022; Dariva ve ark., 2024; Laxuman ve ark., 2024).

Bu bulgular, yüksek verimli ve iklime dayanıklı nohut çeşitleri geliştirmek için genetik kaynakların genomik araçlarla birlikte sistematik olarak kullanılması gerektiğini vurgulamaktadır. Yetiştirme öncesi süreçlerin güçlendirilmesi, yabani akrabalardan introgresyonun genişletilmesi ve gen bankası çeşitliliğinin tam olarak kullanılması, gelecekteki nohut ıslahı için stratejik öncelikler olmaya devam etmektedir (Jain ve ark., 2023; Shahnaz, 2025).

2. Nohut genetik kaynaklarının kapsamı ve türleri

Nohut genetik kaynakları, yerel çeşitler, gen bankası kayıtları, seçkin kültür çeşitleri, ıslah hatları, çekirdek ve mini çekirdek koleksiyonları ve yabani *Cicer* akrabaları dâhil olmak üzere geniş bir yelpazede materyalleri kapsar. Bu materyaller, nohudun genetik tabanını genişletmek ve verimlilik, stres toleransı ve kalite özellikleriyle ilişkili yeni alleller sağlamak için temel oluşturur. Küresel değerlendirmeler, yerel çeşitlerin ve geleneksel çiftçi çeşitlerinin, modern ıslah programlarında tam olarak kullanılmamış olan önemli bir fenotipik ve moleküler çeşitlilik barındırdığını göstermiştir (Singh ve ark., 2022; Zatybekov ve ark., 2025). Yerel koşullara uyum sağlamış bu materyaller, genellikle birden fazla strese karşı kombine toleransa sahiptir ve bu nedenle özellik introgresyonu için değerli bir kaynak oluşturur.

Gen bankası koleksiyonları, genellikle çekirdek ve mini çekirdek alt kümeler halinde yapılandırılır ve minimum yineleme ile maksimum çeşitliliği yakalayarak büyük ex situ koleksiyonların verimli bir şekilde değerlendirilmesini ve kullanılmasını kolaylaştırır. Nohutta bu tür yapılandırılmış panellerin kullanıldığı çalışmalar, agronomik özellikler, besin kalitesi, nodülasyon yeteneği ve başlıca streslere verilen tepkiler açısından geniş bir çeşitlilik göstermiş ve genom çapında ilişki çalışmalarında keşif popülasyonları olarak rollerini desteklemiştir (Chandana ve ark., 2024; Sari ve ark., 2024; Ruperao ve ark., 2025). Islah hatları ve seçkin kültür bitkileri, genetik olarak daha dar olsalar da, kültür bitkisi geliştirme için hemen kullanılabilir materyal oluştururlar ve çeşitli kaynaklardan gelen uygun allellerin introgresyonuna uygun birincil arka plan oluştururlar.

Nohut genetik kaynaklarının merkezi bir bileşeni, özellikle *Cicer reticulatum* ve *Cicer echinospermum* gibi, kültür türlerinin en yakın ataları olan yabani akrabalarıdır. Bu taksonlar, antraknoza, Fusarium solgunluğuna, nematodlara direnç ve kuraklık, tuzluluk, ısı ve alüminyum toksisitesine tolerans için alleller barındırır ve bunlar kültür germplazmında büyük ölçüde bulunmaz (Singh ve ark., 2021; Rahman ve ark., 2024; Jia ve ark., 2025). Ön ıslah programları, kültür ve yabani gen havuzlarını başarıyla birleştiren türler arası türevler üretmiş ve uygun allellerin tarımsal açıdan kabul edilebilir popülasyonlara aktarılmasının uygulanabilirliğini göstermiştir (Vadithya ve ark., 2025; Laxuman ve ark., 2024).

Genel olarak, nohut genetik kaynakları çok katmanlı ve birbirini tamamlayıcıdır. Yerel çeşitler yerel olarak uyarlanmış çeşitlilik sağlar, çekirdek koleksiyonlar sistematik değerlendirme

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

imkânı sunar, yabani akrabalar yeni alleller sağlar ve seçkin hatlar yüksek tarımsal değerler sunar. Her bir kategorinin etkili bir şekilde korunması, karakterize edilmesi ve hedefe yönelik kullanımı, artan biyotik ve abiyotik stres baskıları altında gelecekteki nohut ıslahı için belirleyici olacaktır (Shahnaz, 2025; Jain ve ark., 2023).

3. Nohut genetik kaynaklarının karakterizasyonu

Islah programlarında nohut genetik kaynaklarının etkin kullanımı, fenotipik, fizyolojik ve moleküler düzeylerde kapsamlı karakterizasyonuna bağlıdır. Geleneksel agro-morfolojik karakterizasyon, tohum verimi, bitki mimarisi, fenoloji ve stres tepkileri gibi özelliklerdeki değişkenliğin ilk değerlendirilmesi için temel öneme sahiptir ve ön ıslah aşamaları için umut vaat eden örneklerin tanımlanmasını sağlar (Zatybekov ve ark., 2025; Arbissie ve ark., 2025). Çoklu ortam değerlendirmeleri, yetiştiricilerin özellikle türler arası melezler ve yerel çeşit koleksiyonları arasında istikrarlı ve spesifik olarak adapte olmuş genotipleri ayırt etmelerini sağlamaktadır (Vadithya ve ark., 2025).

Yüksek yoğunluklu belirteçler kullanılarak yapılan moleküler karakterizasyon, çeşitliliğin değerlendirilebileceği çözünürlüğü büyük ölçüde artırmıştır. Genotipleme-sekanslama ve yeniden sekanslama yaklaşımları ile oluşturulan genom çapında SNP veri setleri, küresel germplazma panellerinde, mini çekirdek koleksiyonlarda ve ıslah hatlarında önemli gizli genetik varyasyonları ortaya çıkarmıştır (Ruperao ve ark., 2025; Singh ve ark., 2022). Bu analizler, popülasyon yapısı bilgisi, bağlantı dengesizliği modelleri ve erişimler arasındaki genetik ilişkiler hakkında bilgi sağlar ve bunlar, melezleme programları için ilişki panelleri ve ebeveyn havuzları oluşturmak için gereklidir (Shahnaz, 2025).

Genom çapında ilişki çalışmaları (GWAS), nohudun genetik kaynak karakterizasyonunun merkezi bir ayağını oluşturmaktadır. Çok sayıda çalışma, önemli tarımsal özellikler, nodülasyon kapasitesi, besin kalitesi ve çoklu abiyotik streslere tolerans için belirteç-özellik ilişkilerini tanımlamış ve böylece gözlemlenen fenotipik varyasyonu doğrudan altta yatan genomik bölgelere bağlamıştır (Chandana ve ark., 2024; Sari ve ark., 2024). Benzer şekilde, tuzluluk, ısı, kuraklık ve alüminyum toksisitesi için hedeflenen karakterizasyon, çeşitli germplazm panellerinde strese adaptasyon sağlayan allel varyantlarını ortaya çıkarmıştır (Ahmed ve ark., 2021; Danakumara ve ark., 2024; Jia ve ark., 2025).

Patojen odaklı karakterizasyon bir başka önemli bileşendir. Küresel taramalar ve moleküler analizler, yerel türleri, kültür çeşitlerini ve yabani akrabaları kapsayan panellerde antraknoz ve Fusarium solgunluğuna karşı yeni ve çeşitli direnç kaynakları belirlemiş ve direnç lokuslarının ve aday genlerin haritalandırılmasını sağlamıştır (Raman ve ark., 2022; Dariva ve ark., 2024; Alsamman ve ark., 2024; Laxuman ve ark., 2024). Bu bulgular, ham germplazmı kullanılabilir ıslah materyallerine dönüştürmede koordineli fenotipleme ve genomiklerin değerini göstermektedir.

Genel olarak, morfolojik değerlendirme, hassas fenotipleme ve yüksek verimli genomiklerin entegrasyonu, nohut genetik kaynaklarının karakterizasyonunu dönüştürmüştür. Bu entegre çerçeve, verimli allel madenciliğini mümkün kılar ve verim istikrarı, dayanıklılık ve gelişmiş besin kalitesini amaçlayan modern ıslah programlarına genetik çeşitliliğin uygulanmasını hızlandırır (Jain ve ark., 2023; Shahnaz, 2025).

4. Nohut ıslahında yabani akrabaların kullanımı ve ıslah öncesi/introgresyon

Yabani *Cicer* türleri, ıslah gen havuzunda nadir bulunan veya bulunmayan alleller barındırdıkları için nohut genetik kaynaklarının benzersiz ve yeri doldurulamaz bir bileşenini

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

oluştururlar. Bunlar arasında, kültür nohudun birincil ve ikincil gen havuzu akrabaları olan *Cicer reticulatum* ve *Cicer echinospermum*, adaptif özelliklerin donörleri olarak özel ilgi görmüştür (Singh ve ark., 2021). Kültüre alma sorunları, kültür nohudun çeşitliliğini azaltmıştır ve bu nedenle yabani türler, genetik tabanı genişletmek ve ortaya çıkan streslere karşı direnci artırmak için en umut verici yolu temsil etmektedir (Shahnaz, 2025).

Introgresyon ıslah çalışmaları, yabani akrabalardan tarımsal açıdan kabul edilebilir genotiplere uygun allellerin başarılı bir şekilde aktarılmasını sağlamıştır. Islah öncesi programlar, verim bileşenleri, fenoloji ve stres toleransı açısından önemli çeşitlilik gösteren türler arası melezler ve köprü hatları oluşturmuştur (Vadithya ve ark., 2025). Bu türler arası popülasyonlar, yabani kökenli allelleri istenen kültür özellikleriyle birleştiren istikrarlı hatları belirlemek için giderek artan bir şekilde çoklu ortamlarda değerlendirilmektedir.

Yabani akrabalar, biyotik stres direnci açısından özellikle değerlidir. antraknoz ve Fusarium solgunluğu için yeni direnç kaynakları ve aday genler, yabani *Cicer* türleri de dahil olmak üzere çeşitli germplazma panellerinde tanımlanmış ve dirençle ilişkili ana lokusların haritalanmasına yol açmıştır (Raman ve ark., 2022; Dariva ve ark., 2024; Alsamman ve ark., 2024; Laxuman ve ark., 2024). Benzer şekilde, introgresif hatlar kök lezyonu nematodlarına ve diğer toprak kaynaklı patojenlere karşı gelişmiş tolerans göstermiş ve yabani donörlerin savunma mekanizmaları deposu olarak değerini teyit etmiştir (Kumar ve ark., 2025).

Yabani akrabalardan abiyotik stres toleransının aktarılmasında da önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. *C. reticulatum* ve ilgili türlerden gelen allel varyasyonu, iklim değişikliği senaryolarında giderek daha fazla önem kazanan kuraklık, sıcaklık, tuzluluk ve alüminyum toksisitesine toleransa katkıda bulunmuştur (Ahmed ve ark., 2021; Jia ve ark., 2025; Danakumara ve ark., 2024). Bu alleller şu anda marker destekli seleksiyon ve genomik seleksiyon stratejileriyle kullanılmakta ve yabani kökenli varyasyonun seçkin ıslah süreçlerine dahil edilmesini hızlandırmaktadır (Jain ve ark., 2023; Lin ve ark., 2025).

Genel olarak, sistematik ön ıslah ve introgresyon programları yoluyla yabani akrabaların entegrasyonu, nohut ıslahını dar bir çeşitlilikten, geniş ve evrimsel olarak korunmuş varyasyonların kullanımına doğru kaydırmaktadır. Yüksek verimli, strese dayanıklı nohut çeşitlerinin geliştirilmesi için yabani *Cicer* türlerinin tam olarak değerlendirilmesi için germplazm koleksiyonu, türler arası melezleme ve genomik karakterizasyona sürekli yatırım yapılması gerekecektir (Shahnaz, 2025; Singh ve ark., 2021).

5. Biyotik streslere direnç için genetik kaynakların kullanımı

Antraknoz, Fusarium solgunluğu, nematodlar ve diğer yaprak ve toprak kaynaklı patojenler gibi biyotik stresler, dünya çapında nohut üretiminde önemli engeller oluşturmaktadır. Etkili ve kalıcı direnç, yerel çeşitler, gen bankası kaynakları ve yabani *Cicer* akrabaları dâhil olmak üzere çeşitli genetik kaynaklardan yeni allellerin tanımlanması ve kullanılmasına bağlıdır. Küresel germplazma panellerinin kapsamlı taranması, hastalık tepkisinde geniş bir varyasyon olduğunu ortaya çıkarmış ve özellikle antraknoz ve Fusarium solgunluğuna karşı yeni direnç kaynaklarının keşfedilmesine yol açmıştır (Raman ve ark., 2022; Dariva ve ark., 2024; Alsamman ve ark., 2024).

Genom çapında ilişki çalışmaları ve yüksek çözünürlüklü haritalama, direncin genetik yapısını incelemede önemli rol oynamıştır. Yerel çeşitler, seçkin kültür bitkileri ve yabani akrabalardan oluşan çeşitli paneller kullanılarak antraknoza direnç sağlayan birkaç lokus ve aday gen tespit edilmiş ve direnç ıslahında geniş genetik örneklemenin değeri ortaya konmuştur (Raman ve ark., 2022; Dariva ve ark., 2024; Lin, 2025). Benzer ilerlemeler Fusarium solgunluğu için de

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

kaydedilmiştir. Burada, çoklu ortamlarda fenotipleme ve moleküler analizler, dirençli hatların ve seçkin arka planlara introgresif olabilen kantitatif özellik lokuslarının tanımlanmasını sağlamıştır (Alsamman ve ark., 2024; Laxuman ve ark., 2024).

Nematodlar ve diğer toprak kaynaklı zararlılar da birçok üretim sisteminde ciddi verim kayıplarına neden olmaktadır. Mini çekirdek koleksiyonlar ve çeşitli germplazm panelleri üzerinde yapılan ilişki haritalama çalışmaları, kök lezyonu nematodlarına direnç gösteren genomik bölgeleri keşfetmiş ve yeni direnç allellerini keşfetmek için yapılandırılmış genetik kaynakların yararını vurgulamıştır (Kumar ve ark., 2025). Bu bulgular, kapsamlı germplazm karakterizasyonunun ıslah süreçlerine nasıl bilgi sağladığını göstermektedir.

Yabani *Cicer* akrabaları, direnç genleri açısından özellikle değerli bir rezervuarı temsil etmektedir. *Cicer reticulatum* ve ilgili türlerden introgresyon, kültür gen havuzunu genişletmiş ve çoklu patojenlere karşı gelişmiş direnç sağlayan alleller getirmiştir (Singh ve ark., 2021; Rahman ve ark., 2024; Vadithya ve ark., 2025). Çeşitli ortamlarda değerlendirilen türler arası türevler, yabani kaynaklı direncin kabul edilebilir agronomik performansla birleştirilebileceğini doğrulamıştır (Vadithya ve ark., 2025).

Genel olarak, çeşitli genetik kaynakların, yüksek verimli fenotipleme ve genomik araçların koordineli kullanımı, hastalığa dirençli nohut germplazmının gelişimini önemli ölçüde hızlandırmıştır. Gelecekteki ilerleme, piramit direnç lokuslarına, patojen değişkenliğinin izlenmesine ve dayanıklı ve geniş spektrumlu direnç sağlamak için yabani akrabalardan introgresyonun sürdürülmesine bağlı olacaktır (Jain ve ark., 2023; Shahnaz, 2025).

6. Abiyotik stres toleransı için genetik kaynakların kullanımı

Kuraklık, sıcaklık, tuzluluk ve alüminyum toksisitesi gibi abiyotik stresler, özellikle bu ürünün ağırlıklı olarak yetiştirildiği yarı kurak bölgelerde nohut üretimini önemli ölçüde sınırlamaktadır. Kültür nohudunun dar genetik tabanı, adaptasyon kapasitesini sınırlamaktadır. Bu nedenle, toleranslı genotipleri belirlemek ve ıslah programlarında uygun allelleri kullanmak için genetik kaynakların stratejik olarak kullanılması önemlidir (Singh ve ark., 2021; Shahnaz, 2025).

Küresel germplazm koleksiyonları, yerel çeşitler ve türler arası melezlerin kapsamlı fenotipleme çalışmaları, erken çiçeklenme, derin kök sistemleri, ozmotik uyum ve stres altında verimin korunması gibi abiyotik strese adaptasyonla ilişkili özelliklerde önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur (Vadithya ve ark., 2025; Zatybekov ve ark., 2025).

Tuzluluk toleransı, son zamanlarda yapılan genom çapında ilişki çalışmalarının ana hedeflerinden biri olmuştur. Çeşitli germplazm panellerine dayanan analizler, tuzlu koşullarda iyon homeostazını, büyüme sürdürülmesini ve verimi kontrol eden önemli belirteç-özellik ilişkileri ve genomik bölgeler belirlemiştir (Ahmed ve ark., 2021). Benzer şekilde, asidik topraklarda önemli bir kısıtlama olan alüminyum toksisitesine tolerans, GWAS yaklaşımları kullanılarak incelenmiş, küresel germplazm içindeki allel varyasyonu ortaya çıkarılmış ve yabani akrabaların donör olarak potansiyeli vurgulanmıştır (Jia ve ark., 2025).

Isı ve kuraklığa tolerans, iklim değişikliği senaryolarında giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Genomik analizlerle birleştirilen çoklu ortam değerlendirmeleri, yüksek sıcaklık ve su eksikliği koşullarında üreme başarısını sürdürebilen aday lokusları ve toleranslı genotipleri belirlemiştir (Danakumara ve ark., 2024; Istanbuli ve ark., 2024). Bu sonuçlar, çeşitli genetik kaynakların özelliklere özgü taranmasının, karmaşık abiyotik stres özellikleri için niceliksel varyasyonu etkili bir şekilde yakalayabildiğini göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Yabani *Cicer* türleri, abiyotik stres toleransının iyileştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. *Cicer reticulatum* ve ilgili taksonlardan introgresyon, kuraklık, tuzluluk, ısı ve alüminyum toksisitesine karşı gelişmiş tolerans sağlayan yeni allellerin kültür çeşitlerine aktarılmasını sağlamıştır (Rahman ve ark., 2024; Singh ve ark., 2021). Marker destekli ve genomik seleksiyon yaklaşımlarının daha sonra uygulanması, bu allellerin seçkin ıslah süreçlerinde kullanılmasını hızlandırmıştır (Jain ve ark., 2023; Lin ve ark., 2025).

Genel olarak, son çalışmalar, germplazmanın sistematik değerlendirmesi, yabani akrabaların hedefli kullanımı ve genomik destekli ıslahın, çoklu abiyotik streslere dayanıklı nohut çeşitleri geliştirmek için entegre bir yol sağladığını açıkça göstermektedir. Fenotipleme ağlarının ve genomik karakterizasyonun sürekli genişlemesi, giderek değişken hale gelen ortamlarda üretkenliği sürdürmek için merkezi bir rol oynayacaktır (Shahnaz, 2025).

7. Verim ve Verim Bileşenlerinin İyileştirilmesi için Genetik Kaynakların Kullanımı

Tane veriminin ve verimle ilgili özelliklerin iyileştirilmesi, dünya çapındaki nohut ıslah programlarının temel hedeflerinden biri olmaya devam etmektedir. Bununla birlikte, kültüre alınmış nohudun dar genetik tabanı ilerlemeyi sınırlamakta ve verim potansiyelini ve istikrarını artırmak için çeşitli genetik kaynakların sistematik olarak kullanılmasını vazgeçilmez kılmaktadır (Singh ve ark., 2021; Shahnaz, 2025). Yerel çeşitler, gen bankası örnekleri ve türler arası melezler, bitkide bakla sayısı, baklada tohum sayısı, 100 tohum ağırlığı ve hasat indeksi gibi temel verim bileşenleri için geniş bir çeşitlilik yelpazesi sunmaktadır.

Yabani *Cicer* akrabalarından geliştirilen türler arası melezler de dahil olmak üzere çeşitli genetik kaynak panellerinin çoklu çevre değerlendirmeleri, yüksek verimi geniş veya spesifik adaptasyonla birleştiren genotipleri belirlemiştir (Vadithya ve ark., 2025). Bu çalışmalar, tarımsal performansı tehlikeye atmadan biyokütle üretimini, tohum boyutunu ve fenolojik esnekliği artırmada yabani genlerin gen aktarımının değerini vurgulamaktadır. Benzer şekilde, bölgesel genetik kaynak koleksiyonlarının çeşitlilik analizleri, verim ve ilgili özelliklerde önemli fenotipik değişkenlik ortaya koymuştur ve bu değişkenlik ıslah süreçlerine dahil edilebilir (Zatybekov ve ark., 2025; Arbissie ve ark., 2025).

Yüksek verimli genomik araçlar, karmaşık nicel özelliklerin incelenmesini sağlayarak verim artışını büyük ölçüde hızlandırmıştır. Mini-çekirdek veya küresel çeşitlilik panellerinde yürütülen genom çapında ilişkilendirme çalışmaları, verim bileşenleri ve tarımsal adaptasyon için önemli işaretleyici-özellik ilişkilerini belirlemiş ve böylece işaretleyici destekli ve genomik seçim stratejilerini desteklemiştir (Ruperao ve ark., 2025; Chandana ve ark., 2024). Genomik seleksiyon yaklaşımları, hem optimal hem de stresli ortamlarda verim için seleksiyon doğruluğunu artırma ve ıslah döngülerini kısaltma potansiyeli de göstermiştir (Lin ve ark., 2025; Jain ve ark., 2023).

Stres koşulları altında verim istikrarı, giderek daha önemli bir ıslah hedefi haline gelmektedir. Çeşitli genetik kaynaklardan abiyotik ve biyotik stres direnci allellerinin entegrasyonu, kuraklık, ısı, tuzluluk, antraknoz ve Fusarium solgunluğu baskısı altında verimi koruyan hatların geliştirilmesini sağlamıştır (Alsamman ve ark., 2024; Laxuman ve ark., 2024). Bu tür çoklu özellik iyileştirmesi, direnç lokusları modern genomik araçlar kullanılarak yüksek verimli arka planlara piramitlendiğinde özellikle etkilidir.

Genel olarak, çeşitli germplazm kullanımının, hassas fenotiplemenin ve genomik destekli ıslahın birleşimi, nohutta tane verimini ve verim bileşeni özelliklerini artırmak için sağlam bir çerçeve sağlamaktadır. İklim değişkenliği ve gelişen üretim kısıtlamaları karşısında verim

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
artışlarını sürdürmek için, yerel çeşitlerin ve yabani akrabalarının sürekli olarak araştırılması ve genomik tahminlerin kullanılması şart olacaktır (Shahnaz, 2025; Singh ve ark., 2021).

8. Besin ve Kalite Özelliklerinin İyileştirilmesi için Genetik Kaynakların Kullanımı

Nohudun insan beslenmesindeki önemli rolü, özellikle bitkisel protein, mineraller ve mikro besin maddelerinin birincil kaynağı olduğu bölgelerde, besin ve kalite özelliklerinin nohut ıslahında merkezi hedefler haline gelmesini sağlamaktadır. Genetik kaynaklar, protein içeriği, mineral konsantrasyonları (örneğin, Fe, Zn), tohum boyutu ve fonksiyonel besin bileşenleri gibi tohum bileşimi özellikleri için zengin ve yeterince değerlendirilmemiş bir çeşitlilik sunmaktadır. Yerel çeşitler, mini-çekirdek koleksiyonları ve ıslah hatları da dahil olmak üzere çeşitli germplazm panellerini değerlendiren çalışmalar, bu özellikler için önemli fenotipik ve genotipik değişkenlik ortaya koymuştur (Zatybekov ve ark., 2025; Arbissie ve ark., 2025).

Genom çapında ilişkilendirme çalışmaları, besin özelliklerinin genetik temelini incelemede özellikle etkili olmuştur. Yapılandırılmış çeşitlilik panellerinden elde edilen verilerle, tohum mineral konsantrasyonları, tohum ağırlığı ve ilgili kalite parametreleri için önemli belirteç-özellik ilişkileri raporlanmış ve bu da biyolojik zenginleştirmeye yönelik ıslah için aday genomik bölgelerin belirlenmesini sağlamıştır (Sari ve ark., 2024; Salaria ve ark., 2023). Bu sonuçlar, nohut genetik materyalinde kapsamlı doğal varyasyonun bulunduğunu ve belirteç destekli ıslah yoluyla stratejik olarak harekete geçirilebileceğini göstermektedir.

Yabani *Cicer* akrabaları ve türler arası melezler de tohum büyüklüğü, bileşimi ve strese dayanıklı besin performansı ile ilişkili alleller sağlayarak besin değerinin artırılmasına katkıda bulunur. *Cicer reticulatum* ve ilgili türleri içeren introgresyon programları, genetik tabanı genişletmiş ve iyileştirilmiş besin özelliklerini kabul edilebilir agronomik adaptasyonla birleştiren yeni varyasyonlar yaratmıştır (Singh ve ark., 2021; Rahman ve ark., 2024; Vadithya ve ark., 2025).

Besin değerinin iyileştirilmesi, stres toleransı ve verim istikrarı ile yakından bağlantılıdır. Kuraklık ve tuzluluk toleransı için allelleri barındıran genetik materyal, stres altında genellikle daha yüksek tohum kalitesini korur ve bu da beslenme özelliklerinin daha geniş ıslah hedeflerine entegre edilmesinin önemini vurgular (Jain ve ark., 2023). Genomik seleksiyon yaklaşımları artık verim, stres direnci ve besin kalitesi gibi karmaşık özelliklerin eş zamanlı olarak iyileştirilmesine olanak tanıyarak genetik kazanımları hızlandırır (Lin ve ark., 2025; Ruperao ve ark., 2025).

Genel olarak, mevcut kanıtlar, çeşitli genetik kaynakların -yerel çeşitler, yabani akrabalar ve küresel genetik materyal panelleri- beslenme ve kalite özellikleri için önemli ölçüde kullanılmamış varyasyon içerdiğini açıkça göstermektedir. Sistematik karakterizasyon, allel madenciliği ve genomik destekli ıslah, yüksek agronomik performansı korurken yetersiz beslenmeyi ele alabilen besin açısından zengin nohut çeşitleri geliştirmek için gerekli olacaktır (Shahnaz, 2025).

9. Sonuç ve Gelecek Perspektifleri

Son araştırmalardan elde edilen toplu kanıtlar, nohut (*Cicer arietinum* L.) genetik kaynaklarının mevcut ve gelecekteki iyileştirme programlarının temel taşı olduğunu açıkça göstermektedir. Yerel çeşitler, gen bankası örnekleri, çekirdek ve mini çekirdek koleksiyonları, seçkin ıslah hatları ve özellikle yabani *Cicer* akrabaları birlikte verim, dayanıklılık ve besin kalitesi için geniş ve tamamlayıcı bir varyasyon rezervuarı sağlamaktadır (Shahnaz, 2025; Singh ve ark., 2022). Kültür nohudunun dar genetik tabanı önemli bir sınırlama olmaya devam etmektedir,

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ancak yabani akrabalardan ve türler arası melezlerden sistematik introgresyon bu tabanı başarıyla genişletmektedir (Singh ve ark., 2021; Rahman ve ark., 2024; Vadithya ve ark., 2025).

Biyotik ve abiyotik stres toleransının genetik mimarisinin incelenmesinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Genom çapında ilişkilendirme çalışmaları ve yüksek yoğunluklu SNP veri kümeleri, kuraklığa, sıcağa, tuzluluğa ve alüminyum toksisitesine toleransla ve antarknoza, Fusarium solgunluğuna ve nematodlara dirençle bağlantılı lokusları tanımlamıştır (Ahmed ve ark., 2021; Raman ve ark., 2022; Alsamman ve ark., 2024; Jia ve ark., 2025; Kumar ve ark., 2025). Bu bulgular, marker destekli seleksiyonu mümkün kılmakta ve olumlu allellerin elit genetik arka planlara aktarılmasını hızlandırmaktadır (Jain ve ark., 2023; Lin ve ark., 2025).

Besin değerinin artırılması paralel bir öncelik olarak ortaya çıkmaktadır. Tohum mineral konsantrasyonu ve besin kalitesi özelliklerinde önemli doğal varyasyonlar belgelenmiştir ve genomik araçlar, biyolojik zenginleştirmeye yönelik ıslahı desteklemek için giderek daha fazla kullanılmaktadır (Sari ve ark., 2024; Salaria ve ark., 2023; Arbissie ve ark., 2025). Önemli olarak, hem verimlilik hem de sağlık hedeflerini karşılamak için besin iyileştirmesi, verim ve stres direnci ile entegre edilmelidir.

İleriye dönük olarak, birkaç öncelik belirgindir. Birincisi, yabani ve yerel çeşitliliği büyük ölçekte seçkin çeşitlere dönüştürmek için ön ıslah ve introgresyon süreçleri güçlendirilmelidir (Singh ve ark., 2021; Rahman ve ark., 2024). İkincisi, karmaşık özellikler için genetik kazancı hızlandırmak amacıyla genomik seleksiyon da dahil olmak üzere genomik destekli ıslah rutin olarak entegre edilmelidir (Lin ve ark., 2025; Ruperao ve ark., 2025). Üçüncüsü, genotip-çevre etkileşimlerini ölçmek ve iklim değişikliği altında verim istikrarını sağlamak için çevreler arası genişletilmiş fenotipleme ağları şart olacaktır (Vadithya ve ark., 2025).

Sonuç olarak, çeşitli genetik kaynakların, hassas fenotiplemenin ve gelişmiş genomik araçların stratejik entegrasyonu, yüksek verimli, iklime dayanıklı ve besin değeri yüksek nohut çeşitleri geliştirmek için gerçekçi bir yol sunmaktadır. Genetik kaynakların korunmasına, karakterizasyonuna ve biyoinformatik odaklı ıslah çalışmalarına yapılan sürekli yatırım, küresel nohut çeşitliliğinin çiftçilerin tarlalarında somut genetik kazanımlara ne ölçüde dönüştürülebileceğini belirleyecektir (Shahnaz, 2025; Jain ve ark., 2023).

Kaynakça

Ahmed, S. M., Alsamman, A. M., Jighly, A., Mubarak, M. H., Al-Shamaa, K., Istanbuli, T., ... & Hamwieh, A. (2021). Genome-wide association analysis of chickpea germplasms differing for salinity tolerance based on DArTseq markers. *Plos one*, *16*(12), e0260709.

Alsamman, A. M., H. Mousa, K., Istanbuli, T., Abd El-Maksoud, M. M., Tawkaz, S., & Hamwieh, A. (2024). Unveiling the genetic basis of Fusarium wilt resistance in chickpea using GWAS analysis and characterization of candidate genes. *Frontiers in Genetics*, *14*, 1292009.

Arbissie, B., Abera, F. A., Fikre, A., Tsehaye, Y., & Abraha, A. (2025). Genetic variability and association of chickpea germplasms (Cicer arietinum L.) for nutritional profiles grown in northern Ethiopia. *Scientific Reports*, *15*(1), 36665.

Arriagada, O., Cacciuttolo, F., Cabeza, R. A., Carrasco, B., & Schwember, A. R. (2022). A comprehensive review on chickpea (Cicer arietinum L.) breeding for abiotic stress tolerance and climate change resilience. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(12), 6794.

Chandana, B. S., Mahto, R. K., Singh, R. K., Bhandari, A., Tandon, G., Singh, K. K., ... & Kumar, R. (2024). Genome-wide association mapping identifies novel SNPs for root nodulation and agronomic traits in chickpea. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1395938.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Danakumara, T., Kumar, N., Patil, B. S., Kumar, T., Bharadwaj, C., Jain, P. K., ... & Varshney, R. K. (2024). Unraveling the genetics of heat tolerance in chickpea landraces (Cicer arietinum L.) using genome-wide association studies. *Frontiers in plant science*, *15*, 1376381.

Dariva, F. D., Arman, A., Morales, M., Navasca, H., Shah, R., Atanda, S. A., ... & Bandillo, N. (2024). Identification of novel candidate genes for Ascochyta blight resistance in chickpea. *Scientific Reports*, *14*(1), 31415.

Istanbuli, T., Nassar, A. E., Abd El-Maksoud, M. M., Tawkaz, S., Alsamman, A. M., & Hamwieh, A. (2024). Genome-wide association study reveals SNP markers controlling drought tolerance and related agronomic traits in chickpea across multiple environments. *Frontiers in plant science*, *15*, 1260690.

Jain, S. K., Wettberg, E. J. V., Punia, S. S., Parihar, A. K., Lamichaney, A., Kumar, J., ... & Toker, C. (2023). Genomic-mediated breeding strategies for global warming in chickpeas (Cicer arietinum L.). *Agriculture*, *13*(9), 1721.

Jia, Y., Westcott, S., Pradeep, K., McFawn, L. A., Bussanich, J., Lin, Z., ... & Li, C. (2025). Large scale genome-wide association analysis identified QTLs associated with aluminum tolerance in chickpea. *Plant physiology and biochemistry*, 110753.

Kumar, A., Naik, Y. D., Gautam, V., Sahu, S., Valluri, V., Channale, S., ... & Thudi, M. (2025). Genome-wide association mapping reveals novel genes and genomic regions controlling root-lesion nematode resistance in chickpea mini core collection. *The plant genome*, *18*(1), e20508.

Laxuman, C., Naik, Y. D., Desai, B. K., Kenganal, M., Patil, B., Reddy, B. S., ... & Varshney, R. K. (2024). Development and evaluation of Fusarium wilt-resistant and high-yielding chickpea advanced breeding line, KCD 11. *The plant genome*, *17*(2), e20460.

Lin, Z., Li, Y., Riaz, A., Sudheesh, S., Yazdifar, S., Atieno, J., ... & Kaur, S. (2025). Assessing the utility of genomic selection to breed for durable Ascochyta blight resistance in chickpea. *The Plant Genome*, *18*(2), e70023.

Rahman, M. W., Deokar, A. A., Lindsay, D., & Tar'an, B. (2024). Novel alleles from Cicer reticulatum L. for genetic improvement of cultivated chickpeas identified through genome wide association analysis. *International Journal of Molecular Sciences*, *25*(1), 648.

Raman, R., Warren, A., Krysinska-Kaczmarek, M., Rohan, M., Sharma, N., Dron, N., ... & Hobson, K. (2022). Genome-wide association analyses track genomic regions for resistance to Ascochyta rabiei in Australian chickpea breeding germplasm. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 877266.

Ruperao, P., Vemula, A. K., Valluri, V. K., Manda, S., Srivastava, R. K., Mayes, S., ... & Kudapa, H. (2025). Assessing genetic diversity and performing genome-wide association studies (GWAS) using multiple marker types across desi, kabuli, and wild accessions in chickpea (Cicer arietinum L.). *The plant genome*, *18*(4), e70149.

Salaria, S., Boatwright, J. L., Johnson, N., Madurapperumage, A., Joshi, P., Thavarajah, P., ... & Thavarajah, D. (2023). Fatty acid composition and genome-wide associations of a chickpea (Cicer arietinum L.) diversity panel for biofortification efforts. *Scientific Reports*, *13*(1), 14002.

Sari, H., Uhdre, R., Wallace, L., Coyne, C. J., Bourland, B., Zhang, Z., ... & Warburton, M. L. (2024). Genome-wide association study in Chickpea (Cicer arietinum L.) for yield and nutritional components. *Euphytica*, *220*(6), 84.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Shahnaz, Z., Shahnaz, A., Ismail, A., Manzoor, Z., Iqbal, R., & Zia, M. A. B. (2025). Chickpea (Cicer arietinum) genetic diversity: genetic resources, breeding progress, and future prospects. *Crop and Pasture Science*, *76*(1).

Singh, M., Malhotra, N., & Singh, K. (2021). Broadening the genetic base of cultivated chickpea following introgression of wild Cicer species-progress, constraints and prospects. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *68*(6), 2181-2205.

Singh, R. K., Singh, C., Ambika, Chandana, B. S., Mahto, R. K., Patial, R., ... & Kumar, R. (2022). Exploring chickpea germplasm diversity for broadening the genetic base utilizing genomic resourses. *Frontiers in Genetics*, *13*, 905771.

Vadithya, A. S., Bindra, S., Sharma, N., Sanwal, S. K., S, S. P., Singh, I., ... & Singh, M. (2025). Multi-model statistical approaches for assessing the stability of Cicer interspecific derivatives in the trans and upper gangetic regions of India. *Scientific Reports*, *15*(1), 22230.

Zatybekov, A., Genievskaya, Y., Anuarbek, S., Kudaibergenov, M., Turuspekov, Y., & Abugalieva, S. (2025). Phenotypic and genetic diversity of chickpea (Cicer arietinum L.) accessions from Kazakhstan. *Diversity*, *17*(9), 664.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

BUĞDAY ISLAHINDA ÖNE ÇIKAN ISLAH KRİTERLERİ

Arş. Gör. Dr. İlker YÜCE

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, ilkeryuce001@gmail.com - 0000-0002-9761-3561

ÖZET

Buğday ıslahı, artan dünya nüfusu, iklim değişikliği ve kısıtlı doğal kaynaklar nedeniyle çok boyutlu ve hedef odaklı bir yapıya dönüşmüştür. Güncel buğday ıslah programlarında temel amaç, yüksek ve stabil tane verimini korurken biyotik ve abiyotik streslere dayanıklı, aynı zamanda endüstriyel ve beslenme kalitesi yüksek çeşitler geliştirmektir. Bu bağlamda tane verimi ve verim bileşenleri (bin tane ağırlığı, başak başına tane sayısı) hâlen temel seleksiyon kriterleri arasında yer almakla birlikte, çevre × genotip etkileşiminin etkisini azaltmaya yönelik stabilite ve adaptasyon özellikleri de giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Biyotik stresler açısından sarı pas, kara pas, kahverengi pas, Septoria tritici yaprak lekesi ve Fusarium yanıklığına dayanıklılık, modern buğday ıslahının öncelikli hedefleri arasındadır. Dayanıklılık genlerinin (ör. *Lr, Sr, Yr* ve *Stb* genleri) piramitlenmesi ve genomik seleksiyon yaklaşımları bu alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Abiyotik stres toleransı kapsamında kuraklık, yüksek sıcaklık ve azot kullanım etkinliği; kök mimarisi, fenoloji ve fizyolojik özellikler (kanopi sıcaklığı, NDVI) ile ilişkilendirilerek değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra protein oranı, gluten kalitesi, sedimantasyon değeri ve nişasta özellikleri gibi kalite kriterleri, buğdayın ekmeklik ve makarnalık kullanım amaçlarına uygunluğunu belirleyen temel unsurlardır. Son yıllarda yüksek verim ile kalite arasında denge kurmayı amaçlayan genomik ve hızlandırılmış ıslah (speed breeding) stratejileri öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, buğday ıslahında öne çıkan kriterler; verim, dayanıklılık, stres toleransı, kalite ve adaptasyonun bütüncül olarak ele alındığı çok disiplinli bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Buğday ıslahı, Islah kriterleri, Hastalık dayanıklılığı, Abiyotik stres toleransı

1. Giriş

Buğday, dünyada en yaygın olarak yetiştirilen tahıl türü olarak mısır ve pirinçle birlikte insan beslenmesindeki kalorilerin yaklaşık %60'ını sağlar; buğday tek başına küresel olarak tüketilen tüm kalori ve proteinin yaklaşık %20'sini sağlar, bu da onu zengin ve yoksul nüfuslar için hem enerji hem de protein beslenmesinin temel taşı haline getirir (Reynolds & Braun, 2022). Ilıman bölgelerden yarı kurak bölgelere kadar geniş bir yelpazede uyum sağlama yeteneği, tüm yerleşik kıtalarda yetiştirilmesine yol açmıştır ve Çin, Avrupa Birliği, Hindistan, Rusya, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve diğer ülkelerdeki geniş alanlar buğday üretimine ayrılmıştır (Nwadi & Okonkwo, 2025). Hacminin ötesinde, buğdayın öğütme ve fırınlamada teknolojik işlevselliği, özellikle de benzersiz glüten özellikleri, ekmek, makarna ve diğer işlenmiş ürünlere dayalı büyük gıda endüstrilerinin temelini oluşturmakta ve buğdayı küresel tarımsal gıda sistemlerinde stratejik bir emtia olarak konumlandırmaktadır (Nwadi & Okonkwo, 2025; Reynolds & Braun, 2022).

Tahminlere göre, küresel buğday talebi, özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde nüfus artışı, kentleşme ve beslenme alışkanlıklarının değişmesi ile paralel olarak artmaya devam edecektir. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), küresel buğday talebinin 2050 yılına kadar yaklaşık 840 milyon

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

tona ulaşabileceğini tahmin etmektedir. Bu rakam, mevcut üretim olan yaklaşık 750 milyon tonla karşılaştırıldığında, önemli miktarda ek üretim gereksinimi olduğunu göstermektedir (Dadrasi ve ark., 2023). Özellikle Kuzey Afrika, Orta Doğu ve Sahra Altı Afrika gibi birçok bölgede buğday tüketimi, iç üretim kapasitesinden daha hızlı artmaktadır. Bu durum, ithalata bağımlılığın artmasına, fiyat dalgalanmalarına ve jeopolitik şoklara maruz kalınmasına yol açmaktadır (Dadrasi ve ark., 2023; Erenstein ve ark., 2022). Karadeniz bölgesinde son zamanlarda yaşanan aksaklıklar, yoğun ihracat akışlarının ve yerel çatışmaların, buğday ithal eden ülkeler için nasıl hızla küresel arz belirsizliklerine ve gıda güvensizliğine dönüşebileceğini göstermiştir (Dadrasi ve ark., 2023; Nwadi & Okonkwo, 2025).

Tarihsel olarak, ıslah yoluyla sürdürülebilir genetik iyileştirme, buğdayda verim artışı ve istikrarın temel itici güçlerinden biri olmuştur. Yeşil Devrim'den bu yana, genetik kazanımlar ve geliştirilmiş tarım bilimi, küresel tahıl veriminin yaklaşık üç katına çıkmasını sağlarken, tahıl ekilen alan nispeten sabit kalmıştır (Reynolds & Braun, 2022). Ancak, son analizler, yıllık %0,7-1,0 düzeyindeki mevcut buğday verim artışlarının, 2050 yılı için öngörülen talebi karşılamak için yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu talebi karşılamak için, tarihsel genetik ilerleme oranının yaklaşık iki katına çıkması gerekmektedir (Reynolds ve ark., 2021). Bu zorluk, daha sık görülen sıcak dalgaları, kuraklıklar ve diğer abiyotik stresler şeklinde kendini gösteren hızlanan iklim değişikliği ve mevcut direnç kaynaklarını tehdit eden patojenlerin ve zararlıların sürekli evrimi ile daha da yoğunlaşmaktadır (Reynolds ve ark., 2021; Reynolds & Braun, 2022).

Bu bağlamda, buğday ıslahı, üretkenliği artırmak ve istikrara kavuşturmak için ölçeklenebilir, girdi verimliliği yüksek bir yol sağladığı için küresel gıda güvenliği açısından merkezi bir öneme sahiptir. İyileştirilmiş çeşitler geliştirildikten sonra, tohum sistemleri aracılığıyla hızla yaygınlaştırılabilir ve hektar başına nispeten düşük marjinal maliyetle büyük ölçekte benimsenebilir (Reynolds & Braun, 2022). Bu nedenle, modern buğday ıslahı gündemi sadece verim potansiyelini artırmaya değil, aynı zamanda ısı, kuraklık ve diğer stres koşulları altında verim istikrarını ve dayanıklılığı artırmaya, pas gibi önemli hastalıklara karşı direnci geliştirmeye ve mikro besinler için biyolojik zenginleştirme dahil olmak üzere son kullanım ve besin kalitesini iyileştirmeye odaklanmaktadır (Reynolds ve ark., 2021; Erenstein ve ark., 2022; Nwadi & Okonkwo, 2025). CIMMYT tarafından koordine edilen Uluslararası Buğday İyileştirme Ağı gibi küresel iş birliği ağları, çoklu ortam testlerini genomik, fenomik ve veri bilimi alanlarındaki gelişmiş araçlarla birleştirerek, translasyonel araştırmaların dünya çapında çiftçilerin tarlalarında uygulanan pratik genetik kazançlara dönüştürülmesini sağlamaktadır (Reynolds ve ark., 2021; Reynolds & Braun, 2022). Özetle, buğdayın insan beslenmesindeki hayati rolü ve üretim sistemleri üzerindeki artan baskı göz önüne alındığında, uygun fiyatlı buğday arzını sürdürmek ve küresel gıda güvenliğini korumak için stratejik ve sürdürülebilir ıslah çalışmaları vazgeçilmezdir.

2. Buğday Islahında Islah Hedefleri, Verim Artışı Ve Mevcut Yaklaşımlar

Modern buğday ıslahı hem çiftçilerin hem de tüketicilerin ihtiyaçlarını ve ortaya çıkan küresel zorlukları yansıtan, açıkça ifade edilmiş bir dizi hedef tarafından yönlendirilmektedir. Tarihsel olarak, verim potansiyeli ve adaptasyon başlıca hedefler olmuştur. Günümüzde ise bu hedefler, biyotik ve abiyotik streslere karşı direnç, son kullanım kalitesi ve kaynak kullanım verimliliği ile bütünleştirilmiştir (Reynolds & Braun, 2022). Genel amaç, teknolojik ve besinsel kaliteyi korurken veya iyileştirirken, giderek değişken hale gelen ortamlarda yüksek ve istikrarlı verimi sürdürebilen genotipler geliştirmektir (Reynolds ve ark., 2021). Artan nüfus, kişi başına düşen ekilebilir arazinin azalması ve tarımın çevresel ayak izini azaltma zorunluluğu, üretimi artırmanın en uygun maliyetli ve sürdürülebilir yolu olarak genetik kazancın önemini daha da artırmıştır (Reynolds ve ark., 2021).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Verim artışı, gıda mevcudiyetini ve çiftçilerin karlılığını doğrudan belirlediği için, ıslahın temel hedefi olmaya devam etmektedir. Verim potansiyeli, yani bir kültür bitkisinin büyük stresler olmadan tahıl üretme genetik kapasitesi, radyasyon kesilmesi, radyasyon kullanım verimliliği ve tahıla biyokütle bölünmesi gibi karmaşık fizyolojik süreçler tarafından belirlenir (Reynolds & Braun, 2022). Hem yüksek verim hem de istikrar elde etmek için, ısı, kuraklık, soğuk, tuzluluk ve besin kısıtlamalarına karşı toleransın yanı sıra pas, külleme ve septoria gibi önemli hastalıklara karşı dayanıklı direncin de aynı anda iyileştirilmesi gerekmektedir (Tiwari ve ark., 2024).

Günümüz buğday ıslah süreci, genetik kazancı hızlandırmak için geleneksel ıslahı moleküler ve genomik araçlarla birleştirmektedir. Soy ağacı, toplu ve tek tohum seleksiyonu gibi geleneksel yöntemler, karmaşık özelliklerin rekombinasyonu ve tarla düzeyinde seleksiyon için vazgeçilmez olmaya devam etmektedir (Reynolds & Braun, 2022). Bu yöntemler, hastalık direnci, tane kalitesi, adaptasyon ve abiyotik stres toleransı ile ilişkili ana genler için marker destekli seleksiyon ile giderek daha fazla tamamlanmaktadır (Tiwari ve ark., 2024). Genomik seleksiyon, artık genom çapında marker verilerinin kullanılmasıyla kantitatif olarak kalıtsal özelliklerin ıslah değerlerini tahmin etmeyi mümkün kılmakta, böylece ıslah döngülerini kısaltmakta ve erken nesillerde seleksiyon doğruluğunu artırmaktadır (Tiwari ve ark., 2024).

Diğer bir önemli ıslah hedefi ise kalite ve besin değerinin artırılmasıdır. Son kullanım kalitesi özellikleri - ekmeklik buğday için glüten direnci veya makarnalık buğday için irmik rengi gibi - moleküler belirteçler ve yakın kızılötesi fenotipleme yoluyla erken aşamalarda seleksiyon programlarına giderek daha fazla dahil edilmektedir (Reynolds & Braun, 2022). Çinko ve demir konsantrasyonu (biyo-zenginleştirme) gibi besin kalitesi özellikleri, birçok gelişmekte olan bölgede yaygın olan mikro besin eksikliklerini gidermek için araştırılmaktadır (Reynolds ve ark., 2021).

Genel olarak, mevcut ıslah stratejileri, dar verim odaklı iyileştirmeden çok özellikli, sistem odaklı ıslahına doğru bir geçişi yansıtmaktadır. Bu stratejiler, genetik, fizyoloji, tarım bilimi ve veri bilimini, germplazmı paylaşan ve geniş alanlarda denemeler yapan büyük uluslararası ağlar içinde birleştirmektedir. Bu entegrasyon, iklim değişikliği ve sınırlı doğal kaynaklar gibi kısıtlamalar altında gelecekteki küresel talebi karşılamak için gerekli olan hızlandırılmış genetik kazanımları elde etmek için gereklidir (Reynolds ve ark., 2021; Tiwari ve ark., 2024).

3. Verim İstikrarı ve Verim Bileşenlerinin Strese ve Yönetime Tepkisi

Modern buğday ıslahında, birim alanda tane verimi nihai hedef özellik olmaya devam etmekte, ancak ıslahçılar çeşitli ortamlarda verim ve verim bileşenlerinin istikrarına giderek daha fazla odaklanmaktadır. Tane verimi genellikle metrekarede başak sayısı, başakta tane sayısı ve bin tane ağırlığı olarak ayrıştırılır ve bu bileşenler arasındaki esneklik ve dengeler hem ortalama verimi hem de verim istikrarını destekler (Slafer ve ark., 2014; Vicentin ve ark., 2024). Büyük verim artışları genellikle birim alanda bitki sayısındaki artışlarla ilişkilidir, oysa tane ağırlığı daha ince, telafi edici bir rol oynamaya eğilimlidir. Bu hiyerarşik düzenleme, istikrarlı yüksek verim için ıslahın, değişken ortamlarda tane ağırlığını aşırı derecede olumsuz etkilemeden yüksek tane sayısını sürdürebilen genotiplerin birleştirilmesi gerektiğini düşünmektedir (Slafer ve ark., 2014; Vicentin ve ark., 2024).

Sıcaklık ve kuraklık gibi abiyotik stresler, özellikle çiçeklenme öncesindeki yaklaşık 20 gün ile çiçeklenme sonrasındaki 10 gün arasındaki kritik dönemde, öncelikle tane sayısını azaltır ve böylece verimi dengesizleştirir (Dolferus ve ark., 2011). Stres altında çiçek verimliliğini ve polen canlılığını koruyan ıslah stratejilerinin, olumsuz koşullar altında tane sayısını koruduğu ve stres eğilimli ortamlarda hem daha yüksek verim potansiyeli hem de daha iyi verim istikrarı sağladığı gösterilmiştir (Dolferus ve ark., 2011). Son fizyolojik çalışmalar, tane sayısı belirleme

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ve potansiyel tane ağırlığı için örtüşen gelişim pencerelerinin, bu iki önemli verim bileşeni arasındaki dengelemenin genetik ve fizyolojik temelini açıklamaya yardımcı olduğunu göstermektedir. Bu, olumsuz dengelemeleri en aza indiren genotiplerin geliştirilmesi için çok önemlidir (Vicentin ve ark., 2024).

Agronomik yönetim, verim bileşenlerinin ifadesini ve istikrarını belirlemek için genotip ile güçlü bir etkileşim içindedir. Uzun vadeli deneyler, uygun ürün rotasyonları ve dengeli mineral-organik gübrelemenin, esas olarak verim bileşenlerinin yıldan yıla iklimsel değişkenliğe tepkisini tamponlayarak, kışlık buğdayda hem ortalama verimi hem de zamansal istikrarını iyileştirdiğini göstermektedir (Wijata ve ark., 2025). Benzer şekilde, optimize edilmiş sulama rejimleri, başak sayısını azaltmadan tane ağırlığını ve bitki su verimliliğini artırabilir, böylece su kısıtlı koşullarda verimi iyileştirebilir (Bao ve ark., 2024). Taç seviyesinde, iyileştirilmiş azot yönetimi ve uzaktan algılama tabanlı azot durumunun izlenmesi, optimum yaprak ve başak fotosentetik kapasitesinin korunmasına yardımcı olur, tahıl dolumunu destekler ve değişken mevsimlerde verim bileşenlerini stabilize eder (Chen ve ark., 2019; Guo ve ark., 2018). Bu tür fizyolojik ve agronomik bilgileri ıslah programlarına entegre etmek, ıslahçıların verim bileşenleri hem yüksek hem de çevresel ve yönetimsel dalgalanmalara karşı dayanıklı genotipleri seçmelerine olanak tanır, bu da sürdürülebilir buğday üretimi için ıslah kriterlerini tanımlamanın merkezinde yer almaktadır (Slafer ve ark., 2014; Wijata ve ark., 2025).

4. Buğdayda Kaliteyle İlgili Islah Kriterleri

Buğday kalitesi, ekmek, makarna, erişte ve hamur işleri gibi belirli son kullanımlar için uygunluğunu belirleyen tane ve unun kimyasal, fiziksel ve teknolojik özelliklerini bir araya getiren çok boyutlu bir özellik kompleksidir. Bu özellikler arasında, tane protein içeriği ve protein bileşimi, özellikle gluten proteinlerinin dengesi ve yapısı, buğday hamuruna viskoelastik özellikler kazandırdığı için fırınlama performansı açısından çok önemlidir (Sharma ve ark., 2020). Gluten proteinleri temel olarak gluteninler ve gliadinlerden oluşmaktadır. Yüksek moleküler ağırlıklı glutenin alt birimlerinin oranı ve alt birim bileşimi, hamurun mukavemetini ve uzayabilirliğini güçlü bir şekilde etkiler, bu da somun hacmini ve dokusunu etkiler (Sharma ve ark., 2020; Guzmán, 2022). Bu nedenle, bu proteinlerdeki genetik çeşitlilik, istikrarlı ve istenen işleme özelliklerine sahip çeşitler üretmeyi amaçlayan kalite odaklı ıslah programlarının birincil hedefi olmaya devam etmektedir.

Protein bileşiminin yanı sıra, tane sertliği, nişasta özellikleri ve fiziksel tane özellikleri de son kullanım kalitesini etkiler. Tane sertliği, öğütme davranışını ve un partikül boyutu dağılımını etkiler. Bu da su emilimini ve hamur işleme özelliklerini belirler. Daha sert taneler, daha güçlü glüten ağları nedeniyle genellikle ekmek yapımına daha uygun unlar üretirken, daha yumuşak taneler kek veya bisküvi yapımında tercih edilebilir (Guzmán, 2022).

Kalite özellikleri, genotip, çevre ve bunların etkileşiminden güçlü bir şekilde etkilenir. Sonuç olarak, ıslahçılar, kaliteyi seçim endekslerine dahil ederken kalıtım ve fenotipleme zorluklarını dikkate almalıdır. Çalışmalar, genotipler arasında tane protein içeriği ve glüten gücünde yüksek değişkenlik olduğunu ve tahıl dolumu sırasında azot beslenmesi ve sıcaklık gibi çevresel faktörlerin bu özelliklerin ifadesini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir (Ebrahimzadegan ve ark., 2025; Subedi ve ark., 2023). Bu karmaşık kalıtım ve çevresel duyarlılık, tarihsel olarak verim ile karşılaştırıldığında kalite özelliklerindeki ilerleme hızını sınırlamıştır. Bununla birlikte, genomik seleksiyon ve gelişmiş tahmin modelleri, kapsamlı fenotipleme öncesinde bile, belirteç verilerine dayalı erken nesil seleksiyonunu mümkün kılarak, son kullanım kalitesine yönelik genetik kazanımları hızlandırmak için giderek daha fazla kullanılmaktadır (Sandhu ve ark., 2021).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Son olarak, ıslah programlarında buğday kalitesinin iyileştirilmesi, daha sağlıklı besin profilleri ve işleme verimliliği dahil olmak üzere, gelişen tüketici ve endüstri talepleriyle uyumlu olmalıdır. Örneğin, hasat sonrası tane olgunlaşmasının hamur özelliklerini ve belirli ürün kalitesini etkilediği gösterilmiştir (Niu ve ark., 2025) ve faydalı kalite özelliklerini değerlendirmek ve seçmek için yeni yaklaşımlar ortaya çıkmaya devam etmektedir. Bu nedenle, kalite için ıslah, çeşitlerin hem agronomik hem de son kullanım performans kriterlerini karşıladığından emin olmak için çoklu entegre özelliklerin bütünsel bir görünümü, hassas fenotipleme ve modern genomik araçlar gerektirir.

5. Fenolojiye Dayalı Islah Kriterleri

Fenoloji, özellikle çıkış zamanı, sap kalkma, başaklanma, çiçeklenme, fizyolojik olgunluk ve buğdayın adaptasyonunu belirleyen en güçlü faktörlerden biridir. Bitkinin gelişiminin mevsimsel sıcaklık ve su mevcudiyeti ile senkronizasyonu, stresin önlenmesi, verim oluşumu ve tahıl kalitesini büyük ölçüde etkiler. Sonuç olarak, ıslah programları, belirli hedef ortamlara uygun çeşitler geliştirmek için vernalizasyon gereksinimi, fotoperiyot duyarlılığı ve erkencilik özelliklerinin uygun kombinasyonlarını rutin olarak seçmektedir (Hyles ve ark., 2020). Bu gelişim kontrolleri, terminal başakçık oluşumundan çiçeklenme dönemine kadar olan ve tahıl sayısının büyük ölçüde belirlendiği önemli aşamaların süresini belirlemektedir.

Çiçeklenme zamanını yerel iklime uydurmak, iklim değişikliği altında özellikle önemlidir. Çiçeklenme dönemi civarında meydana gelen sıcaklık ve kuraklık olayları, tane oluşumunu ve dolayısıyla verimi azaltır. Sadece erken değil, optimal çiçeklenme için yapılan ıslah, bitkilerin sıcak, su kısıtlı bölgelerde terminal stresi önlemesini sağlarken, daha serin, yüksek verimli ortamlarda daha uzun mevsimlerden yararlanılmasını sağlar (Hyles ve ark., 2020; Bogard ve ark., 2014). Ekofizyolojik modelleme ve çoklu ortam denemeleri, başaklanma ve çiçeklenme tarihlerindeki küçük değişikliklerin, stres olaylarına göre hassas aşamaları yeniden konumlandırdığı için büyük verim farklılıkları yaratabileceğini göstermektedir (Bogard ve ark., 2014). Buna göre, fenoloji özellikleri artık dünya çapındaki mega ortamlar için ıslah karar destek sistemlerine açıkça entegre edilmiştir.

Fenolojik gelişim sadece stresin önlenmesini değil, aynı zamanda kaynak kullanım verimliliğini de belirler. Vejetatif ve generatif aşamalarının süresi, biyokütle birikimini ve bölünmesini etkileyerek tane sayısı ve bin tane ağırlığını etkiler. Daha serin koşullarda tane dolum süresinin uzatılması genellikle tane ağırlığını artırırken, sıcak ve kuru ortamlarda aşırı uzun döngüler risk maruziyetini artırabilir (Hyles ve ark., 2020).

Özetle, fenoloji, gelişimin genetik kontrolünü çevresel risk profilleri ve tarımsal yönetimle ilişkilendirdiği için temel bir ıslah kriteridir. *VRN* ve *PPD* allellerinin hedefli kullanımıyla başaklanma ve olgunlaşma modellerini optimize ederek ve bunu kantitatif fenoloji modellemesi ile birleştirerek, ıslahçılar, stresi önleyen, kaynakları verimli bir şekilde kullanan ve değişken iklimlerde istikrarlı verim sağlayan çeşitler üretebilirler.

6. Morfolojik Ve Agronomik Islah Kriterleri

Morfolojik özellikler, buğdayda ıslahın temel kriterleri olmaya devam etmektedir. Çünkü bunlar bitkinin ayakta kalma kabiliyetini, hasat edilebilirliğini, ışık alımını ve biyokütlenin taneye verimli bir şekilde dönüştürülmesini belirler. Bu özellikler arasında, bitki boyu tarihsel olarak en etkili olanıdır. Yeşil Devrim sırasında boyu kısaltılmış (*Rht*) genlerin kullanılması, yatma direncini artıran ve hasat indeksini yükselten yarı cüce çeşitlerin üretilmesini sağlamış, bu da gübre ve sulamaya daha iyi tepki verilmesi sayesinde önemli verim artışları elde edilmesini mümkün kılmıştır (Hedden, 2003; Peng ve ark., 1999). Bu *Rht* allelleri, gibberellin duyarlılığını azaltan modifiye DELLA proteinlerini kodlar, böylece sapları kısaltır ve güçlendirir, bu da yüksek girdi sistemlerinde yatma riskini azaltır (Peng ve ark., 1999).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Yatma direnci, verim kaybına, tane kalitesinin düşmesine, hasat verimsizliğine ve hastalık duyarlılığının artmasına neden olduğu için, ıslahın temel önceliği olmaya devam etmektedir. Yatma, sap yatması (sapların bükülmesi veya kırılması) veya kök yatması (kök plakası arızası) şeklinde olabilir ve oluşumu sap gücü, duvar kalınlığı, bitki boyu, rüzgâr, yağmur olayları ve bitki yönetimine bağlıdır (Berry ve ark., 2004). Yatmayı azaltmaya yönelik ıslah stratejileri arasında bitki boyunun optimize edilmesi, sap çapının ve sap duvarının mukavemetinin artırılması ve köklerin tutunma gücünün iyileştirilmesi ile dengeli azotlu gübreleme ve uygun ekim yoğunluğu gibi yönetim uygulamaları yer alır (Berry ve ark., 2004). Modern genotipler, aşırı kısa bitkilerin biyokütle üretimini ve rekabet gücünü tehlikeye atabileceği için, minimum değil, optimum boyda sert sapları vurgulamaktadır.

Bitki boyu dışında, taç mimarisi de giderek daha önemli bir seçim hedefi haline gelmektedir. Üst taç katmanlarındaki dik yapraklar, alt yapraklara ışık penetrasyonunu iyileştirir ve radyasyon kullanım verimliliğini artırırken, iyileştirilmiş yaprak açısı dağılımı, yoğun ağaçlık alanlarda kendi gölgesini azaltır. Taç özellikleri, yeşil kalma davranışıyla etkileşime girerek, tanedolumu sırasında fotosentez süresini etkiler ve strese yatkın ortamlarda verim istikrarına katkıda bulunur. Güçlü saplar, kompakt ama verimli başaklar ve optimal başak uzunluğu seçimi, yapısal bütünlüğü korurken asimilasyon akışını iyileştirerek katkıda bulunur.

Tarımsal açıdan önemli diğer morfolojik kriterler arasında homojenlik, harmanlanabilirlik ve mekanizasyon uyumluluğu bulunur. Daha kısa ve daha güçlü saman, mekanik hasadı kolaylaştırır ve tane kaybını azaltır. Tekdüze bitki boyu ve olgunluğu, biçerdöver verimliliğini artırır. Kök sistemi mimarisi de bir ıslah kriteri olarak ortaya çıkmaktadır, çünkü daha derin veya daha dikey yönelimli kökler kuraklık toleransını ve sabitlenmeyi iyileştirerek hem su kullanım verimliliğine hem de yatmaya karşı dirence katkıda bulunur.

7. Islah Kriteri Olarak Abiyotik Stres Toleransı

Abiotik stresler, küresel olarak buğday üretimini etkileyen en önemli kısıtlayıcı faktörler arasındadır. Kuraklık, sıcaklık, tuzluluk ve düşük sıcaklık stresi, bitki büyümesini ve döllenme başarısını azaltır ve dolayısıyla verimi doğrudan sınırlar. Bu stresler nadiren tek başına ortaya çıktığı ve genellikle kritik gelişim aşamalarında aynı anda meydana geldiği için, modern ıslah programları tek bir strese tolerans yerine çoklu stres dirençliliği vurgulamaktadır (Cattivelli ve ark., 2008).

Kuraklık toleransı, birçok buğday yetiştirme bölgesinde birincil hedeftir. Çiçeklenme, döllenme ve erken tane dolumu dönemlerinde su eksikliği, çiçek verimliliğini bozarak, tane dolumu süresini kısaltır ve sonuç olarak tane sayısını ve tane ağırlığını azaltır. Bu nedenle kuraklık koşullarında ıslah kriterleri arasında yeşil yaprak alanının korunması (“stay-green”), daha derin ve daha verimli kök sistemleri, stoma düzenlemesi ve sap rezervlerinin taneye verimli bir şekilde yeniden mobilizasyonu yer alır (Blum, 2010). Seçim, su kısıtlı koşullar altında verim ile ilişkili olan ve ıslah popülasyonlarında dolaylı seçim araçları olarak kullanılabilen ikincil fizyolojik özelliklere (örneğin, gölgelik sıcaklığı düşüşü ve karbon izotop ayrımı) giderek daha fazla dayanmaktadır (Reynolds ve ark., 2005).

Isı stresi, özellikle mayoz bölünme ve çiçeklenme sırasında polen canlılığını ve tane oluşumunu tehlikeye atarken, tane dolumu sırasında yaşlanmayı hızlandırır ve tane ağırlığını azaltır. Isıya dayanıklı genotipler genellikle yüksek sıcaklıkta fotosentezin sürdürülmesi, membran termostabilitesi, gecikmiş yaşlanma özellikleri gösterir ve bunlar birlikte gelişmekte olan tanelere asimilat tedarikini sürdürür (Farooq ve ark., 2011). Islah programları, üreme aşamalarında yüksek potansiyel verim ile yüksek sıcaklığa toleransı birleştiren germplazmayı tanımlamak için kontrollü ısı stresi ortamları ve ısı duyarlılık indeksleri kullanır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Tuz toleransı, sulanan ve kıyı üretim sistemlerinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Tuz stresi, hem ozmotik stres hem de iyon toksisitesi (özellikle Na^+ ve Cl^- birikimi) yaratarak büyümeyi engeller ve yaprak yaşlanmasına yol açar. Islah hedefleri arasında iyon dışlama, doku toleransı ve ozmotik uyum yer alır ve bunlar genellikle gelişmiş kök sistemi özellikleri ve uyumlu çözünen madde birikimi ile ilişkilidir (Munns & Tester, 2008). Buğdayda Na^+ dışlama ile ilişkili ana lokuslar için marker destekli seleksiyon, bu alandaki ilerlemeyi hızlandırmış ve fizyolojik anlayışın ıslah üzerinde nasıl bir etki yarattığını göstermiştir.

Tüm abiyotik stresler genelinde, modern bakış açısı fizyoloji, genomik ve yüksek verimli fenotiplemeyi entegre eden özellik temelli ıslahı vurgulamaktadır. İkincil özellikleri içeren genomik seçim modelleri, yönetilen stres tarama ortamları ile birlikte, iklim değişikliğine uyum sağlamış strese dayanıklı kültür bitkilerinin geliştirilmesini hızlandırmaktadır. Sonuç olarak, abiyotik strese tolerans için ıslah, verimi stabilize etmek, çiftçilerin gelirini korumak ve giderek değişken hale gelen iklimlerde gıda güvenliğini sağlamak için vazgeçilmezdir.

8. Islah Kriteri Olarak Biyotik Stres Direnci

Mantar, bakteri, viral patojenler ve zararlı böceklerin neden olduğu biyotik stresler, dünya çapında buğday üretiminin önündeki en büyük engeller olmaya devam etmektedir. Bunlar arasında, *Puccinia triticina*, *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* ve *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* gibi pas hastalıkları, salgın potansiyelleri, hızlı evrimleri ve duyarlı kültür bitkilerinde ciddi verim kayıplarına neden olma kapasiteleri nedeniyle ekonomik açıdan en önemli olanlardır. Bu nedenle, paslara karşı dayanıklılık, onlarca yıldır ıslahın temel kriterlerinden biri olmuştur. İki tamamlayıcı direnç stratejisi kullanılmaktadır: genellikle hızla aşılabilen ana R genlerine dayanan ırk spesifik (kalitatif) direnç ve genellikle poligenik ve daha dayanıklı olan yetişkin bitki direnci (APR) veya ırk spesifik olmayan direnç (Kolmer, 2005; Chen, 2013). *Lr34*, *Lr46* ve *Sr2* gibi önemli genler, kısmi, yavaş paslanma direnci sağlar ve modern çeşitlerde piramit direncin temel bileşenleri olmaya devam eder (Diaz ve ark., 2017).

Pasların yanı sıra, *Septoria tritici*, Fusarium başak yanıklığı (FHB) ve külleme de küresel olarak önemli hastalıklardır. FHB, verimi düşürmekle kalmayıp, tahılları deoksinivalenol gibi mikotoksinlerle kontamine ederek gıda ve yem güvenliği riskleri oluşturduğu için özellikle zararlıdır. FHB direnci için ıslah, iki ana bileşene odaklanır: başak içindeki ilk hastalık yayılmasına direnç ve mikotoksin birikimine direnç (Bai & Shaner, 2004). Asya germplazmasından elde edilen *Fhb1* gibi kantitatif özellik lokusları yaygın olarak introgresyon yapılmış ve şu anda moleküler belirteçler kullanılarak rutin olarak izlenmektedir. *Septoria tritici* lekesinde kantitatif direnç baskındır; belirteç destekli ve genomik seleksiyon yaklaşımları, küçük etkili lokusları seçkin arka planlarda biriktirmek için giderek daha fazla kullanılmaktadır (Torriani ve ark., 2015).

Hessian sineği (Mayetiola destructor), Rus buğday yaprak biti (Diuraphis noxia) ve çeşitli tahıl yaprak bitleri gibi zararlı böcekler de ıslah önceliklerini belirlemektedir. Direnç mekanizmaları arasında antibiyoz, antiksinoz ve tolerans bulunur. Bunlar genellikle belirli zararlı biyotiplerin bulunduğu bölgelerde kullanılabilen ana genler tarafından desteklenir (Smith & Clement, 2012). Ancak, pas patojenlerinde olduğu gibi, zararlı popülasyonları da hızla evrimleşmektedir. Bu nedenle, direnç kırılmasını geciktirmek için gen piramidlenmesi ve direnç kaynaklarının çeşitlendirilmesi esastır.

Genomik araçlar, direnç genlerinin klonlanmasını ve tanı belirteçlerinin geliştirilmesini hızlandırarak, direncin daha hassas bir şekilde piramitleştirilmesini ve yönetilmesini sağlamıştır. Aynı zamanda, yetiştiriciler, dayanıklılığı artırmak için kısmi, kantitatif direnci uygun tarım uygulamaları (ürün rotasyonu, kalıntı yönetimi) ve kimyasal kontrol ile entegre bir

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

zararlı yönetimi çerçevesi içinde giderek daha fazla entegre etmektedir (Chen, 2013; Torriani ve ark., 2015).

9. Genetik Kaynaklar Ve Buğday Islahında Yerel Çeşitlerin Ve Yabani Akrabaların Kullanımı

Buğday ıslahının uzun vadeli başarısı, tarımsal, kalite ve strese dayanıklılık özellikleri için genetik çeşitliliğe sürekli erişime bağlıdır. Modern elit germplazm, tekrarlanan seleksiyon döngüleri ve genetik darboğazlar nedeniyle genellikle azalmış çeşitlilik gösterir ve bu da gelecekteki iyileştirmeler için yerel çeşitler, eski kültür çeşitleri ve yabani akrabalar (*Triticum/Aegilops* türleri) dahil olmak üzere genetik kaynakların stratejik değerini vurgular (Feuillet ve ark., 2008). Yüzyıllar boyunca düşük girdi ortamlarında çiftçilerin seçimi ile şekillenen yerel çeşitler, elit germplazmda nadir bulunan veya hiç bulunmayan kuraklık toleransı, hastalık direnci ve tane kalitesi için adaptif alleller barındırır (Lopes ve ark., 2015).

Buğday yerel çeşitleri, allel çeşitliliği açısından özellikle zengin rezervuarlar sunmaktadır. Çoklu ortam değerlendirmeleri, yerel çeşitlerin sıcaklık ve kuraklık altında verim istikrarı, kök sistemi plastisitesi ve tanedeki mikro besin konsantrasyonu (çinko ve demir) ile ilişkili alleller sağladığını göstermektedir (Lopes ve ark., 2015). Bu tür allellerin introgresyonu, ardından tekrarlanan seleksiyon ve geri melezleme, özellikle Güney Asya ve Batı Asya-Kuzey Afrika'da iklim değişikliği senaryolarına uyum sağlamış ön ıslah hatları oluşturmuştur. Yerel çeşitlerin genomik karakterizasyonu ve genom çapında ilişki panellerinin oluşturulması, yararlı lokusların tanımlanmasını ve bunların uygulamalı ıslah programlarında kullanılmasını hızlandırmıştır (Sansaloni ve ark., 2020).

Buğdayın yabani akrabaları, özellikle *Aegilops* ve *Thinopyrum* türleri, pas, külleme, Hessian sineği ve abiyotik streslere karşı benzersiz direnç kaynakları sağlar. Klasik örnekler arasında, yabani türlerden introgresyonla elde edilen ve hala piramit stratejilerinde kullanılan *Sr36, Sr47* ve *Lr19* sayılabilir (Feuillet ve ark., 2008).

Genetik kaynakların korunması ve karakterizasyonu, ex situ gen bankalarına ve in situ/çiftlikte korumaya dayanmaktadır. CIMMYT ve ICARDA koleksiyonları, ulusal gen bankalarıyla birlikte, hedefli kullanımı kolaylaştırmak için giderek daha fazla tam sekanslama veya genotipleme yapılan yüz binlerce erişimi muhafaza etmektedir (Sansaloni ve ark., 2020). Dijital sekans bilgileri, pangenom kaynakları ve yüksek yoğunluklu SNP dizileri, artık yetiştiricilerin çeşitliliği daha verimli bir şekilde araştırmalarını ve introgresyon segmentlerini hassas bir şekilde takip ederek bağlantı sürüklemesini önlemelerini mümkün kılmaktadır.

Özetle, genetik kaynaklar sürdürülebilir buğday ıslahının bel kemiğini oluşturmaktadır. Modern genomik ve ıslah öncesi süreçlerle desteklenen yerli çeşitlerin, sentetik buğdayların ve yabani akrabaların stratejik kullanımı, ıslahçıların küresel gıda güvenliği için kritik öneme sahip verim, kalite ve dayanıklılık özellikleri için yeni varyasyonlara erişmeye devam etmelerini sağlamaktadır.

Kaynakça

Bai, G., & Shaner, G. (2004). Management and resistance in wheat and barley to Fusarium head blight. *Annu. Rev. Phytopathol.*, *42*(1), 135-161.

Bao, X., Zhang, B., Dai, M., Liu, X., Ren, J., Gu, L., & Zhen, W. (2024). Improvement of grain weight and crop water productivity in winter wheat by light and frequent irrigation based on crop evapotranspiration. *Agricultural Water Management*, *301*, 108922.

Berry, P. M., Sterling, M., Spink, J. H., Baker, C. J., Sylvester-Bradley, R., Mooney, S. J., ... & Ennos, A. R. (2004). Understanding and reducing lodging in cereals. *Advances in agronomy*, *84*(04), 215-269.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Blum, A. (2010). Plant breeding for water-limited environments. Springer Science & Business Media.

Bogard, M., Ravel, C., Paux, E., Bordes, J., Balfourier, F., Chapman, S. C., ... & Allard, V. (2014). Predictions of heading date in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using QTL-based parameters of an ecophysiological model. *Journal of experimental botany*, *65*(20), 5849-5865.

Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F. W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Francia, E., ... & Stanca, A. M. (2008). Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. *Field crops research*, *105*(1-2), 1-14.

Chen, W., Zhang, J., & Deng, X. (2019). The spike weight contribution of the photosynthetic area above the upper internode in a winter wheat under different nitrogen and mulching regimes. *The Crop Journal*, *7*(1), 89-100.

Chen, X. (2013). High-temperature adult-plant resistance, key for sustainable control of stripe rust. *American Journal of Plant Sciences*, *4*(3), 608-627.

Dadrasi, A., Chaichi, M., Nehbandani, A., Sheikhi, A., Salmani, F., & Nemati, A. (2023). Addressing food insecurity: An exploration of wheat production expansion. *Plos one*, *18*(12), e0290684.

Dolferus, R., Ji, X., & Richards, R. A. (2011). Abiotic stress and control of grain number in cereals. *Plant science*, *181*(4), 331-341.

Ebrahimzadegan, R., Sanati, A., & Mirzaghaderi, G. (2025). High variation in the gluten composition and grain protein content among synthetic wheat lines. *Plos one*, *20*(10), e0331619.

Erenstein, O., Jaleta, M., Mottaleb, K. A., Sonder, K., Donovan, J., & Braun, H. J. (2022). Global trends in wheat production, consumption and trade. In *Wheat improvement: food security in a changing climate* (pp. 47-66). Cham: Springer International Publishing.

Farooq, M., Bramley, H., Palta, J. A., & Siddique, K. H. (2011). Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. *Critical Reviews in Plant Sciences*, *30*(6), 491-507.

Feuillet, C., Langridge, P., & Waugh, R. (2008). Cereal breeding takes a walk on the wild side. *Trends in genetics*, *24*(1), 24-32.

Guo, B. B., Zhu, Y. J., Feng, W., He, L., Wu, Y. P., Zhou, Y., ... & Ma, Y. (2018). Remotely estimating aerial N uptake in winter wheat using red-edge area index from multi-angular hyperspectral data. *Frontiers in plant science*, *9*, 675.

Guzmán, C., Ibba, M. I., Álvarez, J. B., Sissons, M., & Morris, C. (2022). Wheat quality. In *Wheat improvement: Food security in a changing climate* (pp. 177-193). Cham: Springer International Publishing.

Hedden, P. (2003). The genes of the Green Revolution. *TRENDS in Genetics*, *19*(1), 5-9.

Hyles, J., Bloomfield, M. T., Hunt, J. R., Trethowan, R. M., & Trevaskis, B. (2020). Phenology and related traits for wheat adaptation. *Heredity*, *125*(6), 417-430.

Kolmer, J. A. (2005). Tracking wheat rust on a continental scale. *Current opinion in plant biology*, *8*(4), 441-449.

Lopes, M. S., El-Basyoni, I., Baenziger, P. S., Singh, S., Royo, C., Ozbek, K., ... & Vikram, P. (2015). Exploiting genetic diversity from landraces in wheat breeding for adaptation to climate change. *Journal of experimental botany*, *66*(12), 3477-3486.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, *59*(1), 651-681.

Niu, X. Y., Zhu, K. X., & Guo, X. N. (2025). Wheat grains post-harvest maturation improving the quality of dough and steamed bread: Insights into physicochemical characteristics of protein and carbohydrates. *Food Hydrocolloids*, *164*, 111161.

Nwadi, O. M. M., & Okonkwo, T. M. (2025). Wheat Production and Food Security: Global Statistics and the Nigerian Situation â€“A Review. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, *10*(8), 1442-1450.

Peng, J., Richards, D. E., Hartley, N. M., Murphy, G. P., Devos, K. M., Flintham, J. E., ... & Harberd, N. P. (1999). 'Green revolution'genes encode mutant gibberellin response modulators. *nature*, *400*(6741), 256-261.

Reynolds, M. P., & Braun, H. J. (2022). *Wheat improvement: food security in a changing climate* (p. 629). Springer Nature.

Reynolds, M. P., Lewis, J. M., Ammar, K., Basnet, B. R., Crespo-Herrera, L., Crossa, J., ... & Braun, H. J. (2021). Harnessing translational research in wheat for climate resilience. *Journal of Experimental Botany*, *72*(14), 5134-5157.

Reynolds, M. P., Mujeeb-Kazi, A., & Sawkins, M. (2005). Prospects for utilising plant-adaptive mechanisms to improve wheat and other crops in drought-and salinity-prone environments. *Annals of applied biology*, *146*(2), 239-259.

Sandhu, K. S., Aoun, M., Morris, C. F., & Carter, A. H. (2021). Genomic selection for end-use quality and processing traits in soft white winter wheat breeding program with machine and deep learning models. *Biology*, *10*(7), 689.

Sansaloni, C., Franco, J., Santos, B., Percival-Alwyn, L., Singh, S., Petroli, C., ... & Pixley, K. (2020). Diversity analysis of 80,000 wheat accessions reveals consequences and opportunities of selection footprints. *Nature communications*, *11*(1), 4572.

Sharma, A., Garg, S., Sheikh, I., Vyas, P., & Dhaliwal, H. S. (2020). Effect of wheat grain protein composition on end-use quality. *Journal of food science and technology*, *57*(8), 2771-2785.

Slafer, G. A., Savin, R., & Sadras, V. O. (2014). Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research*, *157*, 71-83.

Smith, C. M., & Clement, S. L. (2012). Molecular bases of plant resistance to arthropods. *Annual review of entomology*, *57*(1), 309-328.

Subedi, M., Ghimire, B., Bagwell, J. W., Buck, J. W., & Mergoum, M. (2023). Wheat end-use quality: State of art, genetics, genomics-assisted improvement, future challenges, and opportunities. *Frontiers in Genetics*, *13*, 1032601.

Tiwari, V. K., Saripalli, G., Sharma, P. K., & Poland, J. (2024). Wheat genomics: genomes, pangenomes, and beyond. *Trends in Genetics*.

Torriani, S. F., Melichar, J. P., Mills, C., Pain, N., Sierotzki, H., & Courbot, M. (2015). Zymoseptoria tritici: a major threat to wheat production, integrated approaches to control. *Fungal Genetics and Biology*, *79*, 8-12.

Vicentin, L., Canales, J., & Calderini, D. F. (2024). The trade-off between grain weight and grain number in wheat is explained by the overlapping of the key phases determining these major yield components. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1380429.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Wijata, M., Suwara, I., Studnicki, M., Perzanowska, A., Ghafoor, A. Z., & Leszczyńska, R. (2025). Yield and Yield Components Stability of Winter Wheat and Spring Barley in Long-Term Experiment in Poland. *Sustainability*, *17*(10), 4577.

ANTALYA İLİ MEYVE BAHÇELERİNDEKİ TOPRAK ÖRNEKLERİNDEN İZOLE EDİLEN ENDOFİTİK BAKTERİLER VE FUNGUSLAR

Prof. Dr. Esin BASIM[1]

[1]Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Organik Tarım Programı, Antalya, esinbasim@akdeniz.edu.tr

0000-0001-9188-6609

Prof. Dr. Hüseyin BASIM[2]

[2]Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Antalya, hbasim@akdeniz.edu.tr,

0000-0002-8059-3680

ÖZET

Bitki hastalıklarına karşı endofitik bakteri ve fungusların kullanımı son yıllarda biyolojik mücadele çalışmalarında önem kazanmıştır. Endofitler, bitkilerin canlı iç dokularında kolonize olarak yaşayan mikroorganizmalardır. Endofitlerin bünyelerinde yer alan sekonder metabolitler biyolojik mücadele çalışmaları için önemlidir. Bu çalışmada, Antalya ili içinde yer alan farklı meyve bahçelerindeki (limon, portakal, mandarin, bergamut, turunç, elma, nar) ağaçların taç iz düşümlerindeki topraklardan toprak örnekleri alınarak laboratuvara getirilmiştir. Bu örneklerden endofitik bakteriler ve funguslar izole edilmiştir. İzole edilen bu endofitik bakteri ve funguslar morfolojik ve biyokimyasal özelliklerine göre gruplanmış ve bitki patojeni olanlar eleminasyona tabi tutulmuştur. Ortaya çıkan her bir endofit fungus kolonileri, spor izolasyonu ve tanımlama amacıyla başka petri kutularına aktarılmıştır. Her bir meyve ağacı topraklarından farklı sayılarda fungal ve bakteriyel endofitler izole edilmiştir. En yüksek fungal ve bakteriyel endofit çeşitliliği, nar, bergamut, turunç ve limon bahçe topraklarından elde edilmiştir. Elde edilen endofitik bakteriler ile fungusların detaylı çalışmalarının yapılması, *in vitro ve in vivo* koşullarda etkinliklerinin denemeleri devam etmekte olup farklı bitki patojeni bakteri ve funguslara karşı endofit kullanımının alternatif bir çözüm olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Endofitik Bakteriler, Endofitik Funguslar, Meyve Bahçesi, Antalya

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ENDOPHYTIC BACTERIA AND FUNGI ISOLATED FROM SOIL SAMPLES IN ORCHARDS OF ANTALYA PROVINCE

Prof. Dr. Esin BASIM[1]

[1]Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Organic Agriculture, Antalya, esinbasim@akdeniz.edu.tr
0000-0001-9188-6609

Prof. Dr. Hüseyin BASIM[2]

[2]Akdeniz University, Agriculture Faculty, Plant Protection Department, Antalya, hbasim@akdeniz.edu.tr
0000-0002-8059-3680

ABSTRACT

The use of endophytic bacteria and fungi in biological control of plant diseases has gained importance in recent years. Endophytes are microorganisms that colonize and live within the living internal tissues of plants. Secondary metabolites produced by endophytes are important for biological control studies. In this study, soil samples were collected from beneath the canopy projections of trees (lemon, orange, mandarin, bergamot, bitter orange, apple, pomegranate) in different orchards in Antalya province and brought to the laboratory. Endophytic bacteria and fungi were isolated from these samples. The isolated endophytic bacteria and fungi were grouped according to their morphological and biochemical characteristics, and those identified as plant pathogenic were eliminated. Each resulting endophytic fungal colony was transferred to other Petri dishes for spore isolation and identification. Different numbers of fungal and bacterial endophytes were isolated from the soil of each fruit tree. The highest diversity of fungal and bacterial endophytes was observed in pomegranate, bergamot, bitter orange, and lemon orchard soils. Detailed studies of the obtained endophytic bacteria and fungi are ongoing, and their efficacy is being tested under *in vitro* and *in vivo* conditions. It is thought that the use of endophytes against various plant-pathogenic bacteria and fungi could be an alternative solution

Key Words: Endophytic Bacteria, Endophytic Fungi, Orchard, Antalya

1.GİRİŞ

Endofitik mikroorganizmalar; bitkilerde herhangi bir hastalık oluşturmadan bitkilerle birlikte yaşayan ve bitki içerisinde yaşamını sürdüren organizmalardır (Schulz ve Boyle, 2005). Bitki dokularında çeşitli enzimler ve sekonder metabolitler oluşturarak kolonize olurlar ve bu şekilde bitki içerisindeki diğer mikroorganizmalarla etkileşime girerek onların faaliyetlerini baskılayabilir ya da teşvik edebilirler (Porras-Alfaro ve Bayman, 2011). Bu şekildeki endofitik organizmalar bitkilerin iletim dokularında yani ksilem ve floem olmak üzere bitkilerin tüm

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

kısımlarında bulunabilmektedirler (Tejesvi ve ark., 2007; Beram ve ark., 2016). Endofitik funguslar bitkileri çeşitli hastalık ve zararlı etmenlerden korurken aynı zamanda abiyotik stres faktörlerini azaltmada, içsel fizyolojik stresleri iyileştirmede de bitkiler üzerinde yararlı etkilere sahiptirler. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar sonucunda, endofitik funguslar tarafından üretilen alkaloitler, peptitler, steroidler, terpenoidler, fenilpropanoidler, alifatik bileşikler, kinonlar ve flavonoidler, ve aynı zamanda esterler, lipitler, alkoller,ketonlar gibi uçucu organik bileşikler (VOC'ler) dahil olmak üzere çok çeşitli antimikrobiyal bileşikler rapor edilmiştir (Malhadas ve ark., 2017). Bitki hastalıklarına karşı bu endofitik bakteri ve fungusların kullanımı son yıllarda biyolojik mücadele çalışmalarında önem kazanmıştır. Bu çalışmada, Antalya ili içinde yer alan farklı meyve bahçelerindeki (limon, portakal, mandarin, bergamut, turunç, elma, nar) ağaçların taç iz düşümlerindeki topraklardan endofitik bakteriler ve funguslar izole edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Antalya ili içinde (Merkez, Aksu, Döşemealtı, Kemer, Kumluca, Finike, Korkuteli, Elmalı, Gazipaşa) yer alan farklı meyve bahçelerindeki (limon, portakal, mandarin, bergamut, turunç, elma, nar) ağaçların taç iz düşümlerindeki topraklardan toprak örnekleri alınarak laboratuvara getirilmiştir. Toprak örnekleri ağaçların taç iz düşümlerinin 3 farklı noktasından toprak sondası ile 15-20 cm derinliğinden 1 kg olarak alınmıştır. Örnekler steril polietilen torbalara aktarılmıştır. Her bir torba etiketlenmiş ve korunaklı bir şekilde analiz için laboratuvara getirilmiştir. Örnek alınırken her bir örnek alımı sonrası toprak sondası %70 etil alkol ile temizlenerek steril edilerek kullanılmıştır. Getirilen örnekler kullanılıncaya kadar $+4^0$C de buzdolabında muhafaza edilmiştir. Toplanan toprak örnekleri iyice harmanlanıp ardından bitki kalıntıları, çakıl, taş parçaları temizlenip homojen hale getirilmiş ve 2 mm'lik bir elekten geçirilmiştir Elenmiş topraklar kilitli bir torbaya konularak analiz için oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir. Bakterileri izole etmek için Nutrient Agar (NA) ve fungal etmenleri izole etmek için ise Patates Dekstroz Agar (PDA), besi ortamları kullanılmıştır. Her bir toprak örneklerinden 10 g tartılmış ve 90 ml fosfat buffer'a eklenmiştir. Süspansiyon 5 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda çalkalanmıştır. Ardından seyreltme işlemi için, etiketlenmiş içinde 9 ml fosfat buffer bulunan tüplere 10^{-6} dilüsyon elde edilene kadar seyreltmeler yapılmıştır. Funguslar için 10^{-1} ila 10^{-6} ve bakteriler için 10^{-4} ila 10^{-6} dilüsyonlarından 100 µl alınarak NA ve PDA içeren petri kutularına eşit şekilde steril cam bagetle yayılmıştır. Petriler daha sonra 26 ± 2°C'de bakteriler için 3 gün ve funguslar için 7 gün inkübe edilmiştir. Saflaştırılan kültürler daha sonra %15 gliserol katkılı NB ve PD içeren besiyerlerine aktarılmış ve sonraki çalışmalarda kullanılmak üzere -80°C'de derin dondurucuda saklanmıştır Her bir meyve ağacı topraklarından farklı sayılarda fungal ve bakteriyel endofitler izole edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

2024-2025 yılları arasında Antalya ili ve çevresindeki meyve yetiştiriciliğinin yapıldığı Merkez, Aksu, Döşemealtı, Kemer, Kumluca, Finike, Korkuteli, Elmalı, Gazipaşa'da yer alan farklı meyve bahçelerindeki (limon, portakal, mandarin, bergamut, turunç, elma, nar) bahçelerden toprak örnekleri alınmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Antalya ili ve çevresinde incelenen meyve bahçelerine ait bilgiler

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Meyve Bahçeleri	Yetiştirilen Ürün	İncelenen Meyve Bahçesi Sayıları (Adet)
Aksu	Portakal, Nar, Limon	6
Döşemealtı	Nar, Limon, Portakal, Turunç	10
Kemer	Limon, Portakal, Mandalina	8
Kumluca	Mandalina, Portakal, Limon, Turunç	10
Finike	Portakal, Mandalina	8
Korkuteli	Elma, Armut	12
Elmalı	Elma, Armut	10
Gazipaşa	Limon, Portakal, Bergamut	6
Merkez	Bergamut, Turunç, Portakal, Limon, Mandalina,Nar	20
Toplam		90

Sörvey çalışmaları sonucu farklı alanlarda toplam 70 adet portakaldan, 50 adet mandalinadan, 70 adet limondan, 60 adet turunçdan, 40 adet bergamuttan, 50 adet elmadan, 55 adet armuttan, 60 adet nardan olmak üzere toplam 451 adet örnek toplanmıştır.

Portakal bahçelerinden 40 bakteri, 25 adet fungus aday izolatı, mandalina bahçelerinden 40 bakteri ve 18 adet fungus aday izolatı, limondan 39 bakteri ve 28 adet fungus aday izolatı, turunçdan 39 bakteri,16 fungus aday izolatı, bergamuttan 34 bakteri ve 13 adet fungus izolatı elde edilmiştir (Çizelge 2 ve Çizelge 4).

Çizelge 2. Antalya ili ve çevresindeki turunçgil bahçelerinden izole edilen bakteriyel izolatlar

İzolat numaraları	Portakal bahçelerinden izole edilen izolatlar	Limon bahçelerinden izole edilen izolatlar	Mandalina bahçelerinden izole edilen izolatlar	Turunç bahçelerinden izole edilen izolatlar	Bergamut bahçelerinden izole edilen izolatlar
1	PB1	LB3	MB4	TB5	BB8
2	PB4	LB11	MB7	TB8	BB25
3	PB5	LB14	MB9	TB11	BB43
4	PB8	LB20	MB11	TB15	BB51
5	PB12	LB28	MB15	TB16	BB56
6	PB17	LB32	MB23	TB21	BB59
7	PB19	LB33	MB31	TB27	BB61
8	PB21	LB40	MB34	TB29	BB66
9	PB23	LB49	MB41	TB33	BB72
10	PB26	LB53	MB47	TB38	BB74
11	PB32	LB57	MB55	TB44	BB79
12	PB37	LB61	MB67	TB46	BB85
13	PB40	LB66	MB70	TB49	BB98
14	PB44	LB72	MB77	TB51	BB100
15	PB51	LB83	MB79	TB59	BB108
16	PB56	LB99	MB80	TB61	BB109
17	PB58	LB102	MB85	TB66	BB120
18	PB60	LB105	MB89	TB71	BB126
19	PB73	LB110	MB91	TB77	BB129
20	PB79	LB118	MB95	TB85	BB133

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

21	PB83	LB129	MB99	TB87	BB138
22	PB85	LB133	MB100	TB88	BB143
23	PB88	LB140	MB105	TB90	BB145
24	PB90	LB144	MB111	TB92	BB150
25	PB111	LB148	MB112	TB93	BB159
26	PB112	LB155	MB115	TB97	BB165
27	PB115	LB158	MB118	TB99	BB169
28	PB130	LB160	MB123	TB103	BB170
29	PB135	LB166	MB139	TB109	BB173
30	PB140	LB167	MB146	TB112	BB178
31	PB148	LB170	MB150	TB116	BB181
32	PB155	LB171	MB151	TB118	BB185
33	PB159	LB177	MB159	TB121	BB188
34	PB168	LB180	MB163	TB128	BB190
35	PB173	LB183	MB168	TB132	-
36	PB179	LB185	MB170	TB139	-
37	PB180	LB187	MB177	TB144	-
38	PB188	LB188	MB187	TB177	-
39	PB189	LB190	MB189	TB191	-
40	PB190	-	MB190	-	-
Toplam	40	39	40	39	34

Çizelge 3. Antalya ili ve çevresindeki meyve bahçelerinden izole edilen bakteriyel izolatlar

İzolat numaraları	Nar bahçelerinden izole edilen izolatlar	Elma bahçelerinden izole edilen izolatlar	Armut bahçelerinden izole edilen izolatlar
1	NB6	EB13	AB4
2	NB24	EB17	AB8
3	NB33	EB19	AB19
4	NB38	EB27	AB21
5	NB42	EB28	AB25
6	NB57	EB31	AB31
7	NB69	EB36	AB38
8	NB71	EB42	AB44
9	NB73	EB47	AB49
10	NB86	EB59	AB57
11	NB92	EB63	AB59
12	NB97	EB66	AB77
13	NB104	EB69	AB80
14	NB124	EB78	AB87
15	NB138	EB81	AB99
16	NB156	EB83	AB100
17	NB167	EB87	AB115
18	NB170	EB89	AB119
19	NB173	EB96	AB129
20	NB178	EB98	AB135
21	NB185	EB111	AB149
22	NB188	EB117	AB151
23	NB189	EB122	AB158

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

24	-	EB126	AB161
25	-	EB131	AB169
26	-	EB137	AB177
27	-	EB149	AB181
28	-	EB153	AB189
29	-	EB159	AB190
30	-	EB169	-
31	-	EB179	-
32	-	EB180	-
33	-	EB188	-
34	-	EB190	-
Toplam	23	34	29

Elma bahçelerinden 34 bakteri, 13 adet fungus aday izolatı, armut bahçelerinden 29 bakteri ve 22 adet fungus aday izolatı, nar bahçelerinden 23 bakteri ve 22 adet fungus aday izolatı, elde edilmiştir (Çizelge 3 ve Çizelge 5).

Çizelge 4. Antalya ili ve çevresindeki turunçgil bahçelerinden izole edilen fungal izolatlar

İzolat numaraları	Portakal bahçelerinden izole edilen izolatlar	Limon bahçelerinden izole edilen izolatlar	Mandalina bahçelerinden izole edilen izolatlar	Turunç bahçelerinden izole edilen izolatlar	Bergamut bahçelerinden izole edilen izolatlar
1	PF13	LF23	MF14	TF25	BF8
2	PF17	LF31	MF17	TF38	BF14
3	PF25	LF34	MF19	TF51	BF19
4	PF28	LF37	MF31	TF65	BF33
5	PF32	LF39	MF39	TF76	BF47
6	PF37	LF41	MF43	TF81	BF51
7	PF39	LF46	MF51	TF97	BF66
8	PF41	LF49	MF65	TF119	BF71
9	PF43	LF52	MF71	TF123	BF79
10	PF49	LF53	MF87	TF138	BF85
11	PF63	LF55	MF95	TF154	BF89
12	PF77	LF58	MF117	TF166	BF95
13	PF85	LF61	MF129	TF169	BF192
14	PF88	LF65	MF139	TF171	
15	PF96	LF69	MF169	TF189	
16	PF113	LF77	MF180	TF191	
17	PF128	LF79	MF185		
18	PF133	LF102	MF189		
19	PF147	LF111			
20	PF159	LF119			
21	PF162	LF131			
22	PF171	LF139			
23	PF179	LF148			
24	PF183	LF154			
25	PF190	LF168			
26		LF177			

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

27		LF188			
28		LF189			
Toplam	25	28	18	16	13

Çizelge 5. Antalya ili ve çevresindeki meyve bahçelerinden izole edilen fungal izolatlar

İzolat numaraları	**Nar bahçelerinden izole edilen izolatlar**	**Elma bahçelerinden izole edilen izolatlar**	**Armut bahçelerinden izole edilen izolatlar**
1	NF26	EF43	AF34
2	NF34	EF67	AF48
3	NF43	EF79	AF69
4	NF48	EF97	AF71
5	NF52	EF118	AF75
6	NF67	EF133	AF81
7	NF79	EF141	AF88
8	NF88	EF142	AF94
9	NF93	EF157	AF119
10	NF106	EF167	AF127
11	NF119	EF173	AF139
12	NF129	EF182	AF147
13	NF135	EF191	AF158
14	NF147		AF169
15	NF158		AF178
16	NF162		AF181
17	NF168		AF184
18	NF178		AF188
19	NF181		AF191
20	NF190		AF193
21	NB193		AF195
22	NB199		AB199
Toplam	22	13	22

Toplanan 135 bakteri örneklerinden 95 adet aday bakteri izolatı ile 79 adet fungus izolatından 49 adet aday fungus izolatı elde edilmiştir (Çizelge 6). Bu aday bakteri izolatlarından KOH testine göre 30 adedinin gram (-), 65 adedinin ise gram (+) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6. Antalya ili ve çevresindeki meyve bahçelerinden izole edilen endofit bakteriyel ve fungal izolat sayıları

Toplam bakteri İzolat sayısı	Aday izolat Nar	Aday izolat Bergamut	Aday izolat Turunç	Aday izolat Limon
23+34+39+39=135	18	23	28	26
Toplam fungus izolat sayısı	Aday izolat Nar	Aday izolat Bergamut	Aday izolat Turunç	Aday izolat Limon
22+13+16+28=79	12	9	8	20
Toplam	30	32	36	46
Toplam=214	Toplam: 30+32+36+46=144			

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Toplam 214 adet bakteri ve fungus izolatlarından narda 30 adet, bergamutta 32 adet, turunçda 36 adet ve limonda 46 olmak üzere en fazla bakteriyel ve fungal endofit çeşitliliği bu bahçelerdeki topraklardan elde edilmiştir (Çizelge 6).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Endofitik bakteriler, bitkilerin iç dokularında salgıladıkları maddelerle bitki patojeni bakterilerin kolonizasyonunu azalttığı ve patojenin etkinliğini minumum düzeye günümüze kadar yapılan araştırmalarda ortaya konmuştur. En yüksek fungal ve bakteriyel endofit çeşitliliği, nar, bergamut, turunç ve limon bahçe topraklarından elde edilmiştir. Elde edilen endofitik bakteriler ile fungusların detaylı çalışmaları denemeleri devam etmekte olup bunların bazı bitki patojeni bakteri ve funguslara karşı olan etkilerinin *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarda kullanılarak testlenmesi ile etkinliklerinin ne düzeylerde olacağının belirlenmesi gerekmektedir. Etkin olarak bulunacak bakteri ve fungal endofitlerin kullanımının ileride bitki hastalıklarıyla mücadeleye alternatif bir çözüm olabileceği düşünülebilir.

5. KAYNAKLAR

Beram, R.C., Beram, A. ve Doğmuş Lehtijarvi, H.T. (2016). Fungal endofitler ve etkileşimleri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(2), 161-166.

Malhadas, C., Malheiro, R., Pereira, J.A., de Pinho, P.G. and Baptista, P. **(**2017). Antimicrobial activity of endophytic fungi from olive tree leaves. World J Microbiol Biotechnol, 33,46.

Porras-Alfaro A. & P. Bayman, (2011). Hidden fungi, emergent properties: endophytes and microbiomes. Annual Review of Phytopathology, 49, 291-315.

Schulz B. & C. Boyle, (2005). The endophytic continuum. Mycological Research, 190 (6), 661-686.

Tejesvi, M. V., Kini, K. R., Prakash, H. S., Subbiah, V. and Shetty, H.S. (2007). Genetic diversity and antifungal activity of species of *Pestalotiopsis* isolated as endophytes from medicinal plants. Fungal Diversity, 24, 37-54.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ANTALYA MERKEZ VE ÇEVRE İLÇELERİNDE TIBBİ AROMATİK ÜRETİMDE BULUNAN ÜRETİCİLERİN SORUNLARI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Prof. Dr. Esin BASIM[1]

[1]Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Organik Tarım Programı, Antalya, esinbasim@akdeniz.edu.tr 0000-0001-9188-6609

Prof. Dr. Hüseyin BASIM[2]

[2]Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Antalya, hbasim@akdeniz.edu.tr, 0000-0002-8059-3680

ÖZET

Antalya ili ve çevre ilçelerde tıbbi aromatik bitki üretimi yapan üreticilerin bitkisel üretim sorunlarının tespit edilmesi amacıyla tesadüfü olarak seçilen 25 üretici ile anket ve görüşme yöntemiyle sorular sorulmuş ve elde edilen bilgiler değerlendirilmiştir. Üreticilere üretim ile ilgili sorular, üretim sırasında karşılaşılan sorunlar içeren sorular, hastalık ve zararlılar hakkındaki bilgi düzeylerini içeren sorular, hastalık ve zararlılara karşı uygulanan pestisitlerle ilgili sorular, organik tarım hakkındaki görüş ve önerilerini içeren sorular yöneltilmiştir. Üreticilerle yapılan anket sonuçlarına göre, üreticilerin çoğunluğunun baharat bitkileri (kekik, nane, zencefil vb,) bitki çayları ve uyarıcı bitkiler (papatya, rezene, ıhlamur vb) ve parfüm bitkileri (lavanda, gül, yasemin vb.) ve uçucu yağ içeren bitkileri (okalüptüs, yasemin, gül, kekik, defne vb) yetiştirdikleri belirlenmiştir. Üreticilerin en çok hastalık ve zararlılar konusunda zorluk çektikleri ve bunlarla mücadelede pestisit kullanımından kaçındıklarını ve kalıntı analizlerinin yapıldığını ifade etmişlerdir. Üreticiler ayrıca organik tarımın karlı bir iş alanı oluşturmadığını ve verim konusunda bir artışa sebep olmadığını, organik tarım uygulamalarının üretim üzerinde dezavantaj oluşturduğunu ve organik tarım aşamalarının zor süreçlerden geçmesi nedeniyle uygulanmasının zor olduğunu belirtmişlerdir. Tüketicilerin tıbbi aromatik bitkileri bilinçli olarak tüketmediklerinden ve en çok tüketilen ürünlerin kimyon, kekik, zencefil, adaçayı ve nane olduğunu söylemişlerdir. Üreticilerin ortak sorunları; sertifikasyon gerekliliğindeki zorluklar, ilaç kalıntıları konusundaki denetimlerin yetersizliği, gümrük düzenlemeleri ve eğitimsiz işçilerin yarattığı sorunlar ile ihracatın çok az olması şeklinde olan sorun olduğu belirlenmiştir. Üreticiler ayrıca üretimde organik tarım desteklerinin mutlaka arttırılmasını, pazarın genişletilmesini, hastalık ve zararlılara karşı biyolojik mücadele desteğinin arttırılmasını ve hastalık ve zararlılara karşı biyolojik kökenli ilaçların kullanımının desteklenmesi gerektiğini talep etmişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Tıbbi Aromatik Bitkiler, Uçucu Yağlar, Baharat Bitkileri, Antalya

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

PROBLEMS AND PROPOSED SOLUTIONS OF MEDICINAL AROMATIC PRODUCERS IN ANTALYA CITY CENTER AND SURROUNDING DISTRICTS

Prof. Dr. Esin BASIM[1]

[1]Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Organic Agriculture, Antalya, esinbasim@akdeniz.edu.tr 0000-0001-9188-6609

Prof. Dr. Hüseyin BASIM[2]

[2]Akdeniz University, Agriculture Faculty, Plant Protection Department, Antalya, hbasim@akdeniz.edu.tr 0000-0002-8059-3680

ABSTRACT

To identify the problems faced by producers of medicinal and aromatic plants in Antalya province and surrounding districts, a survey and interview method was used with 25 randomly selected producers, and the information obtained was evaluated. The producers were asked questions about production, problems encountered during production, their level of knowledge about diseases and pests, pesticides used against diseases and pests, and their opinions and suggestions about organic farming. According to the survey results, the majority of producers cultivate spice plants (thyme, mint, ginger, etc.), herbal teas, stimulant plants (chamomile, fennel, linden, etc.), perfume plants (lavender, rose, jasmine, etc.), and plants containing essential oils (eucalyptus, jasmine, rose, thyme, bay leaf, etc.). Producers stated that they face the most difficulties with diseases and pests, avoid using pesticides to control them, and conduct residue analyses. They also indicated that organic farming is not a profitable business, does not lead to increased yields, creates disadvantages in production, and is difficult to implement due to the arduous processes involved in the organic farming stages. They mentioned that consumers do not consume medicinal and aromatic plants consciously, and that the most commonly consumed products are cumin, thyme, ginger, sage, and mint. The common problems faced by producers were identified as difficulties in obtaining certification, inadequate inspections regarding pesticide residues, issues created by customs regulations and untrained workers, and very low export levels. Producers also demanded that support for organic farming be increased, the market be expanded, support for biological pest control be increased, and the use of biologically based pesticides against diseases and pests be supported.

Key Words: Medicinal Aromatic Plants, Essential Oils, Spice Plants, Antalya

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1.GİRİŞ

Türkiye, dünyada iki gen merkezini içeren konumu nedeniyle 174 familyaya ait 1251 cins ve yaklaşık 12.000' den fazla tür ve alt türleri içeren bitki çeşidi ile büyük bir zenginliğe sahip ülkelerden birisi olup bu bitkilerin yaklaşık yarısı ülkemizde yetiştirilen ve ülkemize ait endemik tür ve çeşitlerden oluşmaktadır (Kendir ve Güvenç, 2010; Başer, 1997). Bu durum da Türkiye'ye, dünyadaki ülkeler arasında tıbbi ve aromatik bitki yetiştiriciliğinde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu bitkilerden en yaygınları kimyon, anason, kekik, çemen, haşhaş, rezene, nane ve kişniştir. Bunun yanında defne, ıhlamur, adaçayı, biberiye ve kuşburnu gibi bitkiler de doğadan toplanarak satışa sunulmaktadır. Türkiye dünyanın en önemli kekik, defne ve haşhaş ihracatçısıdır. İhracatta kekik yüzde 25'lik payla ilk sırada yer almaktadır (Boztaş ve ark., 2021; Öztürk ve ark., 2014). Tıbbi ve aromatik bitkiler ile bu bitkilerden elde edilen ürünlerin; gıda, sağlık ve kozmetik sektöründe yoğun olarak kullanıldığını söyleyebiliriz. Gıda sektöründe çeşitli keyif içecekleri, gıda koruyucu ve zenginleştirici katkılar yanında renk ve aroma oluşturmakta kullanıldığı gibi doğrudan şifalı gıda olarak da tüketiliyor. Sağlık sektöründe insan, hayvan ve bitki sağlığını koruyucu ürünlerde kullanılırken; her geçen gün kullanılan ürün sayısı ve kullanım şekli artıyor. Kozmetik sektöründe ise doğal ve organik ürünlere olan tüketici talepleri doğrultusunda ürün çeşidi ve kullanım alanları artış gösteriyor (Şener, 2010).

Tıbbi ve aromatik bitkiler günümüzde; gıda, kozmetik, boya, tekstil, ilaç, tarım gibi birçok alanda kullanılmaktadır. 500 kadar tıbbi ve aromatik bitki alternatif tıp için kullanılmaktadır (Türkan ve ark., 2006). Bu tür bitkilerin farklı kısımlarından (kök, kabuk, çiçek, yaprak, meyve, yağ vb.) elde edilen etken maddeler birçok hastalık tedavisinde kullanılmakta ve bu bitkilere de tıbbi bitki adı verilmektedir. Bu bitkiler günümüzde hastalık tedavileri dışında fitoterapi, eczacılık, gıda, baharat, kozmetik, boya, ziraat gibi alanlarda da kullanılmaktadır (Hakverdi ve Yiğit, 2017) Kolza, ayçiçeği, hintyağı ve jojoba gibi bitkiler ise biyoyakıt olarak kullanılmaktadırlar (Aytaç ve Yiğen, 2016). Ülkemizde Sağlık Bakanlığı tarafından bitkisel kaynaklı ekstre, etkili madde veya fraksiyon olarakilaç kapsamında ruhsatlandırılmış (reçeteli veya reçetesiz) 50'ye yakın ayrıca ara ürün kapsamında satılan 150 kadar bitkisel ürün bulunmaktadır (Başaran, 2012). Ülkemiz birçok bitkide tür zenginliğine sahip iken maalesef üretim ve ihracat değerlerinde istenilen oranlara sahip değildir. Tıbbi ve aromatik bitkilerin ihracatından yıllık 140 milyon dolar civarında bir gelir sağlanmaktadır (Aslan ve ark, 2015).

Bölgemiz, sahip olduğu endemik türlerden gerek doğada yetişen gerekse de kültürü yapılan tıbbi ve aromatik bitkiler bakımından önemli bir potansiyel barındırmaktadır. Hem zirai üretim hem de işleme teknikleri açısından bölgemiz tıbbi aromatik bitki yetiştirme konusunda öneme sahiptir (Baka, 2023). Antalya, Burdur ve Isparta tıbbi ve aromatik bitki çeşitliliğinde ülkemizin en yüksek potansiyeline sahip iller arasında yer almaktadır (Baka, 2023).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bu çalışmanın amacı Antalya ili ve çevre ilçelerde tıbbi aromatik bitki üretimi yapan üreticilerin bitkisel üretim sorunlarının tespit edilmesi amacıyla tesadüfü olarak seçilen 25 üretici ile anket ve görüşme yöntemiyle sorular sorulmuş ve elde edilen bilgiler değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Antalya ili ve çevresindeki tıbbi aromatik bitki üretimi yapan 25 üretici (Çizelge 1) ile birebir yüz yüze tesadüfü örnekleme yöntemi ile anket çalışması yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada, üreticilere üretim ile ilgili sorular, üretim sırasında karşılaştıkları sorunları kapsayan sorular, hastalık ve zararlılar hakkındaki bilgi düzeylerini içeren sorular, hastalık ve zararlılara karşı uygulanan pestisitlerle ilgili sorular, organik tarım hakkındaki görüş ve önerilerini içeren sorular yöneltilmiştir. Üreticilerden elde edilen veriler üreticilerin yüzde oranları üzerinden gidilerek analizler yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

2024-2025 yılları arasında Antalya ili ve çevresindeki tıbbi aromatik bitki üretimi yetiştiriciliğinin yapıldığı Merkez, Aksu,Döşemealtı, Serik, Gazipaşa, Kumluca, Elmalı, Kaş-Demre ve Korkuteli'deki üreticiler ile yüz yüze anket çalışması yapılarak (Çizelge 1) sorulara verdikleri cevaplar değerlendirmeye alınmıştır.

Çizelge 1. Antalya ili ve çevresinde incelenen tıbbi aromatik bitki üreticilerine ait bilgiler

Sebze Alanları	Yetiştirilen Ürün	İncelenen Sera Sayıları (Adet)
Aksu	Gül, Lavanta, Kekik, Sarı Kantaron, Defne, Zencefil	6
Döşemealtı	Adaçayı, Kekik, Sarı Kantaron, Rezene, Lavanta, Gül, Defne, Papatya, Nane, Oğulotu, Yasemin, Ihlamur, Ekinezya, Aynısefa, Aspir, Civanperçemi	2
Serik	Lavanta, Kekik, Sarı Kantaron, Biberiye, Zencefil	2
Gazipaşa	Rezene	1
Merkez	Adaçayı, Lavanta, Sarı Kantaron, Gül, Ekinezya, Kekik, Melisa, Nane, Biberiye, Okalüptüs	8
Kumluca	Lavanta	1
Elmalı	Nane	1
Kaş-Demre	Gül, Lavanta, Sarı Kantaron, Kekik	2
Korkuteli	Gül, Lavanta, Kekik, Sarı Kantaron	2
Toplam		25

Üreticilerle yapılan anket sonuçlarına göre, üreticilerin çoğunluğunun baharat bitkileri (kekik, nane, zencefil vb,) bitki çayları ve uyarıcı bitkiler (papatya, rezene, ıhlamur vb) ve parfüm bitkileri (lavanda, gül, yasemin vb.) ve uçucu yağ içeren bitkileri (okalüptüs, yasemin, gül, kekik, defne vb) yetiştirdikleri belirlenmiştir (Çizelge 1).

Üreticilerin en büyük grubu %42 ile 45 yaş ve üstü gruptur. %30 ile 25-35 yaş arasındaki bireyler 2. grubu, %21 ile 35-45 yaş aralığındaki katılımcılar ise 3. sırayı almışlardır. En az temsil edilen yaş grubu ise %7 ile 18-25 yaş aralığıdır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Çizelge 2. Antalya tıbbi aromatik bitki üreticileri ile üretimine ilişkin sonuçlar

Üretime ait sorular	**Uygulama**	**Oran (%)**
Kaç yıldır üretim ile uğraşıyorsunuz?	1-5 yıl	62
	5-10 yıl	14
	10-20 yıl	20
	20 yıl	4
Üretim yeri mülkiyeti	Kendime ait	90
	Kira	10
Üretici yaşı	45 yaş ve üzeri	42
	25-35 yaş arası	30
	35-45 yaş arası	21
	18-25 yaş arası	7
Eğitim düzeyleri	Yüksek öğretim mezunu (Üniv., master)	55
	Lise	30
	İlkokul-Ortaokul	15
Üretim şekli	Açıkta üretim	80
	Örtüaltı	20
Üretim Alanı	1-5 dekar	60
	5-10 dekar	15
	10-20 dekar	12
	20-50 dekar	9
	50 dekar üstü	4
Gübreleme yapıyor musunuz?	Evet	7
	Hayır	13
Sulama suyu	Damlama	100/100
	Salma	-
Başka geçim kaynağınız var mı?	Hayır Evet	90 10

Katılımcıların çoğunluğunun (%55) yükseköğrenim mezunu olduğu, yani üniversite veya daha ileri düzeyde (yüksek lisans) eğitim aldığı belirlenmiştir. Ayrıca, lise (%30) ve daha düşük eğitim seviyelerinden (%15) katılımcıların olduğu belirlenirken genelde üretim yapanların eğitim seviyelerinin yüksek olduğu görülmüştür. Üreticilerin %62'si 1-5 yıl arası yetiştiricilikle uğraştığını, %20'si 10-20 yıldır üretim yaptığını, %14'ü 5-10 yıl arasında üretimde bulunduğunu, %4'ü ise 20 yıldan fazla süredir üretim yaptığını bildirmişlerdir (Çizelge 2). Bu durum, sektördeki deneyim seviyelerinin geniş bir yelpazede olduğunu ve yeni girişimciler ile deneyimli yetiştiricilerin mevcut olduğunu göstermektedir. Tıbbi aromatik bitki yetiştiriciliği yapan katılımcıların çoğunun (% 60'ı), 1-5 dekarlık bir alanda yetiştiricilik yaptıkları. %15'nini 5-10 dekar arası, bir diğer %12'sinin ise 10-20 dekar arası bir alanda yetiştiricilik yaptıkları belirlenmiştir. Daha büyük ölçekli, 20-50 dekar arası yetiştiricilik yapanların oranı %9 ve 50 dekar ve üstü alanlarda yetiştiricilik yapanların oranı da %4 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 2). Katılımcıların yarısının küçük ölçekli tarım faaliyetleri içerisinde olduğu, geri kalanların ise orta ve büyük ölçekli tarım yapmayı tercih ettiğini göstermektedir. Katılımcıların %87'si tıbbi aromatik bitki yetiştiriciliği yaparken gübreleme yaptığını belirtmiştir, buna karşılık %13'ü ise gübreleme yapmadığını ifade etmiştir. Üreticilerin %97'si toprak işlemesi yaptığını da

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

belirtmişlerdir. Bu durum da, katılımcıların büyük çoğunluğunun bitki besin maddeleri ve toprak verimliliği için gübre kullanımını tercih ettiğini ve toprak işlemesi yaptığını göstermektedir (Çizelge 2).

Çizelge 3. Antalya ili tıbbi aromatik bitki üreticilerinin organik tarımla ilgili soru ve cevapları

Organik tarımla ilgili bilgiler	Uygulama Şekli	Oran (%)
Organik tarım konusunda bilgi sahibi misiniz?	Evet	59
	Kısmen az	26
	Hayır	15
Organik tarım yapmak istiyor musunuz?	Evet	82
	Hayır	18
Organik tarım yapmak zor mudur?	Evet	78
	Hayır	22
Organik tarım uygulamaları yetiştiricilik üzerinde dezavantaja sahip mi?	Evet	65
	Hayır	35
Organik tarım yöntemlerinin tıbbi aromatik bitkilerin kalitesini etkiliyor mu?	Evet	75
	Kısmen	15
	Hayır	10

Tıbbi aromatik bitki yetiştiriciliğinde organik tarım yöntemleri hakkında üreticilerin bilgi düzeyleri incelendiğinde; üreticilerin %59'u organik tarım konusunda bilgi sahibi olduklarını, %26'sı az bilgiye sahip olduklarını, %15'i ise bilgi sahibi olmadıklarını ifade etmişlerdir. Üreticilere organik yetiştiricilik yapmayı düşünüp düşünmedikleri sorulduğunda ise üreticilerin %82 si organik yetiştiricilik yapmayı düşündüklerini, %18'i ise organik yetiştiricilik yapmayı düşünmediklerini belirtmiştir. Katılımcıların organik tarım yetiştiriciliğinin zor olup olmadığına dair görüşleri sorulduğunda %78'i organik tarım yetiştiriciliğinin zor olduğunu, %22 'si ise organik tarım yetiştiriciliğinin zor olmadığını ifade etmişlerdir. Katılımcıların %65'i organik tarım uygulamalarının yetiştiricilik üzerinde bir dezavantaj yarattığını düşünmekte, diğer taraftan, %35'lik bir kısmı ise herhangi bir dezavantaj oluşturmadığını ifade etmektedirler. Katılımcıların %75'i organik tarım yöntemlerinin tıbbi aromatik bitkilerin kalitesini (aroma ve tat özellikleri) kesinlikle etkilediğini düşünmekte olup %15'lik bir kesim ise organik tarımın bu özellikler üzerinde kısmen etkili olduğunu düşünmekte % 10' luk kesim ise organik tarım yöntemlerinin bitki kalitesine herhangi bir etkisi olmadığını ifade etmektedirler. Bu veriler, katılımcıların büyük bir çoğunluğunun organik tarımın tıbbi aromatik bitkilerin özellikleri üzerinde olumlu bir etki yaptığına inandığını göstermektedir (Çizelge 3).

Tıbbi aromatik bitki yetiştiriciliğinde üreticileri en fazla zorlayan konuların başında %80 ile hastalıklar ve zararlılarla mücadele olduğu belirlenmiştir. Girdilerin pahalılığı (%18) ve pazarlama konuları (%2) da üreticilerin zorlandığı diğer konular olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4). En çok satışı yapılan tıbbi aromatik bitki olarak % 48 ile lavanta olup, ikinci sırada %32 ile kekik ve sari kantaron yer almakta, gül ise (%18) üçüncü sırada üretilmektedir. Diğer bitkiler (nane, biberiye, ekinezya, melisa, papatya, oğul otu, ıhlamur, rezene vb.) (%2)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

üreticilerin yetiştirdikleri ürünler arasında yerini almıştır. Üreticilerin %80'i üretimi açıkta yaptığını, %20'si ise örtü altında üretimde bulunduklarını ifade etmişlerdir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Antalya ili tıbbi aromatik bitki üreticilerinin uygulamalarına ilişkin görüşleri

Uygulama ile ilgili sorular	Uygulama şekli	Oran (%)
En çok sizi zorlayan sorunlar hangileridir?	Hastalık ve zararlılarla mücadele	80
	Pahalılık	18
	Pazarlama	2
En fazla satışı yapılan ürün hangisidir?	Lavanta	48
	Kekik, Sarı Kantaron	32
	Gül	18
	Diğerleri (rezene, nane, adaçayı, defne, papatya vb.)	2
Sorunla karşılaştığınızda kime danışıyor sunuz?	Kendim araştırıyorum	45
	Üniversiteye danışıyorum	35
	İlaç bayilerine danışıyorum	18
	Komşu ve tanıdıklarıma danışıyorum	12
İhracatınız var mı?	Evet	55
	Hayır	45
En çok hangi ülkelere ihracat yapıyorsunuz?	Avrupa	80
	Asya	10
	Amerika	10
Tıbbi bitki üretimi sizce karlı mı?	Evet	90
	Hayır	10
Tüketiciler en fazla hangi ürünü tüketmektedir?	Baharat bitkileri	62
	İlaç ve çay bitkileri	35
	Uçucu ve parfüm bitkileri	3
Üreticiler tıbbi aromatik bitki tüketiminde bilinçli midir?	Evet	12
	Hayır	88
Tıbbi aromatik bitki üretiminde en uygun yöntem sizce nedir?	Doğru ve tam uygulamaların kullanımı	65
	Doğru hasta ve işleme yöntemi	25
	Doğru saklama yöntemi	10
İlaçlama yapıyor musunuz?	Yapmıyorum	55
	Organik içerikli ilaçları kullanıyorum	18
	Kimyasal pestisitleri kullanıyorum	15
	Biyolojik içerikli ilaçlar tercihimdir	2
Kalıntı analizi yaptırıyormusunuz?	Evet	78
	Hayır	22
Pestisit kullanımınız var mıdır?	Evet	16
	Hayır	84

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Üreticilere tüketicilerin en çok tükettiği tıbbi bitkilerin neler olduğu ve kullanım sıklıklarına göre sıralamalar nasıl diye sorulan sorulara verdikleri cevaplar ise şu şekilde olmuştur: %62'si baharat bitkileri (örneğin, karabiber, kimyon, kekik, nane, defne vb.) en sık tüketilen kategoriyi oluşturmuştur. 2. sırada %35 ile ilaç ve bitki çayları olarak kullanılan bitkiler (örneğin, sarı kantaron, ekinezya, papatya, rezene, çoban çantası, adaçayı...) olmuştur. 3. sırada ise uçucu ve parfüm oluşumda kullanılan yağ içeren bitkiler (örneğin, okaliptüs, yasemin, gül, lavanta vb.) %3 olarak sıralanmıştır (Çizelge 4).

Tıbbi aromatik bitkilerin kalitesini korumak için hangi yöntemleri kullanıyorsunuz sorusuna üreticilerin verdikleri yanıtlar ise şu şekilde olmuştur: %65'i en yaygın yöntemin doğru tarım uygulamalarının kullanılması olduğunu, %25'i ise doğru hasat ve işleme yöntemlerinin önemli olduğunu, %10'u da doğru saklama yöntemlerinin kullanımı olduğunu belirtmişlerdir. Bu durum da katılımcıların yetiştiricilik sırasında bitki kalitesini korumak için çeşitli tarım ve sonrası işlemleri önemsediklerini gösteriyor (Çizelge 4). Üreticilerin %55'i tıbbi aromatik bitkilerin ihracatını yaptıklarını, geri kalan %45'lik kısmının ise ihracat yapmadığı belirlenmiştir. Bu durum da katılımcıların önemli bir kısmının ürettikleri tıbbi aromatik bitkileri uluslararası pazarda sattığını göstermektedir. Katılımcıların %80'i tıbbi aromatik bitki ürünlerini Avrupa ülkelerine ihraç ettiğini belirtmiştir. Asya ülkelerine ihracat yapanların oranı %10 iken, Amerika kıtasına ihracat yapanların oranının da %10 olduğu görülmüştür. Üreticiler için Avrupa'nın ana pazar olduğu belirlenmiştir.

Üreticilerin %90'ı tüm maliyet ve giderleri göz önünde bulundurarak tıbbi aromatik bitki yetiştiriciliğinin karlı bir işletme alanı olduğunu düşünmekte, %10'u ise bu alanda işletmenin karlı olmadığını düşünmektedirler. Bu, çoğu katılımcının tıbbi aromatik bitki yetiştiriciliğini kârlı bir girişim olarak gördüğünü göstermektedir (Çizelge 4).

Katılımcıların %88'i tüketicilerin tıbbi bitki kullanımlarında bilinçli olmadığını düşündüğünü belirtirken, %12'lik bir kesim ise tüketicilerin bilinçli tükettiğini ifade etmişlerdir. Bu durum da, katılımcıların çoğunluğunun tüketicilerin tıbbi bitkiler konusunda daha fazla bilgi ve farkındalığa ihtiyaç duyduğu görüşünde olduğunu göstermektedir.

Katılımcıların büyük bir çoğunluğunun (%84) tıbbi aromatik bitki yetiştiriciliğinde pestisit kullanmaktan kaçındığını, organik veya daha doğal yetiştiricilik yöntemlerine yönelik bir tercihte bulunduklarını ifade etmişlerdir. Katılımcıların %78i tıbbi aromatik bitkilerde kalıntı analizi yaptırdığını belirtirken, %22' si ise kalıntı analizi yaptırmadığını ifade etmişlerdir. Bu, katılımcıların çoğunun (%78) ürünlerinin güvenliğini ve kalitesini doğrulamak için kalıntı analizine önem verdiğini, diğerleri (%22) ise bu tür bir analiz yaptırmayı gereksiz bulduğunu veya ihtiyaç duymadığını belirtmişlerdir (Çizelge 4).

Üreticiler yetiştiricilik yaparken karşılaştıkları hastalık ve zararlılarla mücadelede kullandıkları yöntemleri şu şekilde sıralamışlardır: Üreticilerin %55'i hiçbir ilaçlama yapmadığını, %28'i organik tarım ilaçları kullandığını, %15'i kimyasal pestisitleri kullandığını, %2'si ise biyolojik kökenli ilaçları kullandıklarını ifade etmişlerdir. Bu durum da katılımcıların büyük bir kısmının doğal ve çevreye duyarlı mücadele yöntemlerini tercih ettiğini göstermektedir. Kimyasal ilaç kullanımının oldukça düşük olduğu, katılımcıların önemli bir kısmının ise herhangi bir ilaç kullanmadığı tespit edilmiştir. Hastalık ve zararlılar ile ilgili sorunların çözümünde üreticilerin %45'i sorunlarla ilgili kendi kendine araştırma yaparak sorunlara çözüm bulduğunu, %35'i

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
sorunları çözmek için üniversite yetkililerine başvurduğunu, %18'i yetkili ilaç bayilerine giderek danıştığını, %12'si ise komşularına veya tanıdıklarına danıştığını belirtmiştir (Çizelge 4).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Üreticilerin sorunlarının neler olduğu sorusuna üreticilerin verdikleri cevaplar dikkate alındığında bu sorunları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Organik tarımın desteklenmesi ve pazarının genişletilmesi
- Maliyetlerin düşürülmesi
- Üreticilerin eğitilmesi
- Devlet ve kurumların ilgisizliği
- Her yıl yönetmeliklerin değişmesiyle beraber daha fazla bürokrasiyle uğraşılması
- Köylerde göç olduğundan dolayı üreticilerin azaldığı
- Organik tarım yapmanın zor olduğu
- Pazarlama sorununun çözümü
- Devlet desteklerinin yetersizliği,
- Kurumların ilgisizliği,
- Organik tarım yönetmeliklerinin devamlı olarak değişmesi,
- Köylerden şehirlere göçten dolayı yeterli yetişmiş elemanın,olmaması,
- Verilen eğitimlerin daha çok uygulamaya tabi tutulup bilinçli yetiştiricilerin yetiştirilmesi gerektiği hakkında yorumlarda bulunulmuştur.

Bu çalışma sonucunda, Antalya ilinde tıbbi aromatik bitki üreticiliğinde en fazla karşılaşılan sorunların başında bitki hastalık etmenleri ve zararlıları gelmektedir. Tıbbi ve aromatik bitkilerde sürdürülebilir ve kaliteli bir üretim ve ihracat pazar potansiyelini sürdürebilmemiz için kaliteli ve istenilen miktarlarda ürünlerin yetiştirilmesi önem arz etmektedir. Tüketici taleplerini karşılarken de aynı şekilde kalıntısı olmayan, kaliteli ve standart ürünlerin tüketiciye sunulması gerekmektedir. Çünkü, tüketiciler tıbbi aromatik bitkileri ya baharat ya da çay olarak sıklıkla tükettiklerinden dolayı mutlaka ilaç kalıntısı olmayan ürünlerin sunulması önemlidir. Kaliteli ıslah edilmiş çeşitlerin geliştirilmesi ve doğaya zarar vermeden yetiştiriciliğin yapılması, saklama koşullarının uygunluğu gibi hususlara dikkat edilmelidir.

Sonuç olarak; tıbbi ve aromatik bitkilerin gelişigüzel doğadan toplanmalarının önüne geçilmesi, kontrol altına alınması, nesli tehlikede olan bitkilerin koruma altına alınması büyük önem taşımaktadır. Özellikle endemik olan ve sadece ülkemizde yetiştirilen çeşitler için mutlaka bunların koruma altına alınması ve genetik çalışmaların hızla yapılması gerekmektedir. Ayrıca; tıbbi ve aromatik bitki yetiştiriciliği yapan kişilerin eğitilmesi, tüketicilerin bilinçlendirilmesi ayrıca üretici-tüketici-ihracatçı ve satıcı arasındaki koordinasyonun sürdürülmesi için desteklemelerin arttırılması önemlidir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KAYNAKLAR

Aytaç, S., ve Yiğen, Ç. (2016). Tıbbi ve aromatik bitkilerin önemli kullanım alanları, III. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Sempozyumu.

Başer, K. H. C., 1997. Tıbbi ve aromatik bitkilerin ilaç ve alkollü içki aanayilerinde kullanımı. İstanbul Ticaret Odası Yayın No: 1997-39, İstanbul.

Boztaş G, Avcı A.B, Arabacı, O, Bayram E (2021). Tıbbi ve aromatik bitkilerin dünyadaki ve Türkiye'deki ekonomik durumu. Theoretical and Applied Forestry 1, 27-33.

Hakverdi, A.E., ve Yiğit, N. (2017). Yozgat-Akdağmadeni yöresinde bulunan bazı tıbbi ve aromatik bitkiler. Bartın Orman Fakültesi Dergisi., 19 (2), 82-87.

Kendir, G., Güvenç, A. (2010). Etnobotanik ve Türkiye'de yapılmış etnobotanik çalışmalara genel bir bakış. Hacettepe Üniv. Eczacılık Fak. Dergisi, 30(3), 49-80.

Öztürk, M., Temel, M., Tınmaz, A.B. (2014).Türkiye'de kekik üretim ve pazarlaması II.Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Sempozyumu, 23–25 Eylül, Yalova, ss: 174-181.

Şener, B. (2010). Bitkisel ilaçlar ve bitkisel ilaç mevzuatı. Bitkilerle Tedavi Sempozyumu, 5-6 Haziran, Zeytinburnu İstanbul, ss.153-171.

Türkan, Ş., Malyer, H., Aydın, S. Ö., ve Tümen, G. (2006). "Ordu ili ve çevresinde yetişen bazı bitkilerin etnobotanik özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, vol. 10 (2), 162-166.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KÜRESEL ISINMA KONUSUNDA ANTALYA ÜRETİCİLERİNİN GÖRÜŞLERİ VE KÜRESEL ISINMANIN ANTALYA TARIMINA OLAN ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Prof. Dr. Hüseyin BASIM[1]

[1]Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Antalya, hbasim@akdeniz.edu.tr, 0000-0002-8059-3680

Prof. Dr. Esin BASIM[2]

[2]Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Organik Tarım Programı, Antalya, esinbasim@akdeniz.edu.tr
0000-0001-9188-6609

ÖZET

Bu çalışmada, Antalya ilindeki sera üreticilerinin küresel ısınma konusundaki görüş ve önerileri değerlendirilmiştir. Bu amaçla Antalya ilinin farklı alanlarındaki tesadüfü olarak seçilen toplam 50 sera üreticisi ile birebir görüşmeler yapılarak bu kişilere anket soruları sorulmuş ve sonuçlar % olarak değerlendirilmiştir Üreticilere küresel ısınma konusunda düşünceleri, küresel ısınmanın ürünler üzerine etkileri olup olmadığı, küresel ısınmanın çevreye olan etkileri, küresel ısınmanın sağlık açısından önemli olup olmadığı gibi farklı sorular yöneltilmiştir. Farklı üreticilerin görüşlerinden elde edilen veriler karşılaştırılarak her bölgenin üreticisinin sorulara vermiş olduğu cevaplar karşılaştırılarak analiz yapılmıştır. Tüketicilerle yapılan anket sonuçlarına göre, farklı ilçelerdeki üreticilerin çoğunluğu küresel ısınmanın verimlerini azalttığı, yeni hastalık ve zararlıların çıkışında artışa neden olduğu, yağışları azalttığı, doğal afetlerin artışına neden olduğu, hastalık ve zararlılara karşı uyguladıkları ilaçların etkilerinin azaldığı görüşünü ifade etmişlerdir. Yapılan araştırma sonuçlarına göre, üreticilerin ortak görüşü, küresel ısınma konusunda üretim yapan çiftçilerin bilgilendirilmesi gerektiği ve böylece ileride üreticilerin tedbir almaları yönünde acil önlemlerin alınması gerektiği belirtilmiştir. İklim değişikliği konusunda üreticilere zaman zaman eğitici seminerler verilmeli, ileride iklim değişikliğine uygun ürün ve üretim modellerinin belirlenmesi, üretimde ve satışta mutlaka bitkisel üretim planlamasının yapılarak her bölgeye uygun ürün yetiştirilmesi için en kısa sürede gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Ayrıca üreticilerin gelişigüzel su kullanımından vazgeçmesi ve suyun dikkatli kullanılması, yenici ve çevreci tekniklerin kullanılması, biyolojik içerikli olan çevreye ve insan sağlığına zararlı olmayan ilaçların kullanılması bununla birlikte üreticilerin biyolojik mücadele destek miktarlarının arttırılarak biyolojik içerikli ilaçların kullanımı konusunda teşvik edilmeleri gereklidir.

Anahtar Kelimeler: Küresel ısınma, İklim değişikliği, Tarım, Antalya

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ANTALYA PRODUCERS' VIEWS ON GLOBAL WARMING AND AN EVALUATION OF THE EFFECTS OF GLOBAL WARMING ON ANTALYA AGRICULTURE

Prof. Dr. Hüseyin BASIM[1]
[1]Akdeniz University, Agriculture Faculty, Plant Protection Department, Antalya,
hbasim@akdeniz.edu.tr
0000-0002-8059-3680

Prof. Dr. Esin BASIM[2]
[2]Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Organic Agriculture, Antalya,
esinbasim@akdeniz.edu.tr
0000-0001-9188-6609

ABSTRACT

This study evaluated the opinions and suggestions of greenhouse producers in Antalya province regarding global warming. For this purpose, face-to-face interviews were conducted with a total of 50 randomly selected greenhouse producers from different areas of Antalya province. These individuals were asked survey questions, and the results were presented as percentages. The producers were asked about their views on global warming, whether it affects their crops, its environmental impacts, and its importance to health. The data obtained from the opinions of different producers were compared, and an analysis was conducted by comparing the answers given by producers from each region to the questions. According to the results of surveys conducted with consumers, the majority of producers in different districts expressed the view that global warming reduces their yields, causes an increase in the emergence of new diseases and pests, reduces rainfall, leads to an increase in natural disasters, and reduces the effectiveness of the pesticides they use against diseases and pests. According to the research results, the common opinion of the producers is that farmers involved in production should be informed about global warming, and that urgent measures should be taken so that producers can take precautions in the future. Educational seminars on climate change should be given to producers periodically, and in the future, climate change-appropriate product and production models should be determined. Plant production planning should be carried out for both production and sales, and necessary measures should be taken as soon as possible to cultivate products suitable for each region. Furthermore, producers need to abandon indiscriminate water use and use water carefully, employ innovative and environmentally friendly techniques, use biologically based pesticides that are not harmful to the environment and human health, and be encouraged to use biologically based pesticides by increasing the amount of support provided to producers for biological control.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Key Words: Global warming, Climate change, Agriculture, Antalya

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ANTALYA İLİ SÜS BİTKİLERİ ÜRETİM ALANLARINDAN İZOLE EDİLEN HASTALIK ETMENLERİ VE YAYGINLIK DURUMLARI

Prof. Dr. Hüseyin BASIM[1]

[1]Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Antalya, hbasim@akdeniz.edu.tr, 0000-0002-8059-3680

Prof. Dr. Esin BASIM[2]

[2]Akdeniz Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Organik Tarım Programı, Antalya, esinbasim@akdeniz.edu.tr 0000-0001-9188-6609

ÖZET

Bu çalışmada, Antalya ilindeki süs bitkileri yetiştiriciliği yapılan alanlara sörveyler yapılmış ve süs bitkisi üretim alanlarından hastalıklı bitki materyalleri toplanmıştır ve değerlendirmeler yapılmıştır. Bu amaçla tesadüfü olarak seçilen toplam 10 adet süs bitkisi üretiminde bulunan seralardan ve 10 adet de açıktaki peyzaj üretim alanlarına sörveyle yapılmış ve üreticilerle birebir görüşmeler yapılarak aynı zamanda bu üreticilere anket soruları sorulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Üreticilerle yapılan anket sonuçlarına göre üreticilerin %90'ı hastalık ve zarar oluşturan etmenleri tanıdıkları, bu hastalık ve zararlılarla karşılaştıklarında öncelikli olarak kimyasal mücadeleyi tercih ettikleri belirlenmiştir. Sera içerisinde yoğun bir pestisit kullanımının olduğu ancak üreticilerin ilaçlamalar sırasında gereken dikkati gösterdikleri görülmüştür. Üreticilerin genellikle kullandıkları pestisitler daha önceden bildikleri, deneyimledikleri ve etkili buldukları ilacalar oldukları belirlenmiştir. Yapılan araştırma sonuçlarına göre, Antalya ilindeki süs bitkisi üretim alanlarından elde edilen hastalıklı bitki örneklerinden yapılan izolasyonlar sonucunda en yaygın olarak görülen hastalıkların karanfil solgunluğu, gülde karaleke ve külleme, Afrika menekşesinde kök çürüklüğü ve taç çürüklüğü, açelya' da kök ve taç çürüklüğü, kaktüslerde yumuşak çürüklük, güllerde kök kanseri, açelya' da solgunluk, gerbera' da kurşuni küf ile bakteriyel yumuşak çürüklük, orkide'de bakteriyel yumuşak çürüklük hastalıkları olduğu belirlenmiştir. Hastalıklı örneklerden sırasıyla, *Fusarium* spp., *Diplocarpon rosae, Sphaerotheca pannosa, Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp., *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum, Agrobacterium tumefaciens, Fusarium* spp., *Botrytis cinerea, Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, *Dickeya chrysanthemi* patojenleri tespit edilmiştir. İncelenen süs bitkisi seralarının sıcaklık ve nem koşullarının yüksek olması hastalık etmenlerinin fazla görülmesinin nedeni olarak söyleyebiliriz. Özellikle gerek seralarda gerekse peyzaj üretim alanlarında temizlik ve hijyen koşullarının iyileştirilmesi, nem kontrollerinin sağlanması, aşırı su kullanımının azaltılması bu hastalık etmenlerinin yaygınlık oranlarının azaltılması için önemlidir. Sera koşullarının özellikle nem ve sıcaklık bakımından modernize edilmesi de hastalık etmenleriyle mücadelede önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Süs Bitkileri, Süs Bitkileri Hastalıkları, Antalya

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

DISEASE AGENTS ISOLATED FROM ORNAMENTAL PLANT PRODUCTION AREAS IN ANTALYA PROVINCE AND THEIR PREVALENCE STATUS

Prof. Dr. Hüseyin BASIM[1]

[1]Akdeniz University, Agriculture Faculty, Plant Protection Department, Antalya,
hbasim@akdeniz.edu.tr
0000-0002-8059-3680

Prof. Dr. Esin BASIM[2]

[2]Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Organic Agriculture, Antalya,
esinbasim@akdeniz.edu.tr
0000-0001-9188-6609

ABSTRACT

In this study, surveys were conducted in ornamental plant cultivation areas in Antalya province, and diseased plant materials were collected and evaluated from these areas. For this purpose, surveys were carried out in a total of 10 randomly selected greenhouses and 10 open landscape production areas involved in ornamental plant production. Individual interviews were conducted with the producers, and survey questions were also asked. The results were then evaluated. According to the survey results, 90% of the producers recognized the disease- and pest-causing agents and primarily preferred chemical control when encountering these diseases and pests. Intensive pesticide use was observed in greenhouses, but producers exercised the necessary caution during spraying. It was determined that the pesticides used by producers were generally those they were familiar with, had experience with, and found effective. According to the research results, the most common diseases isolated from diseased plant samples obtained from ornamental plant production areas in Antalya province were identified as carnation wilt, rose black spot and powdery mildew, African violet root rot and crown rot, azalea root and crown rot, cactus soft rot, rose root cancer, azalea wilt, gerbera gray mold and bacterial soft rot, and orchid bacterial soft rot. The following pathogens were detected in the diseased samples, respectively: *Fusarium* spp., *Diplocarpon rosae*, *Sphaerotheca pannosa*, *Rhizoctonia* spp., *Fusarium* spp., *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Fusarium* spp., *Botrytis cinerea*, *Pectobacterium carot*ovorum subsp. *carotovorum* and *Dickeya chrysanthemi*. The high temperature and humidity conditions in the examined ornamental plant greenhouses can be cited as the reason for the high incidence of disease agents. Improving cleanliness and hygiene conditions, ensuring humidity control, and reducing excessive water use are important for reducing the prevalence of these disease agents, especially in greenhouses and landscape production areas. Modernizing greenhouse conditions, particularly in terms of humidity and temperature, is also important in controlling disease agents.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Key Words: Ornamental Plants, Ornamental Plant Diseases, Antalya

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

BİTKİ–BÖCEK ETKİLEŞİMLERİNDE UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN (VOC) ROLÜ ve BİYOLOJİK MÜCADELEYE KATKISI

THE ROLE OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOCs) IN PLANT-INSECT INTERACTIONS AND THEIR CONTRIBUTION TO BIOLOGICAL CONTROL

Doç. Dr. İsmail ALASERHAT
Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü
ismail.alaserhat@igdir.edu.tr 0530 363 4594
ORCID ID: 0000-0002-6929-0179

Öğr. Gör. Nagihan KILIÇ
Iğdır Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Seracılık programı,
nagihan.kilic@igdir.edu.tr 0534 918 1264
ORCID: 0000-0002-7746-8125

ÖZET

Bitkiler, çevreleriyle ve onlarla etkileşim hâlinde bulunan organizmalarla iletişim kurmak amacıyla çok çeşitli uçucu organik bileşikler (Volatile Organic Compounds, VOC'ler) salgılamaktadır. Bu bileşikler, bitki–böcek etkileşimlerinde kimyasal sinyaller olarak işlev görmekte ve hem bitkilerin savunma stratejilerinde hem de böceklerin konukçu seçimi, beslenme ve yumurta bırakma davranışlarında belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle herbivor saldırısı veya yumurta bırakılması sonrası salınan herbivor-indüklenmiş bitki uçucuları (HIPV'ler), bitkilerin dolaylı savunma mekanizmalarının temel bileşenleri arasında yer almaktadır. Bu uçucular, zararlı böceklerin doğal düşmanları olan predatör ve parazitoitleri cezbederek biyolojik mücadelenin etkinliğini artırmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, VOC'lerin yalnızca bitki–zararlı etkileşimleriyle sınırlı olmadığını; aynı zamanda bitki–bitki ve bitki–faydalı mikroorganizma iletişiminde de önemli işlevler üstlendiğini ortaya koymuştur. Komşu bitkiler arasında savunma tepkilerinin uyarılması (priming), çok türlü (multitrofik) etkileşimlerin düzenlenmesi ve agroekosistemlerde kimyasal "koku manzaralarının" oluşumu, VOC'lerin çok işlevli doğasını yansıtmaktadır. Bununla birlikte, VOC bileşimleri bitki türüne, çevresel koşullara ve biyotik stres faktörlerine bağlı olarak değişkenlik göstermekte, bu durum da biyolojik mücadelede bağlama özgü stratejilerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır.

VOC temelli yaklaşımlar; eşlikçi bitki kullanımı, it–çek (push–pull) sistemleri, sentetik VOC uygulamaları ve savunma odaklı bitki ıslahı gibi yöntemlerle entegre zararlı yönetimi programlarına dahil edilebilmektedir. Kimyasal pestisit kullanımını azaltma potansiyeline sahip olan bu yaklaşımlar, sürdürülebilir tarım ve çevre dostu biyolojik mücadele stratejileri açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak VOC sinyallerinin güvenilirliği, hedef dışı etkileri ve saha koşullarındaki etkinliği gibi konularda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Uçucu organik bileşikler, VOC, Biyolojik mücadele

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ABSTRACT

Plants release a wide range of volatile organic compounds (VOCs) to communicate with their environment and with the organisms interacting with them. These compounds function as chemical signals in plant–insect interactions and play a decisive role in both plant defense strategies and insect behaviors such as host selection, feeding, and oviposition. In particular, herbivore-induced plant volatiles (HIPVs), which are emitted following herbivore attack or oviposition, constitute key components of plants' indirect defense mechanisms. These volatiles enhance the effectiveness of biological control by attracting natural enemies of pest insects, including predators and parasitoids.

Recent studies have demonstrated that VOCs are not limited to plant–herbivore interactions but also play significant roles in plant–plant communication and in interactions between plants and beneficial microorganisms. The induction of defense responses in neighboring plants (priming), the regulation of multitrophic interactions, and the formation of chemical "odorscapes" within agroecosystems reflect the multifunctional nature of VOCs. However, VOC profiles vary depending on plant species, environmental conditions, and biotic stress factors, which necessitates the development of context-specific strategies for their effective use in biological control programs.

VOC-based approaches can be integrated into pest management strategies through methods such as the use of companion plants, push–pull systems, application of synthetic VOCs, and defense-oriented plant breeding. These approaches offer significant opportunities for sustainable agriculture and environmentally friendly biological control by reducing reliance on chemical pesticides. Nevertheless, further research is required to address issues related to the reliability of VOC signals, their non-target effects, and their effectiveness under field conditions.

Keywords: Volatile organic compounds, VOCs, Biological control.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ENTOMOPATOJEN FUNGUSLARIN TARIMSAL ZARARLILARIN YÖNETİMİNDEKİ ETKİNLİĞİ: *BEAUVERIA, METARHIZIUM, LECANICILLIUM, ISARIA* VE DİĞER ÖNEMLİ TÜRLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

THE EFFECTIVENESS OF ENTOMOPATHOGENIC FUNGI IN THE MANAGEMENT OF AGRICULTURAL PESTS: A COMPARISON OF *BEAUVERIA, METARHIZIUM, LECANICILLIUM, ISARIA*, AND OTHER IMPORTANT SPECIES.

Doç. Dr. İsmail ALASERHAT
Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü
ismail.alaserhat@igdir.edu.tr 0530 363 4594
ORCID ID: 0000-0002-6929-0179

Öğr. Gör. Nagihan KILIÇ
Iğdır Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Seracılık programı,
nagihan.kilic@igdir.edu.tr 0534 918 1264
ORCID: 0000-0002-7746-8125

Ar. Gör. Dilek Doğan AKDAĞ
Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Iğdır, Türkiye,
dilek.dogan@igdir.edu.tr 0552 010 3479
ORCID: 0000-0001-9692-7211

ÖZET

Artan pestisit kullanımı; çevresel kirlilik, hedef dışı organizmalar üzerindeki olumsuz etkiler ve zararlı türlerde direnç gelişimi gibi sorunları beraberinde getirmiştir. Bu durum, sürdürülebilir tarım ve entegre zararlı yönetimi (IPM) yaklaşımları kapsamında biyolojik mücadele yöntemlerine olan ilgiyi artırmıştır. Entomopatojen funguslar, birçok tarımsal zararlı böcek türüne karşı yüksek etkinlik göstermeleri ve çevre dostu olmaları nedeniyle biyolojik mücadelede önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, tarımsal zararlıların yönetiminde yaygın olarak kullanılan ***Beauveria***, ***Metarhizium***, ***Lecanicillium***, ***Isaria*** ve diğer önemli entomopatojen fungus türlerinin etkinlikleri karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır.

Entomopatojen funguslar, konukçu böceğin integumentinden vücuda girerek hem mekanik hem de toksik etkiler yoluyla ölümüne neden olmaktadır. Özellikle *Beauveria bassiana* ve *Metarhizium anisopliae*, Coleoptera, Lepidoptera, Hemiptera ve Orthoptera takımlarına ait birçok zararlı tür üzerinde geniş konukçu spektrumuna sahiptir. *Lecanicillium* ve *Isaria* türleri ise özellikle yaprakbiti, beyazsinek ve trips gibi emici-sokucu zararlılar üzerinde etkili sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte, bu fungusların etkinliği; çevresel koşullar, uygulama zamanı, formulasyon tipi ve hedef zararlının biyolojisi gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Sonuç olarak, entomopatojen funguslar kimyasal pestisitlere alternatif veya tamamlayıcı bir mücadele yöntemi olarak önemli bir potansiyele sahiptir. Bu etmenlerin, uygun kültürel önlemler ve diğer biyolojik mücadele ajanlarıyla entegre edilmesi, sürdürülebilir tarım sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Gelecek çalışmalarda, saha koşullarında etkinliği artırmaya yönelik formulasyon geliştirme ve uygulama stratejilerinin optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Anahtar Kelimeler: Entomopatojen funguslar, biyolojik mücadele, *Beauveria*, *Metarhizium*, *Lecanicillium*, *Isaria*

ABSTRACT

The increasing reliance on chemical pesticides in agricultural production has led to serious environmental concerns, including ecological imbalance, negative effects on non-target organisms, and the development of resistance in pest populations. Consequently, sustainable agriculture and integrated pest management (IPM) strategies have emphasized the use of environmentally friendly biological control agents. Entomopathogenic fungi represent one of the most promising biological control tools due to their wide host range, safety to beneficial organisms, and compatibility with integrated management programs.

This study provides a comparative evaluation of the effectiveness of major entomopathogenic fungal genera, including ***Beauveria***, ***Metarhizium***, ***Lecanicillium***, ***Isaria***, and other significant species, in the management of agricultural insect pests.These fungi infect their hosts primarily through the insect cuticle, leading to mortality via mechanical penetration and the production of secondary metabolites. Among them, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* have demonstrated broad-spectrum efficacy against a wide range of pests belonging to the orders Coleoptera, Lepidoptera, Hemiptera, and Orthoptera. In contrast, *Lecanicillium* and *Isaria* species have shown particular effectiveness against sap-sucking pests such as aphids, whiteflies, and thrips.

The efficacy of entomopathogenic fungi is influenced by several factors, including environmental conditions (temperature, humidity, and UV radiation), application timing, formulation type, and the biological characteristics of the target pest. Despite certain limitations under field conditions, advances in formulation technologies and application strategies have significantly improved their performance.

In conclusion, entomopathogenic fungi offer substantial potential as sustainable alternatives or complements to chemical pesticides. Their integration with cultural practices and other biological control agents can enhance pest suppression while minimizing environmental risks. Future research should focus on optimizing formulations and field application methods to improve their reliability and effectiveness under diverse agroecosystems.

Keywords: Entomopathogenic fungi, biological control, *Beauveria*, *Metarhizium*, *Lecanicillium*, *Isaria*

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİ İŞLETMESİNDE ÇALIŞAN PERSONELİN HİJYEN VE SANİTASYON UYUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ : ÇORUM İLİNDE BİR SÜT FİRMASI ÖRNEĞİ

Rahime Nurseli NUGAY

Hitit Üniversitesi, rnurseli@gmail.com -0009-0005-7585-7062

Süt ve süt ürünleri işletmeleri, gıda güvenliği açısından yüksek risk taşıyan üretim alanları arasında yer almaktadır. Sütün mikrobiyolojik yapısı, hijyen ve sanitasyon uygulamalarının üretimin her aşamasında titizlikle uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Çorum ilinde faaliyet gösteren bir süt ve süt ürünleri işletmesinde çalışan personelin hijyen ve sanitasyon uygulamalarına uyum düzeyini belirlemek ve hijyen davranışlarını etkileyen faktörleri incelemektir.

Araştırmada nicel araştırma yöntemi kullanılmış ve veri toplama aracı olarak Likert tipi bir anket uygulanmıştır. Anket formu; kişisel hijyen alışkanlıkları, sanitasyon uygulamaları ve gıda güvenliğine yönelik tutumlar olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Çalışma, işletmede görev yapan personelin gönüllü katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler istatistiksel analizler yardımıyla değerlendirilmiştir.

Araştırma bulguları, personelin hijyen ve sanitasyon uygulamalarına genel olarak orta düzeyde uyum gösterdiğini ortaya koymuştur. Hijyen eğitimi almış çalışanların, el hijyeni, koruyucu ekipman kullanımı ve çapraz bulaşmayı önleme davranışlarında daha yüksek uyum sergilediği belirlenmiştir. Ayrıca yaş, eğitim düzeyi ve çalışma deneyimi gibi demografik faktörlerin hijyen uyumu üzerinde anlamlı etkilerinin bulunduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, süt işletmelerinde hijyen ve sanitasyon uygulamalarının geliştirilmesi için düzenli eğitim programlarının sürdürülmesi, denetim mekanizmalarının güçlendirilmesi ve personel farkındalığının artırılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın, gıda güvenliği ve iş sağlığı açısından sektöre katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler : Süt işletmeleri, hijyen, sanitasyon, personel hijyeni, gıda güvenliği

1.GİRİŞ

Süt ve süt ürünleri, yüksek besin değeri, nötr pH yapısı ve yüksek su aktivitesi nedeniyle mikroorganizmaların gelişimine oldukça elverişli gıdalar arasında yer almaktadır (Jay et al., 2008). Bu özellikler, süt ve süt ürünlerini gıda güvenliği açısından en hassas ürün gruplarından biri haline getirmektedir. Üretim sürecinin herhangi bir aşamasında hijyen ve sanitasyon kurallarına yeterince uyulmaması , ürünlerin mikrobiyal kontaminasyona maruz kalmasına ve gıda kaynaklı hastalık risklerinin artmasına neden olabilmektedir.Gıda güvenliği alanında

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

yapılan çok sayıda çalışma, hijyen ve sanitasyon uygulamalarının yalnızca ürün güvenliğini değil, aynı zamanda ürün kalitesi, raf ömrü ve tüketici sağlığını da doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır (FAO, 2016).

Bu bağlamda hijyen ve sanitasyon, gıda güvenliği sistemlerinin ön koşul programları arasında yer almakta ve üretim sürecinin temel yapı taşlarını oluşturmaktadır.Literatürde yer alan çalışmalar, özellikle süt ve süt ürünleri işletmelerinde personel hijyeninin kontaminasyon riskinin azaltılmasında kritik bir rol üstlendiğini göstermektedir. Hijyen eğitimi alan çalışanların hijyen kurallarına uyum düzeylerinin daha yüksek olduğu ve bu durumun davranışsal süreklilik sağladığı çeşitli araştırmalarda vurgulanmaktadır (Chen et al., 2018; Djekić et al., 2024). Türkiye'de gerçekleştirilen çalışmalarda da personel hijyeninin süt işletmelerinde gıda güvenliğinin temel unsurlarından biri olduğu belirtilmektedir (Durmuş & Arslan, 2016).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma nicel araştırma yaklaşımıyla yürütülmüştür. Çalışma, Çorum ilinde faaliyet gösteren bir süt ve süt ürünleri üretim işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın evrenini işletmede çalışan personel oluşturmakta olup, örneklem evrenin tamamını kapsamaktadır. Veriler, literatür doğrultusunda hazırlanan yapılandırılmış bir anket formu aracılığıyla toplanmıştır. Anket formu üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde katılımcıların demografik özelliklerine ilişkin sorular yer almaktadır. İkinci bölümde hijyen bilgisine yönelik ifadeler, üçüncü bölümde ise hijyen ve sanitasyon davranışlarını değerlendirmeye yönelik ifadeler bulunmaktadır. Toplanan veriler istatistik paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistiklerin yanı sıra karşılaştırmalı analizlerden yararlanılmıştır.

3.BULGULAR

Araştırma bulgularına göre, çalışanların hijyen ve sanitasyon uygulamalarına uyum düzeylerinin genel olarak orta seviyede olduğu belirlenmiştir. Hijyen eğitimi alan çalışanların hijyen kurallarına uyum düzeylerinin, eğitim almayan çalışanlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Demografik değişkenler incelendiğinde, yaş, eğitim düzeyi ve çalışma deneyimi arttıkça hijyen davranışlarının olumlu yönde geliştiği görülmüştür. Özellikle eğitim düzeyi yüksek olan ve daha uzun süreli iş deneyimine sahip çalışanların hijyen kurallarına uyum konusunda daha tutarlı davranışlar sergilediği belirlenmiştir.Bununla birlikte, bazı hijyen uygulamalarında süreklilik sağlanamadığı ve belirli alanlarda personel davranışlarının geliştirilmesi gerektiği gözlemlenmiştir.

4.TARTIŞMA

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Araştırmadan elde edilen bulgular, literatürde yer alan benzer çalışmalarla büyük ölçüde uyumludur. Hijyen eğitiminin çalışan davranışları üzerinde belirleyici bir etkisinin olduğu bu çalışmada da ortaya konmuştur (Chen et al., 2018; Djekić et al., 2024). Literatürde hijyen uygulamalarının sürekliliğinin sağlanmasında kurumsal denetim mekanizmalarının ve yönetim desteğinin önemli olduğu vurgulanmaktadır (FAO, 2016). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar da hijyen uygulamalarının yalnızca bireysel farkındalıkla değil, işletme politikalarıyla da ilişkili olduğunu göstermektedir.

Bu araştırma kapsamında elde edilen bulgular, hijyen ve sanitasyon uygulamalarının çalışanların bilgi ve farkındalık düzeyleriyle doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle hijyen eğitimi almış personelin uygulamalara daha bilinçli yaklaştığı ve kurallara uyum konusunda daha tutarlı davranışlar sergilediği görülmüştür. Eğitim ve deneyim gibi değişkenlerin hijyen davranışları üzerindeki etkisi, bu alanda yapılan önceki çalışmalarda da vurgulanan önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum, hijyen ve sanitasyonun yalnızca teknik uygulamalarla değil, çalışanların tutum ve davranışlarını kapsayan bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini göstermektedir.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, süt ve süt ürünleri işletmelerinde hijyen ve sanitasyon uygulamalarının mevcut durumuna ilişkin önemli bulgular sunmaktadır. Sonuçlar, hijyen ve sanitasyon uygulamalarının belirli bir düzeyde olduğunu ancak geliştirilmesi gereken alanların bulunduğunu göstermektedir. Hijyen eğitiminin düzenli aralıklarla verilmesi, denetim mekanizmalarının güçlendirilmesi ve personel davranışlarının izlenmesi, hijyen ve sanitasyon uygulamalarının etkinliğini artıracaktır. Gelecek çalışmalarda farklı işletmelerde gerçekleştirilecek karşılaştırmalı araştırmaların literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, süt ve süt ürünleri işletmelerinde hijyen ve sanitasyon uygulamalarının mevcut durumuna ilişkin genel bir çerçeve sunmaktadır. Bulgular, bazı uygulamaların belirli bir düzeyde yerine getirildiğini, ancak uygulamaların sürekliliği ve etkinliği açısından geliştirilmesi gereken noktalar bulunduğunu göstermektedir. Bu bağlamda hijyen ve sanitasyonun, yalnızca mevzuata uyum kapsamında değil, işletmelerin kalite ve güvenlik anlayışının bir parçası olarak ele alınması gerekmektedir. Uygulamaya yönelik alınacak önlemler, gıda güvenliğinin sağlanmasının yanı sıra çalışan farkındalığının artırılmasına da katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

[1] Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2008). Modern food microbiology (7th ed.). Springer.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

[2] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). Dairy production and hygiene guidelines. FAO.

[3] Chen, X., Wang, L., & Li, Y. (2018). Impact of hygiene training on food industry workers. International Journal of Food Safety, 22(4), 301–310.

[4] Durmuş, E., & Arslan, A. (2016). Süt ürünleri işletmelerinde personel hijyeni. Akademik Gıda, 14(3), 289–297.

[5] Djekić, I., Tomasevic, I., & Smigic, N. (2024). Hygiene behaviour of dairy workers. Food Control, 150, 109117. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109117

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

TÜRKİYE'DE TARIM İLACI KULLANIMI, SORUNLAR VE ÖNERİLER

Zir. Müh. Hatice ALABAŞ
Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü,
hatice.ice@gmail.com- 0009-0003-4807-3364
Prof. Dr. Şule IŞIN
Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü,
sule.isin@ege.edu.tr- 0000-0001-6412-1782

ÖZET

Artan dünya nüfusu ve sınırlı doğal kaynaklar tarımda sürdürülebilirliği zorunlu kılmaktadır. Bitkisel üretimde kalitenin ve verimin artırılması amacıyla hastalık ve zararlılara karşı yapılan kimyasal mücadele hızlı ve etkili sonuç vermesi nedeniyle en yaygın tercih edilen yöntemdir. Bununla birlikte kimyasal mücadele; kalıntı problemleri, çevresel tahribat, toksisite ve direnç gelişimi gibi ciddi sorunlara yol açmaktadır. Tarım ilaçlarının toprak, su, hava ve gıda yoluyla insan ve çevre sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle biyolojik, biyoteknik ve entegre mücadele yöntemlerinin önemi giderek artmaktadır. Ayrıca, kalıntı limitleri, numune alma teknikleri ve bertaraf süreçlerinin de titizlikle yönetilmesi gerekmektedir. Çalışmada; Türkiye'de bölgelere ve illere göre tarım ilacı kullanımı ile dış ticareti incelenmiştir. Ayrıca, daha önce yapılmış bazı çalışmalardan yararlanılarak üreticilerin ilaç kullanımlarına ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. Aşırı ve bilinçsiz tarım ilacı kullanımının azaltılması, sürdürülebilir mücadele yöntemlerinin yaygınlaştırılması, kullanıcı eğitimlerinin güçlendirilmesi ve kalıntı izleme programlarının etkinleştirilmesi yönünde öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tarım ilacı kullanımı, kimyasal mücadele, çevre sağlığı, Türkiye

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Bitkisel üretimi sınırlayan hastalık, zararlı ve yabancı otlardan bitkileri korumak, ürün kalitesini yükseltmek ve birim alandan alınan verimi artırmak amacıyla yapılan tüm işlemlere "Zirai Mücadele" ya da "Bitki Koruma" denir. Bu mücadeleye yönelik olarak da bitki koruma ürünleri kullanılmaktadır (Kaymak ve ark., 2015). Zirai mücadelede temel amaç, zararlıların tamamen ortadan kaldırılması değil, zararlı yoğunluğunun ekonomik zarar eşiğinin altında tutulmasıdır (Anonim a, 2014). Bu bağlamda kültürel önlemler başta olmak üzere biyolojik mücadele ve biyoteknik yöntemlerin kullanılması insan sağlığı ve çevre açısından da büyük önem taşımaktadır. Ancak kısa sürede etki göstermesi ve kullanım kolaylığı nedeniyle kimyasal mücadele, dünyada olduğu gibi Türkiye'de de en çok tercih edilen yöntemdir (Özercan ve Özdem, 2015). Zirai mücadele yöntemleri arasında, kimyasal mücadelenin payının %95 civarında olduğu ve tarım ilacı kullanılmadığında %60'lara varan ürün kayıpları ile karşılaşıldığı belirtilmektedir (Tiryaki ve ark., 2010). Tarım ilaçlarının yararlarının yanı sıra uzun süreli kullanımları sonucunda ekosisteme ve insan sağlığına zarar verdiği saptanmıştır (Altıkat ve ark., 2009). Bu nedenle tarım ilacı kullanımında bilinçli kullanım yaklaşımları önem taşımaktadır.

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre, dünya genelinde 2023 yılı tarım ilacı kullanımı 3,72 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Kullanımın %54'ünü herbisitler, %20,09'unu fungisit ve bakterisitler ve %20,4'ünü de insektisitler oluşturmaktadır. En fazla tarım ilacı kullanan ülkeler sırasıyla; Brezilya, Amerika Birleşik Devletleri ve Endonezya'dır; bu üç ülke toplam kullanımın %40,09'unu gerçekleştirmektedir. Dünya, hektar başına tarım ilacı kullanımı 2023 yılında 2,4 kg/ha olarak gerçekleşmiştir. Türkiye, tarım ilacı kullanımı açısından dünya sıralamasında 11. sırada yer almakta olup %1,54'lük bir payı bulunmaktadır. Türkiye'de hektar başına tarım ilacı kullanımı dünya ortalamasına eşittir (FAO, 2025).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de tarım ilacı kullanımının bölgelere ve illere göre dağılımını ortaya koymak ve tarım ilacı dış ticaret durumunu incelemektir. Ayrıca, mevcut literatürden elde edilen bulgular doğrultusunda üreticilerin tarım ilacı kullanımına ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.

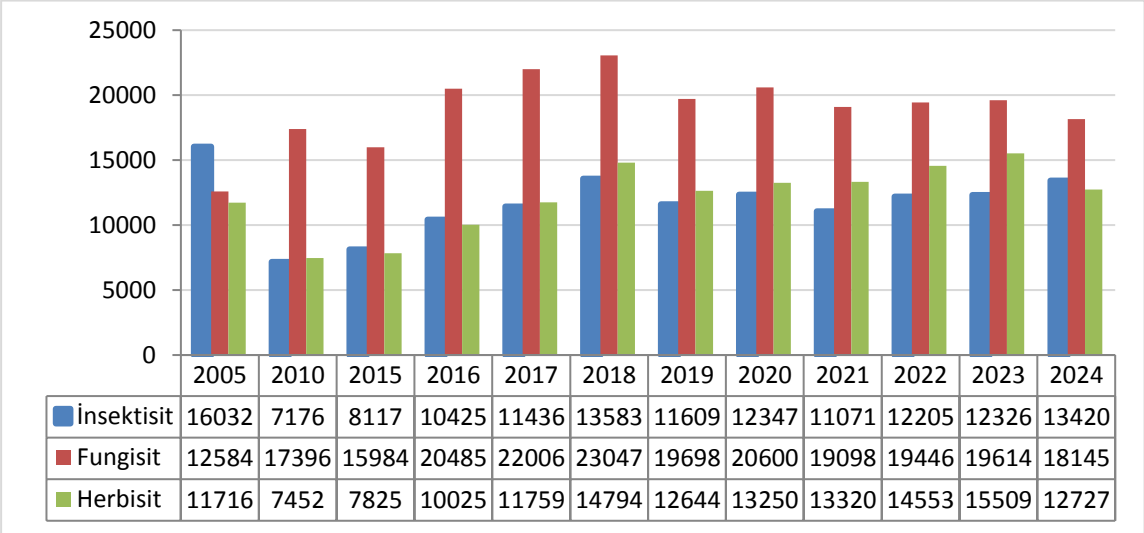
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Türkiye'de tarım ilacı kullanımına yönelik olarak konuyla ilgili yapılmış çeşitli araştırmalardan, resmi istatistiklerden ve raporlardan elde edilen ikincil veriler kullanılmıştır. Veriler, iller ve bölgeler düzeyinde düzenlenmiş, yüzde ve indeks hesaplamaları ile değerlendirilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

3. TÜRKİYE'DE TARIM İLACI KULLANIMI

Türkiye'de ekonomik öneme sahip yaklaşık 100 kültür bitkisi yetiştirilmektedir. 2023 yılı sonu itibarıyla bitki ve bitkisel ürünlere ilişkin 669 zararlı organizmaya karşı 5064 ruhsatlı bitki koruma ürünü olduğu belirtilmektedir (Anonim b, 2024). 2024 yılı verilerine göre Türkiye'de 24 milyon hektar tarım alanı vardır. Nadasa bırakılan yaklaşık üç milyon hektar alan çıkarıldığında 21 milyon hektar alanda bitkisel üretim yapılmaktadır. Hektara ortalama 2,4 kg tarım ilacı kullanılmaktadır. Türkiye'de 2024 yılında yaklaşık 54 bin ton olan tarım ilacı kullanımının %34'ünü fungisitler, %25'ini insektisitler, %24'ünü herbisitler ve %17'sini ise diğer tarım ilaçları oluşturmaktadır. Çalışmada sadece fungisit, insektisit ve herbisit kullanımları dikkate alınmıştır.2005-2024 dönemindeki tarım ilacı kullanımı incelendiğinde; herbisitlerde yaklaşık %9, fungisitlerde %44 oranında artış, insektisitlerde ise %16 oranında düşüş olduğu görülmektedir (TÜİK, 2025) (Görsel 1).



	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
İnsektisit	16032	7176	8117	10425	11436	13583	11609	12347	11071	12205	12326	13420
Fungisit	12584	17396	15984	20485	22006	23047	19698	20600	19098	19446	19614	18145
Herbisit	11716	7452	7825	10025	11759	14794	12644	13250	13320	14553	15509	12727

Görsel 1. Türkiye'de Yıllara Göre Tarım İlacı Kullanımı (ton)

3.1. Bölgelere Göre Tarım İlacı Kullanımı

Türkiye'de bölgeler itibarıyla tarım ilacı kullanımında Akdeniz Bölgesi 18,95 bin ton ile ilk sırada yer alırken, Ege Bölgesi 9,89 bin ton ile ikinci sırada, Marmara Bölgesi 8,10 bin ton ile üçüncü sırada yer almaktadır. Toplam tarım ilacının %35,41'i Akdeniz Bölgesi'nde, %18,48'i Ege Bölgesi'nde, %15,14'ü Marmara Bölgesi'nde kullanılmaktadır ve bu üç bölgenin toplam tarım ilacı kullanımındaki payı %69,03'tür. Kullanımın en az olduğu bölge Doğu Anadolu Bölgesi'dir. (Çizelge 1). Akdeniz Bölgesi insektisit (7,7 bin ton), Ege Bölgesi fungisit (4,56 bin ton), Marmara Bölgesi de herbisit (3,02 bin ton) kullanımında öne çıkmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Çizelge 1. Türkiye'de Bölgeler İtibarıyla Tarım İlacı Kullanımı (kg) (2024)

Bölge	Toplam tarım ilacı kullanımı (kg)	(%)
Akdeniz	18 951 017	35,41
Ege	9 891 803	18,48
Marmara	8 100 188	15,14
İç Anadolu	5 905 244	11,04
Güneydoğu Anadolu	4 304 700	8,05
Karadeniz	3 432 537	6,41
Doğu Anadolu	2 929 511	5,47
Toplam	53 515 000	100,00

Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025.

Akdeniz Bölgesi; ürün çeşitliliğinin, sera varlığının fazla olması ve tarımsal ürün ticaretinin yoğun olarak yapıldığı bir bölge olması nedeniyle tarım ilaçlarının en yoğun olarak kullanıldığı bölgedir. Adana, Mersin ve Antalya illeri Akdeniz Bölgesi'nde tarım ilacı kullanımının %83,51'ini oluşturmaktadır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Akdeniz Bölgesi'nde Tarım İlacı Kullanımı (kg) (2024)

Akdeniz Bölgesi	Toplam tarım ilacı kullanımı (kg)	(%)
Adana	7 122 395	37,58
Mersin	4 811 755	25,39
Antalya	3 892 820	20,54
Isparta	1 281 870	6,76
Hatay	711 374	3,76
Osmaniye	604 380	3,19
Burdur	291 600	1,54
Kahramanmaraş	234 823	1,24
Toplam	18 951 017	100,00

Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025.

Ege Bölgesi tarım ilacı kullanımının en çok olduğu ikinci bölgedir. Ege Bölgesi'nde ürün çeşitliliği, Akdeniz Bölgesi'nde olduğu gibi oldukça fazladır. Bu durum beraberinde tarım ilacı kullanımını etkilemektedir. Ege Bölgesi'nde Manisa, İzmir ve Aydın illeri tarım ilacı kullanımı bakımından öne çıkmaktadır. Ege Bölgesi'nin tarım ilacı kullanımının %71,91'ini bu üç il oluşturmaktadır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Ege Bölgesi'nde Tarım İlacı Kullanımı (kg) (2024)

Ege Bölgesi	Toplam tarım ilacı kullanımı (kg)	(%)
Manisa	3 427 601	34,65
İzmir	1 870 852	18,91
Aydın	1 814 941	18,35
Denizli	1 166 152	11,79
Muğla	1 084 286	10,96
Kütahya	190 852	1,93
Afyonkarahisar	181 045	1,83
Uşak	156 074	1,58
Toplam	9 891 803	100,00

Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Marmara Bölgesi'nde en çok tarım ilacı kullanılan ilk üç il sırasıyla; Bursa, Çanakkale ve Tekirdağ olup bölgedeki toplam tarım ilacı kullanımının %59,53'ünü oluşturmaktadır. Edirne, bu illeri yakından takip etmektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Marmara Bölgesi'nde Tarım İlacı Kullanımı (kg) (2024)

Marmara Bölgesi	Toplam tarım ilacı kullanımı (kg)	(%)
Bursa	1 805 738	22,29
Çanakkale	1 653 554	20,41
Tekirdağ	1 363 208	16,83
Edirne	1 246 443	15,39
Sakarya	660 551	8,16
İstanbul	440 020	5,43
Kırklareli	360 615	4,45
Balıkesir	244 216	3,02
Bilecik	198 141	2,45
Yalova	72 239	0,89
Kocaeli	55 463	0,68
Toplam	8 100 188	100,00

Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025.

İç Anadolu Bölgesi'nde iklim ve coğrafi koşullar sebebiyle tahılların üretimi fazladır. Bölge, Türkiye'nin tahıl ambarı olarak da nitelendirilir. Buğday, şeker pancarı ve elmanın en fazla üretildiği bölgedir. İç Anadolu Bölgesi'nde en çok tarım ilacı kullanan iller sırasıyla; Konya, Karaman ve Eskişehir'dir ve bölgedeki toplam tarım ilacı kullanımının %59,29'u bu üç ilde gerçekleşmektedir (Çizelge 5).

Çizelge 5. İç Anadolu Bölgesi'nde Tarım İlacı Kullanımı (kg) (2024)

İç Anadolu Bölgesi	Toplam tarım ilacı kullanımı (kg)	(%)
Konya	2 227 222	37,72
Karaman	724 090	12,26
Eskişehir	550 019	9,31
Nevşehir	541 298	9,17
Yozgat	481 838	8,16
Kayseri	464 544	7,87
Aksaray	274 050	4,64
Ankara	187 003	3,17
Sivas	163 690	2,77
Niğde	110 670	1,87
Çankırı	81 448	1,38
Kırıkkale	63 052	1,07
Kırşehir	36 320	0,61
Toplam	5 905 244	100,00

Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, yüzölçümü bakımından Türkiye'nin yaklaşık %8'lik bölümüne sahip olan en küçük bölgesidir. Bölgede en çok tarım ilacı kullanan iller sırasıyla; Diyarbakır,

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Şanlıurfa ve Gaziantep'tir. Bu üç il bölge toplam tarım ilacı kullanımının %69,03'ünü oluşturmaktadır (Çizelge 6).

Çizelge 6. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Tarım İlacı Kullanımı (kg) (2024)

Güneydoğu Anadolu Bölgesi	Toplam tarım ilacı kullanımı (kg)	(%)
Diyarbakır	1 327 236	30,83
Şanlıurfa	955 355	22,19
Gaziantep	689 342	16,01
Adıyaman	601 230	13,97
Mardin	536 000	12,45
Batman	84 506	1,96
Siirt	38 940	0,92
Şırnak	37 571	0,87
Kilis	34 520	0,80
Toplam	4 304 700	100,00

Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025.

Karadeniz Bölgesi'nde, dağların kıyıya paralel olması ve eğimin fazla olması tarım alanlarını sınırlandırmıştır buna bağlı olarak makineli tarımı zorlaştırmıştır. Karadeniz Bölgesi'nde en çok tarım ilacı kullanılan ilk üç il Samsun, Gümüşhane ve Amasya illeridir. Bölgedeki toplam tarım ilacı kullanımının %62,95'i bu üç ilde gerçekleşmiştir (Çizelge 7).

Çizelge 7. Karadeniz Bölgesi'nde Tarım İlacı Kullanımı (kg) (2024)

Karadeniz Bölgesi	Toplam tarım ilacı kullanımı (kg)	(%)
Samsun	993 329	28,94
Gümüşhane	869 041	25,32
Amasya	298 280	8,69
Tokat	280 162	8,16
Çorum	180 942	5,27
Ordu	175 337	5,10
Giresun	163 956	4,78
Düzce	118 664	3,46
Kastamonu	112 349	3,27
Bolu	88 834	2,59
Zonguldak	85 859	2,50
Trabzon	34 943	1,02
Bartın	13 664	0,40
Karabük	12 715	0,37
Artvin	2 088	0,06
Rize	2 036	0,06
Sinop	338	0,01
Bayburt	0	0,00
Toplam	3 432 537	100,00

Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025.

Doğu Anadolu Bölgesi, en az tarım ilacı kullanılan bölgedir. Buğday, arpa gibi tahıl ürünlerinin üretimlerinin fazla olduğu bölgede Malatya, kayısı üretiminde öne çıkmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki toplam tarım ilacı kullanımında Malatya ili %82,08 oranla ilk sırayı alırken bu

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ili sırasıyla Elâzığ ve Muş takip etmektedir. Malatya ili, ayrıca Türkiye toplam tarım ilacı kullanımında öne çıkan ilk 10 il arasında bulunmaktadır (Çizelge 8).

Çizelge 8. Doğu Anadolu Bölgesi'nde Tarım İlacı Kullanımı (kg) (2024)

Doğu Anadolu Bölgesi	Toplam tarım ilacı kullanımı (kg)	(%)
Malatya	2 402 863	82,02
Elâzığ	187 003	6,38
Muş	87 759	3,00
Erzincan	64 823	2,21
Iğdır	52 881	1,81
Bitlis	45 472	1,55
Van	36 159	1,23
Kars	15 336	0,52
Ağrı	14 788	0,51
Erzurum	12 974	0,44
Bingöl	6 683	0,23
Tunceli	2 770	0,10
Ardahan	0	0,00
Hakkâri	0	0,00
Toplam	2 929 511	100,00

Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025.

3.2. İllere Göre Tarım İlacı Kullanımı

Türkiye'de tarım ilacı kullanım miktarının yaklaşık %58'i on ilde gerçekleşmektedir. 2024 yılı tarım ilacı kullanımı dikkate alındığında zararlılara karşı daha hassas olan meyve ve sebze üretiminin en yoğun olduğu Akdeniz, Ege ve Marmara Bölgelerinde kullanımın daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu bağlamda en yoğun tarım ilacı kullanımının dekar başına 1,48 kg ile Mersin'de olduğu görülürken, bunu 1,42 kg ile Adana, 1,19 kg ile Antalya izlemektedir. En yüksek tarım ilacı kullanımının olduğu ilk on il içinde dekar başına en düşük kullanım ise 0,12 kg ile Konya'dadır (Çizelge 9).

Çizelge 9. Tarım İlacı Kullanımının En Yüksek Olduğu İller (2024)

İller	Tarım ilacı kullanımı (kg)	(%)	Tarım alanı (da)	Kg/da
Adana	7 122 395	13,31	5 019 336	1,42
Mersin	4 811 755	8,99	3 258 754	1,48
Antalya	3 892 820	7,27	3 272 283	1,19
Manisa	3 427 601	6,40	5 039 626	0,68
Malatya	2 402 863	4,49	2 684 781	0,90
Konya	2 227 222	4,16	18 846 034	0,12
İzmir	1 870 852	3,50	3 467 621	0,54
Aydın	1 814 941	3,39	3 677 913	0,49
Bursa	1 805 738	3,37	3 008 959	0,60
Çanakkale	1 653 554	3,09	2 972 147	0,56
Toplam	31 029 741	57,97		
Türkiye	53 515 000	100,00		

Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025; TÜİK, 2025.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

İnsektisit kullanımında dekara düşen miktar bakımından Adana ili 0,69 kg, Mersin ili 0,67 kg ile öne çıkmaktadır. Bu illeri Antalya ili 0,41 kg ile takip etmektedir. Birim alana fungisit kullanımının en yoğun olduğu iller 0,75 kg ile Malatya ve Gümüşhane olup, bu illeri 0,58 kg ile Manisa ve 0,46 kg ile Bursa izlemektedir. Herbisit kullanımında ise Adana ili 0,26 kg/da, Edirne ili 0,23 kg/da, Tekirdağ ili 0,20 kg/da ile öne çıkmaktadır (Çizelge 10).

Çizelge 10. Tarım İlacı Gruplarına Göre En Çok Kullanan İllerin Kullanım Miktarları (kg/da) (2024)

İller	Tarım alanı (da)	İnsektisit	Kg/da	İller	Tarım alanı (da)	Fungisit	Kg/da	İller	Tarım alanı (da)	Herbisit	Kg/da
Adana	5 019 336	3 444 041	0,69	Manisa	5 039 626	2 931 658	0,58	Adana	5 019 336	1 283 713	0,26
Mersin	3 258 754	2 194 065	0,67	Malatya	2 684 781	2 006 685	0,75	Konya	18 846 034	891 202	0,05
Antalya	3 272 283	1 355 365	0,41	Bursa	3 008 959	1 390 000	0,46	Tekirdağ	4 232 242	854 564	0,20
Aydın	3 677 913	517 536	0,14	Konya	18 846 034	951 761	0,05	Edirne	3 498 818	803 350	0,23
İzmir	3 467 621	375770	0,11	Gümüşhane	1 158 996	868 361	0,75	Aydın	3 677 913	706 053	0,19
Diyarbakır	5 693 576	365 995	0,06	Antalya	3 272 283	817 190	0,25	İzmir	3 467 620	660 873	0,19
Şanlıurfa	11 107 062	359194	0,03	Adana	5 019 336	776 346	0,15	Samsun	3 808 080	443 917	0,12
Konya	18 846 034	322 182	0,02	İzmir	3 467 620	616 550	0,18	Çanakkale	2 972 147	433 089	0,15
Manisa	5 039 626	281 608	0,06	Mersin	3 258 754	609 270	0,19	Diyarbakır	5 693 576	432 801	0,08
Malatya	2 684 781	279 788	0,10	Çanakkale	2 972 147	485 887	0,16	Denizli	3 702 558	405 778	0,11

Kaynak: Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025; TÜİK, 2025.

Çizelge 11'de Türkiye'nin farklı bölgelerinde yapılan araştırmalarda farklı tarım ürünlerine yönelik tarım ilacı kullanım masrafları ile üreticilerin ilaç kullanım davranışları incelenmiştir. İncelenen çalışmaların sonuçlarına göre ilaçlama masrafları toplam değişken masrafların %4,74 ile 17,35'i, üretim masraflarının ise %0,60 ile 21,08'i arasında bir değer almaktadır. Özellikle meyve ve sebzelerde ilaç masraflarının daha yüksek olduğu söylenebilir. Üreticilerin büyük çoğunluğunun önerilen dozdan daha fazla ve kendi deneyimlerine göre uygulama yaptığı görülmüştür.

Çizelge 11. Tarım İlaçlarının Kullanımına Yönelik Bazı Çalışmalardan Elde Edilen Bulgular

Yıl	Yazar/lar	Ürün	Bölge/İl	Bulgular
2023	Örmeci Kart	Üzüm, Kiraz, Mandalina	Manisa İzmir	Üreticilerin daha çok kendi deneyimleri ve ilaç bayilerinden aldıkları bilgiler doğrultusunda ilaçlama yaptığı saptanmıştır.
2022	Bayizit	Üzümsü meyveler (Ahududu, Böğürtlen, Yaban mersini)	Bursa	Üretim masrafları içinde ilaç masrafının payı %4,58'dir.
2022	Aydın ve ark.	Buğday	Edirne	Üretim masrafları içindeki payları; toprak analizi yaptıran işletmelerde %6,05, toprak analizi yaptırmayan işletmelerde %6,92'dir.
2021		Patates	Afyonkarahisar	Değişken masraflar içinde, ilaç masrafının payı %13,55'tir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

	Kadakoğlu ve Karlı			
2020	Cebeci	Üzüm	Manisa	Üreticilerin kullanacağı tarım ilacına ve dozuna (%45), uygulama zamanına kendisinin karar verdiği (%30-80), önerilen doza uymamakta ve yüksek dozda ürün uyguladıkları saptanmıştır (%18-30).
2020	Uğurlu	Pamuk	Manisa	Değişken masraflar içinde, ilaç masrafının payı %6,77'dir.
2019	Bilgin ve ark.	Kayısı	Malatya	Değişken masraflar içinde, ilaç masrafının payı %9,29'dur.
2017	Aydın ve ark.	Üzüm	Trakya Bölgesi (Kırklareli, Edirne ve Tekirdağ)	İlaç masrafının toplam üretim masrafları içindeki payları; iyi tarım uygulaması yapmayan işletmelerde %21,08, iyi tarım uygulaması yapan işletmelerde %19,68'dir.
2015	Yılmaz ve ark.,	Pamuk	Antalya	Üretim masrafları içinde ilaç masrafının payı %11,22'dir.
2014	Ağır ve Saner	Çilek	İzmir	Toplam üretim masrafı içinde; açıkta üretim yapan işletmelerde ilaç masrafının payı %0,75; örtüaltı üretim yapan işletmelerde ilaç masrafının payı %0,60'tır.
2010	Özalp	Nar	Antalya	İncelenen işletmelerde ortalama üretim masrafları içinde ilaç masrafının payı %1,89'dur.
2010	Aydoğmuş ve Yılmaz	Elma	Antalya	İncelenen işletmelerde değişken masraflar içinde ilaç masrafının payı %9,09'dur.
2008	Engindeniz	Domates	İzmir	Üretim masrafları içinde ilaç masrafının payı %3,26'dır.
2007	Işın ve Yıldırım	Meyve	İzmir	Üreticilerin tarım ilaçlarının zararlarına yönelik farkındalığı ile uygulamaları arasında tutarsızlık saptanmıştır.
2005	Çobanoğlu ve ark.	İncir	Aydın	İncelenen işletmelerde değişken masraflar içinde ilaç masrafının payı %4,74 olarak belirlenmiştir.
2005	Demircan ve Yılmaz	Elma	Isparta	Üreticilerin %32,11'inin kendi deneyimlerine, %25,69'unun bayilerinin önerilerine göre ilaçlama yaptıkları saptanmıştır. Değişken masraflar içinde ilaç masraf payı %17,35 olarak belirlenmiştir.
2005		Hıyar	Mersin	Üretim masrafları içinde ilaç masrafının payı %8,49'dur.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

	Rad ve Yarşı			
2005	Boyraz ve ark.	Elma	Isparta	Üreticilerin hastalık ve zararlılara karşı erken uyarı sisteminin öngördüğü ilaçlamadan daha fazla ilaçlama yaptığı saptanmıştır.
2004	Demircan ve Aktaş	Kiraz	Isparta	Üreticilerin %51,9'u ilaç doz ayarlamasını etikete göre yapmaktadır, %65,22'si ilaçlama öncesi ve sırasında korumaya yönelik önlem almamaktadır. %41,31'i ilaç ambalajlarını rastgele çevreye atmaktadır. Değişken masraflar içinde ilaç masrafının payı %6,01'dir.
2002	Özkan ve ark.	Sera sebze (domates, biber, patlıcan ve hıyar)	Antalya	Domates üretim masrafları içinde ilaç masrafının payı %11,9'dur. Biber üretim masrafları içinde ilaç masrafının payı %8,9; patlıcan üretim masrafları içinde ilaç masrafının payı %8,9; hıyar üretim masrafları içinde ilaç masrafının payı %10,8'dir. Üreticilerin %68,3'ü hastalık ve zararlı tespitini kendi yaptığında uygulamaya geçtiği saptanmıştır.

4.TÜRKİYE'DE TARIM İLAÇLARI DIŞ TİCARETİ

Türkiye'de tarım ilacı piyasası, tarımsal üretimin yoğunluğu nedeniyle oldukça büyük bir ekonomik alan oluşturmaktadır. Aktif maddeler ithal edilirken, formülasyon ve dağıtımda güçlü bir iç pazar hacmi görülmektedir. İhracat ise daha sınırlıdır ancak Orta Doğu ve Balkan ülkelerine yönelik artış eğilimi mevcuttur. AB standartlarına uyum sağlamak için yapılan düzenlemeler, ihracat pazarında Türkiye'nin rekabet gücünü artırmaktadır. Tarım ilaçları ticaretinde ithalatın payı yaklaşık %70–80 düzeyinde, ihracatın payı ise %20–30 düzeyinde tahmin edilmektedir.

Türkiye'nin 2020–2024 yılları arasında tarım ilacı ihracat değerleri Çizelge 12'de sunulmuştur. 2020 yılında tarım ilacı ihracatı yaklaşık 375,6 bin dolar iken 2021'den itibaren yeniden azalarak 2024'te yaklaşık 209,8 bin dolara gerilemiştir. Bu düşüş, 2020 yılındaki artışın kalıcı bir yapısal dönüşümden çok pazar koşullarına bağlı geçici bir tepki olduğunu göstermektedir. 2020 yılında Türkiye'nin toplam ihracatında tarım ilaçlarının %0,22 olan payı, 2021'den itibaren hızlı bir düşüş yaşayarak 2024 yılında %0,08 olmuştur.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Çizelge 12. Türkiye Tarım İlacı İhracat Değeri (bin dolar)

	Tarım ilacı ihracatı	İndeks (2020=100)	Toplam ihracat	Tarım ilacı ihracatının toplam ihracat içindeki payı (%)
2020	375 591,09	100,00	169 657 940	0,22
2021	176 247,78	46,93	225 264 314	0,08
2022	186 073,06	49,54	254 171 899	0,07
2023	177 691,38	47,31	255 627 429	0,07
2024	209 778,00	55,85	261 801 501	0,08

Kaynak: FAOSTAT, ITC, 2025

Çizelge 13'te Türkiye'nin 2020-2024 yılları arasındaki tarım ilacı ithalat değerleri verilmiştir. 2020-2024 yılları arasında tarım ilacı ithalat değerinde dalgalanmalar görülmektedir. 2023 yılında ithalat değeri en yüksektir. 2024 yılındaki azalış yerli üretim artışı, ithalat kısıtlamaları veya talep daralmasıyla açıklanabilir. Tarım ilacı ithalatının toplam ithalat içindeki payında 2021 yılından itibaren dalgalanmalar mevcuttur. 2024 yılında tarım ilacı ithalatının toplam ithalat içindeki payı %0,14 olarak görülmektedir.

Çizelge 13. Türkiye Tarım İlacı İthalat Değeri (bin dolar)

	Tarım ilacı ithalatı	İndeks (2020=100)	Türkiye toplam ithalat	Tarım ilacı ithalatının toplam ithalat içindeki payı (%)
2020	463 083,91	100,00	219 514 373	0,21
2021	445 923,91	96,29	271 422 758	0,16
2022	503 881,77	108,81	363 710 987	0,14
2023	645 767,03	139,45	361 966 913	0,18
2024	477 398,00	103,09	344 017 272	0,14

Kaynak: FAOSTAT, ITC, 2025

5. TARIM İLACI KULLANIMI İLE İLGİLİ SORUNLAR

Tarım ilaçları yalnızca zararlı organizmaları kontrol eden kimyasallar olarak değil, uygulandıkları ekosistemle birlikte değerlendirilmelidir. Yanlış ve bilinçsiz kullanım ürünlerde ve çevrede kalıntı bırakmakta, insan ve çevre sağlığı üzerinde ciddi riskler oluşturmaktadır. Tarımsal üretimde yüksek verim ve kaliteyi sağlamak için çoğu zaman tarım ilaçları mecburidir. İyi Tarım Uygulamaları (GAP/İTU), tarım ilacı kullanımının azaltılmasından çok, güvenli ve bilinçli uygulamaların önemini vurgulamaktadır. Buna göre ruhsatlı ürün kullanımı, doğru doz ve hasat öncesi bekleme süresi (PHI) dikkate alınmalıdır. Tarım ilaçlarının önemli bir kısmı uygulama sırasında buharlaşmakta veya sürüklenme ile hedef dışı alanlara taşınmakta;

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

bu durum kalıntı ve toksisiteye yol açmaktadır. Kalan kısmı ise bitki yüzeyinde ve toprakta birikmektedir (Kiziewicz et al., 2002). Tarım ilaçları etkin madde ve yardımcı maddelerden oluşur; dünya çapında 1000'den fazla etkin madde bulunmakta ve yeni ruhsatlandırmalar sıkı toksikolojik değerlendirmeler gerektirmektedir (Velioğlu, 2024). Toprak tarım ilaçlarını filtreleme kapasitesine sahip olsa da kalıcı kimyasallar parçalanmadan birikmektedir. Örneğin, toprak verimliliğini artırmada önemli bir rol oynayan solucanlar ve mikroorganizmalar için risk oluşturmakta, toprak verimliliğini azaltmaktadır (Yıldırım, 2008; Birişik ve ark., 2018). Ayrıca yüzey akışı ve sızma yoluyla yeraltı ve yüzey sularına ulaşabilen tarım ilaçları uzun süre parçalanmadan kalabilmektedir. Türkiye'de yapılan araştırmalarda, bazı akarsularda yasaklı maddeler de dahil olmak üzere kalıntıların hâlâ tespit edildiği bildirilmektedir (Yücel, 2006; Turgut, 2003). Tarım ilaçlarının topraktan süzülüp yeraltı sularına karışması veya buharlaşma ile atmosfere karışması, topraktaki kalıntıların meydana getirdiği başlıca sorunlardır. İlaçlama sırasında rüzgârla taşınma hedef dışı canlılara zarar verebilir; bu nedenle meme tipi, basınç ve iklim koşullarına dikkat edilmelidir (Altıkat ve ark., 2009). Doğru bir uygulama teknolojisinin kullanılmaması hem uygulayıcı hem de çevre için sorun oluşturmaktadır. Sağlık açısından tarım ilaçları akut ve kronik toksisite riskleri taşır. Özellikle organofosfatlar, karbamatlar ve klorlu hidrokarbonları içeren tarım ilaçları sinir sistemi üzerinde etkili olmaktadır (Shaw et al., 2002). FAO ve WHO'nun Codex Alimentarius çalışmalarıyla gıdalarda izin verilen maksimum kalıntı limitleri (MRL) ve kabul edilebilir günlük alım (ADI) kriterleri belirlenmiştir. Türkiye'de de ürün ve tarım ilacı bazında MRL değerleri oluşturulmuştur (Kışlalıoğlu & Berkes, 2001; Watson, 2001). Mesleki maruziyet uygulayıcılar için en önemli risk grubunu oluştururken, gıdalardaki kalıntı düzeyleri uluslararası ticarette kritik öneme sahiptir; MRL üzerindeki ürünler ihracatta reddedilmektedir (Akdoğan ve ark., 2012).

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de hastalık, zararlı ve yabancı ot mücadelesinde en çok tercih edilen yöntem kimyasal mücadeledir. Kısa sürede sonuç alınması ve uygulama kolaylığı nedeniyle yaygın kullanılan tarım ilaçları, bilinçsiz ve yoğun uygulandığında direnç gelişimi, maliyet artışı, verim ve kalite kaybı ile ekosistem ve insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuzluklara yol açmaktadır. Bu nedenle geniş etkili ilaçlardan kaçınılmalı, seçici preparatlar en düşük dozda ve doğru zamanda kullanılmalı, sık tekrarlardan uzak durulmalıdır. Entegre mücadele yaklaşımının yaygınlaştırılması, tahmin-uyarı sistemlerinin, biyoteknik yöntemlerin (tuzak ve feromonlar) kullanılması, üreticilerin yeniliklere açık olması ve onların ihtiyaçlarına odaklı farkındalık faaliyetleri gereksiz ilaç kullanımını azaltmada kritik öneme sahiptir. İhracata

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

yönelik üretimlerde kalıntı sorunu yaşanmaması için üreticilerin bilinçli uygulamalara yönelmesi şarttır. Avrupa'da yasaklanmış tarım ilacı etken maddelerinin ithalatının yapılmaması da etkili olacaktır. Ayrıca boş ambalajların çevreye rastgele bırakılması önemli bir çevre kirliliği kaynağıdır; bu konuda belediyeler ve özel sektörün geri toplama projeleri desteklenmelidir. Üreticilerin tarım ilacı uygulama sayısı ve dozuna dikkat etmemeleri, ürün kaybını en aza indirmek için verdikleri bir çaba olmakla birlikte, ilaç masraflarının, kalıntı miktarının bazı üreticiler için önemli bir etken olmadığı görülmektedir. Tarım ilaçları analiz sonuçlarının kamuya açık şekilde paylaşılması ise üreticileri daha dikkatli olmaya teşvik etmek açısından önemlidir. Resmi denetim mekanizmalarının etkili uygulanması, üreticilerin yanlış inanışlarının (örneğin kalıntıya karşı banyo yapmak veya yoğurt yemek) giderilmesi ve eğitim faaliyetlerinin artırılması sürdürülebilir tarım açısından zorunludur. Tarım ilacı uygulama sayısına bağlı yaş meyve ve sebzede kalıntı olma ihtimali nedeniyle 33 adet bitkisel ürün reçeteye tabidir. Reçeteli ürünlerin kalıntı riskini azaltmak için denetim güçlendirilmeli ve takip sistemi yaygınlaştırılmalıdır; bu sayede izlenebilirlik artacaktır. Dünya örneklerinden hareketle Türkiye'de vergilendirme, destekleme ve eğitim politikaları geliştirilerek tarım ilacı kullanımının azaltılması mümkündür. Tarım ilacı üretimi yapan firmaların ürün bazında ruhsat maliyetlerinin yüksekliği, ruhsat alma sürecinden kaçınmalarına yol açmaktadır. Bu durum, ihtiyaç halinde ruhsatlı ürünlerin piyasada bulunmamasına ve üreticilerin ruhsatsız tarım ilacı kullanımına yönelmesine neden olmaktadır. Bakanlığın gereken zamanda geçici tarım ilacı tavsiyesinde bulunması önemlidir. Sonuç olarak, tarım ilaçlarının kullanımı günümüzde kaçınılmaz olmakla birlikte; bilinçli, teknik talimatlara uygun ve entegre mücadele yöntemleriyle desteklenen uygulamalar sayesinde hem çevre hem de insan sağlığı korunabilir, sürdürülebilir tarım ve toplumsal refah güvence altına alınabilir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

7. KAYNAKÇA

Ağır, H. B., Saner, G., İzmir İli Emiralem Beldesinde Açıkta ve Örtüaltı Çilek Yetiştiriciliğinde Üretim Maliyetlerinin Belirlenmesi, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 51(2), 145-152, 2014.

Akdoğan, A., Divrikli, Ü., Elçi, L., Pestisitlerin Önemi ve Ekosisteme Etkileri. Akademik Gıda, 10(1), 125-132, 2012.

Altıkat, A., Turan, T., Ekmekyapar Torun, F., Bingül, Z., Türkiye'de Tarım ilacı Kullanımı ve Çevreye Olan Etkileri, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 40(2), 87-92, 2009.

Anonim a, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Bitki Sağlığında Alternatif Mücadele Yöntemleri, S:12, 2014.

Anonim b, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü. Mart 2024.

Aydın, B., Kiracı, M. A., Aktürk, D., Özkan, E., Hurma, H., Üzüm Üretiminde İyi Tarım Uygulamalarının Ekonomik Analizi: Trakya Bölgesi Örneği. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 4(4), 402-408, 2017.

Aydın, B., Özkan, E., Çobanoğlu, F., Gürbüz, M. A., Kurşun, İ., & Kayhan, İ. E., Edirne İlinde Buğday Üretiminde Girdi Kullanımı ve Karşılaştırmalı Maliyet Analizi. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 19(1), 111-119, 2022.

Aydoğmuş, F., & Yılmaz, İ., Antalya İlinde Bodur, Yarı Bodur ve Çöğür Anaç Kullanılarak Yapılan Elma Üretiminin Ekonomik Analizi. Akdeniz Üniversitesi, 23(2), 127-135, 2010.

Bayizit, M., *Bursa İlinde Yetiştirilen Önemli Üzümsü Meyvelerin (Ahududu, Böğürtlen, Yaban Mersini) Üretim ve Pazarlamasının Ekonomik Analizi*, Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2022.

Bilgin, N. A., Kart, M. Ç. Ö., Mısırlı, A., Toraman, E., Malatya İlinde Organik ve Konvansiyonel Kayısı Yetiştiriciliği Yapan İşletmelerin Ekonomik Açıdan Karşılaştırılması. Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 6(10), 136-147, 2019.

Birişik, N., Özdem, A., Karahan, A., Sezgen, M., Ertürk, S., Alkan, M., Bayram, Y., Teoriden Pratiğe Kimyasal Mücadele. 2018.

Boyraz N., Kaymak S. ve Yiğit, F., Eğirdir İlçesi Elma Üreticilerinin Kimyasal Savaşım Uygulamanın Genel Değerlendirilmesi, S.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 19(36): 37-51, 2005.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Cebeci, A. N., A Research on the Use of Agricultural Pollution and Pesticide: Manisa Province, Sarıgol and Alasehir Sample, Journal of Current Research on Engineering, Science And Technology, 6 (2): 1-22, 2020.

Çobanoğlu, F., Armağan, G., Kocataş, H., Şahin, B., Ertan, B., Özen, M., Aydın İlinde İncir Üretiminin Önemi ve Kuru İncir Üretim Faaliyetinin Ekonomik Analizi. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fak. Dergisi, 2(2), 35-42, 2005.

Demircan, V. ve Aktaş A.R., Isparta İli Kiraz Üretiminde Tarımsal İlaç Kullanım Düzeyi Ve Üretici Eğilimlerinin Belirlenmesi, Tarım Ekonomisi Dergisi, (9): 51-65, 2004.

Demircan, V., Yılmaz, H., Isparta İli Elma Üretiminde Tarımsal İlaç Kullanımının Çevresel Duyarlılık ve Ekonomik Açıdan Analizi. Ekoloji, 14(57), 15-25, 2005.

Engindeniz, S., İzmir'de Sözleşmeli ve Sözleşmesiz Domates Üretiminin Karşılaştırmalı Ekonomik Analizi, 7(1), 44-51, 2008.

FAOSTAT, Food and Agricultural Organization of the United Nations Statistics Database, 2025.

Işın, Ş., Yıldırım, I., Fruit-Growers' Perceptions on the Harmful Effects of Pesticides and Their Reflection on Practices: The Case of Kemalpaşa, Turkey, Crop Protection, 26: 917–922, 2007.

ITC, Trade Map, 2025.

Kadakoğlu, B., Karlı, B., Afyonkarahisar İlinde Patates Üretiminin Ekonomik Analizi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 25(3), 581-588, 2022.

Kaymak, S., Özdem, A., Karahan, A., Özercan, B., Aksu, P., Aydar, A., Kodan, M., Yılmaz A., Başaran, M. S., Asav, Ü., Erdoğan, P., Güler, Y., Ülkemizde Zirai Mücadele Girdilerinin Değerlendirilmesi. Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara, 2015.

Kışlalıoğlu, M., Berkes, F., Ekoloji ve Çevre Bilimleri, Remzi Kitabevi, 2001.

Kiziewicz, B., Czeczuga, B., Bioaccumulation of Organochlorine Pesticides in the Trophic Chain Alga-Freshwater Fish. Acta Ichthyologica Et Piscatoria, 32(1): 41-51, 2002.

Örmeci Kart, Ç., *Ege Bölgesinde Meyve Üreticilerinin Tarımsal İlaç Satın Alma ve Kullanım Davranışlarının Analizi,* Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi 2023.

Özalp, A., *Antalya İlinde Nar Üretiminin Ekonomik Analizi*, Akdeniz Üniversitesi, 2010.

Özercan B., Özdem A., Kimyasal Mücadele, Tarımsal Araştırmalardan Bakış, 2015.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Özkan, B., Akçagöz, H. V., Karaman, S., Taşcıoğlu, Y., Antalya İlinde Serada Sebze Üretiminde Tarım İlacı Kullanımının Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi. Bahçe, 31(1), 2002.

Rad, S., Yarşı, G., Silifke'de Hıyar Yetiştiren Sera İşletmelerinin Ekonomik Performansları ve Birim Ürün Maliyetleri. Tarım Ekonomisi Dergisi, 11(1 ve 2), 25-31, 2005.

Shaw, I., Chadwick, J., Principles of Environmental Toxicology, Taylor & Francis Ltd., London, UK, 2002.

Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü, İl Düzeyinde Bitki Koruma Ürünlerinin Kullanım Miktarları, 2024.

Tiryaki, O., Canhilal, R., Horuz, S., Tarım İlaçları Kullanımı ve Riskleri. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26(2): 154-169, 2010.

Turgut, C, The Contamination with Organochlorine Pesticides and Heavy Metals in Surface Water in Küçük Menderes River in Turkey, 2000–2002. Environment International, 4: 29-32, 2003.

TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. İstatistik Veri Portalı, 2025.

Uğurlu, M., Pamuk Üretiminin Ekonomik Analizi: Manisa Örneği, Ziraat Fakültesi Dergisi, 206-217, 2020.

Velioğlu, S., GDM 308 Gıda Kimyası-II, Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri, 2020.

Watson H.D., Food Chemical Safety, Volume 1: Contaminants, First Edition, CRC Press LLC, New York, USA, 218p, 2001.

Yıldırım, E., Tarımsal Zararlılarla Mücadele Yöntemleri ve Kullanılan İlaçlar, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:219, Erzurum, 350 s., 2008.

Yılmaz, Ş., Gül, M., İşletmelerde Pamuk Üretim Maliyeti, Karlılık Düzeyinin Değerlendirilmesi: Antalya İli Örneği, Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 20(2), 27-41, 2015.

Yücel, Ü., Pestisitlerin İnsan ve Çevre Üzerine Etkileri. Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Nükleer Kimya Bölümü, Ankara, 2006.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ARPA ISLAHINDA MOLEKÜLER YAKLAŞIMLAR

Arş. Gör. Dr. İlker YÜCE

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, ilkeryuce001@gmail.com - 0000-0002-9761-3561

ÖZET

Arpa (*Hordeum vulgare* L.), gıda, yem ve malt endüstrileri için küresel öneme sahip bir tahıl bitkisidir. Artan nüfus baskısı, iklim değişikliği ve biyotik ve abiyotik streslerin yaygınlığı, yüksek verimli, dayanıklı arpa çeşitlerinin geliştirilmesini gerektirmektedir. Geleneksel ıslah önemli ilerlemeler kaydetmiş olsa da, genellikle uzun ıslah döngüleri ve güçlü çevresel etkilerle sınırlıdır. Sonuç olarak, moleküler ıslah yaklaşımları, modern arpa iyileştirme programlarında etkili tamamlayıcı araçlar olarak ortaya çıkmıştır. Moleküler marker teknolojilerindeki ilerlemeler, arpa genomunun daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını sağlamıştır. RFLP, SSR ve özellikle tek nükleotid polimorfizmi (SNP) markerleri gibi marker sistemleri, genetik çeşitlilik analizi, bağlantı haritalama ve marker destekli seleksiyon (MAS) alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Verim, kalite özellikleri ve biyotik ve abiyotik streslere tolerans ile ilişkili kantitatif özellik lokuslarının (QTL) tanımlanması, arpa ıslahında seçim verimliliğini önemli ölçüde artırmıştır. Daha yakın zamanda, ıslah değerlerini tahmin etmek için genom çapında marker bilgilerini kullanan genomik seçim (GS), ıslah döngülerinin kısaltılmasına ve genetik kazancın artırılmasına katkıda bulunmuştur. Sekanslama yoluyla genotipleme (GBS), transkriptom profilleme ve pan-genom analizleri dahil olmak üzere yeni nesil sekanslama (NGS) teknolojileri, aday genlerin keşfini kolaylaştırmış ve karmaşık özelliklerin altında yatan gen işlevlerinin anlaşılmasını geliştirmiştir. Ayrıca, CRISPR/Cas sistemleri gibi genom düzenleme araçları, stres toleransı ve kalite iyileştirme ile ilgili hedef genlerin hassas bir şekilde modifiye edilmesi için yeni fırsatlar sunmaktadır. Genel olarak, moleküler yaklaşımların geleneksel fenotipik seleksiyonla entegrasyonu, sürdürülebilir, yüksek performanslı arpa çeşitlerinin geliştirilmesini hızlandırmak için güçlü bir stratejiyi temsil etmektedir.

Anahtar Kelimeler : *Hordeum vulgare*, Moleküler ıslah, Marker destekli seleksiyon, Genomik seleksiyon

GİRİŞ

Arpa (*Hordeum vulgare* L.), kültüre alınan en eski tahıl türlerinden biridir ve hayvan yemi, insan beslenmesi, malt ve bira endüstrilerinde yaygın olarak kullanılması nedeniyle küresel ölçekte büyük önem taşımaktadır. Geniş ekolojik adaptasyon kabiliyeti, nispeten kısa yetişme süresi ve olumsuz çevre koşullarına toleransı, arpayı özellikle marjinal alanlarda sürdürülebilir tarım için önemli bir ürün haline getirmektedir. Ancak, artan verim talepleri, daha katı kalite gereksinimleri ve iklim değişikliğinin neden olduğu biyotik ve abiyotik streslerin yoğunlaşması, geleneksel ıslah yaklaşımlarının tek başına sınırlarını ortaya koymuştur (Collard & Mackill, 2008).

Son yirmi yılda moleküler biyoloji ve genomik alanındaki gelişmeler, daha hassas, verimli ve hızlı seleksiyon stratejileri sağlayarak arpa ıslahını önemli ölçüde dönüştürmüştür. Kromozom ölçeğinde yüksek kaliteli bir referans genom dizisinin yayınlanması, arpada gen keşfi, yüksek

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

çözünürlüklü haritalama ve genom çapında analizler için sağlam bir temel sağlayarak önemli bir dönüm noktası olmuştur (Mascher ve ark., 2017; Beier ve ark., 2017). Daha sonra yapılan pan-genom çalışmaları, yabani ve kültür arpa genotipleri arasında geniş yapısal farklılıklar olduğunu ortaya koymuş ve bitkinin geliştirilmesi için henüz kullanılmamış genetik çeşitliliğin önemini vurgulamıştır (Jayakodi ve ark., 2020, 2024).

Moleküler marker teknolojilerinin gelişimi, arpa ıslah programlarında marker destekli seleksiyon (MAS), kantitatif karakter lokusu (QTL) haritalama, genom çapında ilişki çalışmaları (GWAS) ve genomik seleksiyon (GS) uygulamalarının yaygınlaşmasını kolaylaştırmıştır. Diversity Arrays Technology (DArT) ve tek nükleotid polimorfizmlerine (SNP) dayalı yüksek verimli genotipleme platformları, tane verimi, kalite özellikleri, biyotik ve abiyotik streslere direnç gibi karmaşık özelliklerin incelenmesini mümkün kılmıştır (Wenzl ve ark., 2004, 2006). Bu araçlar, ıslahçıların fenotip temelli seleksiyona göre daha yüksek doğrulukla erken gelişim aşamalarında üstün genotipleri seçmelerine olanak sağlamaktadır (Thorwarth ve ark., 2017).

Moleküler yaklaşımlar, arpanın başlıca hastalıklarına karşı direncin artırılması, kuraklık ve tuzluluğa toleransın geliştirilmesinde özellikle etkili olmuştur. GWAS ve bağlantı haritalama yoluyla stresle ilgili özellikler için çok sayıda QTL ve belirteç-özellik ilişkisi tanımlanmış ve bu da iklime dayanıklı arpa çeşitlerinin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur (Devate ve ark., 2022). Buna paralel olarak, genomik seleksiyon modelleri, çeşitli germplazm koleksiyonlarında ıslah değerlerini tahmin etmek için değerli olduklarını kanıtlamış ve gen bankalarında korunan genetik kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır (Jiang ve ark., 2021).

Daha yakın zamanda, fonksiyonel genomik ve genom düzenleme teknolojileri, özellikle CRISPR/Cas tabanlı sistemler, arpa ıslahı için yeni yollar açmıştır. Bu yaklaşımlar, tarımsal ve kalite özelliklerini kontrol eden genlerin hedefli olarak değiştirilmesine olanak tanıyarak, geleneksel ve belirteç tabanlı ıslah stratejilerini tamamlamaktadır (Gasparis ve ark., 2018). Toplamda, moleküler ıslah araçları modern arpa geliştirme programlarının ayrılmaz bileşenleri haline gelmiş ve değişen çevre koşulları altında genetik kazancı hızlandırmak ve sürdürülebilir üretimi sağlamak için önemli bir potansiyel sunmaktadır.

2. Arpanın Genetik Yapısı ve Genomik Kaynakları

Arpa (*Hordeum vulgare* L.), yaklaşık 5,1 Gb büyüklüğünde geniş bir genoma sahip diploid bir türdür (2n = 2x = 14) ve bu genomun %80'inden fazlası tekrarlayan DNA elemanlarından oluşmaktadır. Bu yüksek orandaki transpozon elemanları, tarihsel olarak genom dizileme ve gen keşfi için büyük problemler yaratmıştır. Bununla birlikte, sekanslama teknolojileri ve fiziksel haritalama stratejilerindeki son gelişmeler, moleküler arpa ıslah programlarının temelini oluşturan yüksek kaliteli genomik kaynakların geliştirilmesini mümkün kılmıştır (Mascher ve ark., 2017).

Kromozom konformasyon yakalama ile sekanslama ve optik haritalama yaklaşımları kullanılarak oluşturulan kromozom ölçeğinde referans genom sekansının yayınlanmasıyla önemli bir atılım gerçekleştirilmiştir. Bu referans dizilimi, yüksek derecede düzenli ve sabitlenmiş bir genom sağlayarak, yedi arpa kromozomunun tümünde genlerin, kantitatif özellik lokuslarının (QTL'ler) ve moleküler belirteçlerin doğru bir şekilde lokalize edilmesini mümkün kılmıştır (Mascher ve ark., 2017). Daha sonra, harita tabanlı bir referans genom, gen ifadesini ve yapısal çözünürlüğü daha da iyileştirerek, karşılaştırmalı genomik ve fonksiyonel analizleri kolaylaştırmıştır (Beier ve ark., 2017).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Tek bir referans genomun ötesinde, pan-genom çalışmaları, kültürlenmiş ve yabani arpa erişimleri arasında kapsamlı varlık-yokluk varyasyonu ve yapısal çeşitlilik olduğunu ortaya koymuştur. Bu analizler, genlerin önemli bir kısmının referans genomda temsil edilmediğini göstererek, arpa genetik çeşitliliğinin tam spektrumunu yakalamak için birden fazla genomun dahil edilmesinin önemini vurgulamıştır (Jayakodi ve ark., 2020). Daha yeni pan-genomik araştırmalar, kültüre alma ve adaptasyon süreçlerinde yapısal varyasyonun rolünü daha da vurgulamış ve yabani arpa germplazmının stres toleransı ve verim artışı için yeni allellerin deposu olarak potansiyelini ortaya koymuştur (Jayakodi ve ark., 2024).

Buna paralel olarak, yoğun genetik ve fiziksel haritaların geliştirilmesi, arpada özellik haritalamanın çözünürlüğünü büyük ölçüde artırmıştır. Diversity Arrays Technology (DArT) ve tek nükleotid polimorfizmi (SNP) dizileri gibi yüksek yoğunluklu marker platformları, SSR'ler, RFLP'ler ve STS'ler dahil olmak üzere çoklu marker sistemlerini entegre eden konsensüs bağlantı haritalarının oluşturulmasını sağlamıştır (Wenzl ve ark., 2004, 2006). Bu entegre haritalar, QTL analizi, genom çapında ilişki çalışmaları (GWAS) ve markör destekli seleksiyon (MAS) için kritik bir çerçeve sağlar.

Kapsamlı genomik kaynakların mevcudiyeti, gen bankalarında korunan arpa genetik kaynaklarının karakterizasyonunu ve kullanımını da kolaylaştırmıştır. Genom çapında genotipleme ve tahmin yaklaşımları, büyük arpa koleksiyonlarına başarıyla uygulanmış ve yetiştiricilerin genetik çeşitliliği, popülasyon yapısını ve yetiştirme potansiyelini, sadece fenotipik değerlendirme yoluyla olduğundan daha verimli bir şekilde değerlendirmelerine olanak sağlamıştır (Jiang ve ark., 2021). Sonuç olarak, genomik kaynaklar artık korunan germplazm ile uygulamalı ıslah arasındaki boşluğu doldurmada merkezi bir rol oynamaktadır.

Genel olarak, arpanın genetik yapısının aydınlatılması ve genomik kaynakların hızla genişlemesi, moleküler ıslah stratejilerini temelden değiştirmiştir. Bu kaynaklar, QTL haritalama, genomik seleksiyon ve genom düzenleme gibi uygulamalar için temel bir zemin oluşturarak, çeşitli agroekolojik koşullar altında arpanın daha hassas ve hızlı bir şekilde genetik olarak iyileştirilmesini sağlamaktadır.

3. Arpa Islahında Moleküler Marker Sistemleri

Moleküler markerler, modern arpa yetiştiriciliğinin temel taşını oluşturur ve fenotipik performansın yanı sıra DNA polimorfizmlerine dayalı olarak hedef özelliklerin dolaylı olarak seçilmesini sağlar. Arpa (*Hordeum vulgare* L.)'da moleküler marker sistemleri, agronomik, kalite ve stresle ilgili özelliklerin genetik temelini incelemek için kapsamlı bir şekilde geliştirilmiş ve uygulanmış, böylece ıslah döngüleri boyunca seçim verimliliği ve doğruluğu artırılmıştır (Collard & Mackill, 2008).

Arpada yapılan ilk moleküler çalışmalar, restriksiyon parçası uzunluk polimorfizmi (RFLP) ve güçlendirilmiş parça uzunluğu polimorfizmi (AFLP) belirteçlerine dayanıyordu ve bunlar, genetik çeşitlilik ve bağlantı ilişkileri hakkında ilk genom çapında bilgiler sağlamıştır. Bu belirteç sistemleri yüksek tekrarlanabilirlik sunsa da yoğun emek gerektiren yapıları ve sınırlı verimleri, ıslah programlarında büyük ölçekli uygulamalarını kısıtlamıştır (Wenzl ve ark., 2006). Basit dizi tekrarı (SSR) belirteçleri, kodominant kalıtımları, yüksek polimorfizm bilgi içeriği ve kullanım kolaylığı nedeniyle popülerlik kazanmış ve arpada genetik haritalama ve çeşitlilik analizi için değerli araçlar haline gelmiştir (Wenzl ve ark., 2006).

Yüksek verimli genotipleme teknolojilerinin ortaya çıkışı, genom çapında marker sistemlerine doğru önemli bir geçişi işaret etmiştir. Diversity Arrays Technology (DArT), önceden sekans bilgisi olmadan hızlı ve uygun maliyetli tüm genom profillemesini mümkün kılmış, yoğun

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

bağlantı haritalarının oluşturulmasını ve arpadaki marker-özellik ilişkilerinin tanımlanmasını kolaylaştırmıştır (Wenzl ve ark., 2004). DArT markörlerinin SSR'ler, RFLP'ler ve STS'ler ile entegrasyonu, kantitatif özellik lokusu (QTL) analizlerinin çözünürlüğünü önemli ölçüde artıran yüksek yoğunluklu konsensüs haritalarının oluşturulmasını sağlamıştır (Wenzl ve ark., 2006).

Daha yakın zamanda, tek nükleotid polimorfizmi (SNP) markörleri, bollukları, genom çapında dağılımları ve otomatik genotipleme platformlarıyla uyumlulukları nedeniyle arpa ıslahında baskın markör sistemi haline gelmiştir. SNP tabanlı diziler ve sekanslama tabanlı genotipleme yaklaşımları artık büyük ölçekli genom çapında ilişki çalışmaları (GWAS) ve genomik seleksiyonu (GS) desteklemekte ve çok sayıda küçük etkili lokus tarafından yönetilen karmaşık özelliklerin analizini mümkün kılmaktadır (Mascher ve ark., 2017). Yüksek kaliteli referans genomların mevcudiyeti, SNP keşfini ve marker sabitlemeyi daha da geliştirerek kromozomlar arasında doğru fiziksel konumlandırmayı sağlamıştır (Beier ve ark., 2017).

Moleküler marker sistemleri, arpada önemli hastalıklara direnç, kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik streslere tolerans sağlayan genlerin tanımlanması ve introgresyonu için başarıyla kullanılmıştır. Bağlantı haritalama ve GWAS'tan elde edilen marker-özellik ilişkileri, yetiştiricilere marker destekli seleksiyon (MAS) için sağlam tanı markerleri sağlamış, bu da erken nesil taraması ve hızlandırılmış genetik kazanç sağlamıştır (Devate ve ark., 2022). Buna ek olarak, genom çapında marker veri setlerinin kullanımı, genomik tahmin modellerinin uygulanmasını kolaylaştırarak moleküler markerlerin yararını bireysel lokusların ötesine, tüm genom tabanlı seleksiyon stratejilerine kadar genişletmiştir (Thorwarth ve ark., 2017).

Genel olarak, düşük verimli belirteçlerden yüksek yoğunluklu genom çapında platformlara kadar moleküler belirteç sistemlerinin sürekli evrimi, arpa ıslahının etkinliğini büyük ölçüde artırmıştır. Bu sistemler, yüksek verimli ve iklime dayanıklı arpa çeşitlerinin geliştirilmesinde merkezi öneme sahip olan MAS, GWAS ve GS dahil olmak üzere genomik kaynaklar ile uygulamalı moleküler ıslah yaklaşımları arasında temel bir bağlantı oluşturmaktadır.

4. Arpa Yetiştiriciliğinde Marker Destekli Seçim (MAS)

Marker destekli seleksiyon (MAS), yalnızca fenotipik performansa dayanmak yerine, sıkı bir şekilde bağlantılı DNA markerleri aracılığıyla hedef özelliklerin dolaylı olarak seçilmesini sağlayan bir moleküler yetiştirme stratejisidir. Arpa ıslahında MAS, özellikle hastalık direnci, abiyotik stres toleransı ve tane kalitesi özellikleri gibi fenotiplemesi zor, zaman alıcı veya maliyetli özellikler için geleneksel yetiştiriciliğin etkili bir tamamlayıcısı haline gelmiştir (Collard & Mackill, 2008).

Arpa ıslahında MAS'ın en başarılı uygulamalarından biri, başlıca mantar hastalıklarına karşı direncin iyileştirilmesidir. Direnç genleri ve kantitatif özellik lokusları (QTL'ler) ile bağlantılı tanısal markörlerin tanımlanması, ıslahçıların direnç allellerini elit germplazma verimli bir şekilde introgres etmelerini sağlamıştır. Önemli bir örnek, külleme (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) hastalığına karşı dayanıklı direnç sağlayan *Mlo* lokusudur. *Mlo* lokusundaki haplotip ve sıkı bağlantılı belirteçlerin moleküler karakterizasyonu, dünya çapındaki arpa ıslah programlarında MAS yoluyla yaygın olarak kullanılmasını kolaylaştırmıştır (Tacconi ve ark., 2006).

Monogenik direncin ötesinde, MAS, çoklu QTL'ler tarafından yönetilen poligenik özelliklere de etkili bir şekilde uygulanmıştır. Marker bilgileri kullanılarak çoklu direnç lokuslarının tanımlanması ve piramitleştirilmesi yoluyla, ağ lekesi ve yaprak lekesi gibi hastalıklara karşı direnç geliştirilmiş, böylece farklı ortamlarda direncin dayanıklılığı ve istikrarı artırılmıştır

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

(Williams ve ark., 1999; Tamang ve ark., 2019). Bu yaklaşımlar, kimyasal mücadeleye olan bağımlılığı azaltmış ve daha sürdürülebilir arpa üretim sistemlerine katkıda bulunmuştur.

MAS, arpada abiyotik stres toleransının, özellikle kuraklık ve ısı stresinin iyileştirilmesinde de değerli olduğu kanıtlanmıştır. Bağlantı haritalama ve genom çapında ilişki çalışmaları (GWAS) yoluyla belirlenen marker-özellik ilişkileri, pratik ıslah araçlarına dönüştürülerek, kontrollü veya saha koşullarında strese uyum sağlayan özellikler için erken nesil seçimi yapılmasına olanak sağlamıştır (Devate ve ark., 2022). Fide aşamasında seleksiyonu mümkün kılan MAS, ıslah döngülerini önemli ölçüde kısaltır ve değişken çevre koşulları altında seleksiyon verimliliğini artırır.

Stres toleransına ek olarak, maltlama kalitesi ve tane bileşimi gibi kaliteyle ilgili özellikler de MAS tabanlı stratejilerden yararlanmıştır. β-glukan içeriği, protein konsantrasyonu ve enzimatik aktivite ile ilişkili QTL'lerin tanımlanması, özellikle malt ve bira endüstrilerinde, belirli son kullanım gereksinimlerine göre uyarlanmış arpa çeşitlerinin geliştirilmesini desteklemiştir (Gianinetti ve ark., 2024). Bununla birlikte, bu tür karmaşık özellikler için MAS'ın etkinliği, altta yatan QTL'lerin stabilitesi ve etki büyüklüğünün yanı sıra çevresel faktörlerle etkileşimlerine de bağlıdır.

Avantajlarına rağmen, MAS'ın, özellikle çok sayıda küçük etkili lokus tarafından kontrol edilen yüksek poligenik özelliklere uygulandığında belirli sınırlamaları vardır. Bu gibi durumlarda, bireysel belirteçlerin tahmin gücü yetersiz olabilir ve MAS'ın genomik seleksiyon gibi genom çapında yaklaşımlarla entegrasyonunu gerektirebilir. Bununla birlikte, MAS, özellikle yüksek verimli genotipleme platformlarıyla birleştirildiğinde, tekrarlayan seleksiyon, geri melezleme programları ve büyük etkili allellerin sabitlenmesi için güçlü ve maliyet etkin bir araç olmaya devam etmektedir (Thorwarth ve ark., 2017).

Genel olarak, belirteç destekli seleksiyon, moleküler belirteç keşiflerinin arpa ıslahında pratik genetik kazançlara dönüştürülmesinde önemli bir rol oynamıştır. Gelişmiş genomik araçlarla entegrasyonunun devam etmesi, artan çevresel ve pazar zorlukları karşısında ıslah verimliliğini ve kültür çeşidi geliştirmeyi daha da artıracaktır.

5. Arpa Yetiştiriciliğinde QTL Analizi ve Genom Çapında Seçim Yaklaşımları

Kantitatif karakter lokusu (QTL) analizi ve genom çapında seleksiyon yaklaşımları, arpa türündeki karmaşık özelliklerin genetik yapısını incelemek için vazgeçilmez araçlar haline gelmiştir. Tane verimi, stres toleransı ve kalite özellikleri dahil olmak üzere tarımsal açıdan önemli birçok özellik, nicel olarak kalıtsal olup, küçük ila orta derecede etkiye sahip çoklu lokuslar tarafından kontrol edilmektedir. Bu tür özellikler için geleneksel fenotipik seleksiyon, genellikle güçlü çevresel etkiler tarafından engellenmektedir, bu da moleküler yaklaşımları özellikle değerli kılmaktadır (Collard & Mackill, 2008).

Bağlantı tabanlı QTL haritalama, arpada önemli tarımsal özelliklerle ilişkili genomik bölgeleri tanımlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Erken QTL çalışmaları, verim bileşenlerinin, hastalık direncinin ve abiyotik stres tepkilerinin genetik kontrolü hakkında temel bilgiler sağlayarak, marker destekli seleksiyon stratejilerinin geliştirilmesini kolaylaştırmıştır (Pauli ve ark., 2014). Bununla birlikte, iki ebeveynli popülasyonlarda QTL haritalamanın çözünürlüğü, rekombinasyon olaylarının sayısı ve haritalama popülasyonunda yakalanan allel çeşitliliği ile doğal olarak sınırlıdır.

Genom çapında ilişki çalışmaları (GWAS), çeşitli germplazm panellerinde bulunan tarihsel rekombinasyonları kullanarak bu sınırlamaların çoğunu aşmaktadır. GWAS, arpada kuraklık ve ısı toleransı, tuzluluk direnci ve hastalık direnci için marker-özellik ilişkilerini belirlemek

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

için başarıyla uygulanmış ve daha yüksek haritalama çözünürlüğü ve daha geniş allel temsili ile lokusların tespitini mümkün kılmıştır (Devate ve ark., 2022; Xu ve ark., 2023). Yüksek yoğunluklu SNP veri setlerinin ve iyi açıklanmış referans genomların mevcudiyeti, GWAS sonuçlarının güvenilirliğini ve yorumlanabilirliğini daha da artırmıştır (Mascher ve ark., 2017).

Özelliklerle ilişkili lokusları tanımlamada etkili olmalarına rağmen hem QTL haritalama hem de GWAS öncelikle lokus odaklı yaklaşımlardır ve tane verimi gibi yüksek poligenik özelliklerin altında yatan çok sayıda küçük etkili lokusun kümülatif etkilerini yakalayamayabilirler. Bu sınırlamayı gidermek için, genomik seleksiyon (GS), bireysel QTL'leri tanımlamaya gerek kalmadan üreme değerlerini tahmin etmek için genom çapında marker bilgilerini kullanan güçlü bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır (Thorwarth ve ark., 2017). GS modelleri hem kışlık hem de baharlık arpa ıslah programlarında verimle ilişkili özellikler için yüksek tahmin yeteneği göstermiş ve daha erken ve daha doğru seleksiyon kararları alınmasını sağlamıştır.

QTL haritalama, GWAS ve genomik seleksiyonun entegrasyonu, arpada moleküler ıslah için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. QTL ve GWAS sonuçları, bilgilendirici markörlerin ve aday genlerin seçimine bilgi sağlarken, GS genom çapında bilgileri kullanarak ıslah döngüleri boyunca genetik kazancı hızlandırmaktadır. Ayrıca, genomik tahminin arpa gen bankası koleksiyonlarına uygulanması, genetik kaynakların verimli kullanımını kolaylaştırarak, korunmuş çeşitlilik ile uygulamalı ıslah arasındaki boşluğu doldurmuştur (Jiang ve ark., 2021).

6. Arpa Yetiştiriciliğinde Yeni Nesil Moleküler Yaklaşımlar

Sekanslama teknolojileri ve sistem biyolojisindeki son gelişmeler, arpa ıslahının kapsamını geleneksel belirteç tabanlı yöntemlerin ötesine önemli ölçüde genişleten yeni nesil moleküler yaklaşımları ortaya çıkarmıştır. Yüksek verimli sekanslama, çoklu omik analizler ve genom düzenleme teknolojileri, gen fonksiyonları, düzenleyici ağlar ve genotip-fenotip ilişkilerinin daha derinlemesine anlaşılmasını sağlayarak, iyileştirilmiş arpa çeşitlerinin geliştirilmesini hızlandırmaktadır.

Yeni nesil sekanslama (NGS) teknolojileri, hızlı tüm genom yeniden sekanslama, transkriptom profilleme ve yüksek çözünürlüklü varyant keşfi sağlayarak arpa genomiklerinde devrim yaratmıştır. Bu yaklaşımlar, özellikle yüksek kaliteli referans genomlarla entegre edildiğinde, karmaşık agronomik özelliklerin altında yatan tek nükleotid polimorfizmlerinin (SNP'ler), yapısal varyantların ve aday genlerin tanımlanmasını kolaylaştırmıştır (Mascher ve ark., 2017; Jayakodi ve ark., 2020). RNA dizileme (RNA-seq), biyotik ve abiyotik stres koşulları altında gen ekspresyon dinamiklerinin karakterizasyonuna daha da katkıda bulunarak, stresle yanıt veren yolakların ve ıslahla ilgili düzenleyici genlerin keşfini desteklemiştir (Luan ve ark., 2022).

Genomik ötesinde, transkriptomik, proteomik ve metabolomik, arpadaki özelliklerin fonksiyonel karakterizasyonu için güçlü araçlar olarak ortaya çıkmıştır. Bütünleştirici omik yaklaşımlar, stres toleransı, verim bileşenleri ve tane kalitesi özellikleri ile ilişkili moleküler imzaların tanımlanmasını sağlar. Örneğin, GWAS ve transkriptomik analizlerin birleştirilmesi, kuraklık ve tuzluluk toleransında rol oynayan aday genlerin önceliklendirilmesinde etkili olduğu kanıtlanmış ve böylece marker-özellik ilişkilerinin biyolojik yorumlanması güçlendirilmiştir (Devate ve ark., 2022; Xu ve ark., 2023).

Genom düzenleme teknolojileri, özellikle CRISPR/Cas sistemine dayalı olanlar, arpa ıslahında dönüştürücü bir yenilik temsil etmektedir. CRISPR/Cas9 platformları arpada başarıyla kurulmuş ve agronomik ve gelişimsel özellikleri kontrol eden hedef genlerin hassas ve kalıtsal

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

modifikasyonlarını mümkün kılmıştır (Gasparis ve ark., 2018). Transgenik yaklaşımların aksine, genom düzenleme, endojen genlerin hedefli olarak değiştirilmesine olanak tanır, bu da aday genlerin fonksiyonel doğrulamasını hızlandırabilir ve minimum bağlantı sürüklemesi ile iyileştirilmiş genotiplerin geliştirilmesini kolaylaştırabilir.

Genom düzenleme ile desteklenen fonksiyonel genomik yaklaşımlar, arpadaki başak yapısı, tane gelişimi ve strese adaptasyonun genetik kontrolü hakkında yeni bilgiler sağlamıştır. Hedeflenen mutagenez ve allel modifikasyonu, özellik ifadesinin ince ayarının yapılabilirliğini göstermiş ve böylece geleneksel ıslah ve genomik seleksiyon stratejilerini tamamlamıştır (Karunarathne ve ark., 2022). Bununla birlikte, genom düzenlemesinin ıslah programlarına başarılı bir şekilde entegre edilmesi, düzenleyici çerçevelerin, özelliklerin karmaşıklığının ve kamuoyunun kabulünün dikkatlice değerlendirilmesini gerektirir.

Genel olarak, yeni nesil moleküler yaklaşımlar, genetik varyasyonun yüksek çözünürlüklü analizini ve anahtar genlerin doğrudan manipülasyonunu mümkün kılarak ıslahçıların araç setini genişletmiştir. MAS, GWAS ve genomik seleksiyon gibi yerleşik moleküler ıslah stratejileriyle entegre edildiğinde, bu teknolojiler genetik kazancı hızlandırmak ve gelecekteki tarımsal zorluklara uyum sağlayan arpa çeşitleri geliştirmek için benzeri görülmemiş fırsatlar sunmaktadır.

7. Moleküler Yaklaşımların Arpa Islah Programlarına Entegrasyonu

Moleküler yaklaşımların arpa ıslah programlarına etkili bir şekilde entegrasyonu, geleneksel fenotipik seçimi genom bilgisine dayalı karar verme ile tamamlayarak seçim stratejilerini temelden yeniden şekillendirmiştir. Klasik ıslahın yerini almak yerine, moleküler araçlar, seçim doğruluğunu artıran, ıslah döngülerini hızlandıran ve çeşit geliştirmenin farklı aşamalarında genetik kaynakların verimli kullanımını iyileştiren destekleyici teknolojiler olarak dahil edilmiştir (Collard & Mackill, 2008).

Pratik ıslah süreçlerinde, moleküler belirteçler en çok erken nesillerde entegre edilerek, düşük kaliteli genotipleri ortadan kaldırmak ve ıslah popülasyonlarını uygun alleller ile zenginleştirmek için kullanılmaktadır. Marker destekli seleksiyon (MAS), sıkı bağlantılı markerlerin, bağlantı sürüklemesini en aza indirirken, önemli direnç genlerini veya kaliteyle ilgili lokusları seçkin arka planlara introgres etmek için kullanıldığı geri melezleme şemalarında özellikle etkilidir (Tacconi ve ark., 2006). Moleküler araçların bu hedefli kullanımı, saha değerlendirme maliyetlerini azaltır ve sonraki aşamada farklı lokasyon denemelerinde başarı olasılığını artırır.

Genom çapında yaklaşımlar, bütünsel seleksiyon stratejilerini mümkün kılarak moleküler ıslahın entegrasyonunu daha da güçlendirmiştir. Islah değerlerini tahmin etmek için genom çapında marker profillerine dayanan genomik seleksiyon (GS), tane verimi ve strese adaptasyon gibi karmaşık özelliklerin seleksiyonunu iyileştirmek için arpa ıslah programlarına başarıyla dahil edilmiştir (Thorwarth ve ark., 2017). GS, fenotipik veriler tam olarak elde edilmeden önce seçim kararlarının alınmasına olanak tanıyarak ıslah döngülerini kısaltır ve yıllık genetik kazancı artırır.

Moleküler yaklaşımların entegrasyonu, gen bankalarında korunan arpa genetik kaynaklarının kullanımını da artırmıştır. Genom çapında genotipleme ve tahmin yöntemleri, hedef özelliklerin iyileştirilmesi için umut vaat eden erişimleri ve ıslah öncesi materyalleri belirlemek üzere büyük germplazm koleksiyonlarına uygulanmıştır (Jiang ve ark., 2021). Bu strateji, korunan genetik çeşitlilik ile uygulamalı ıslah arasındaki boşluğu doldurarak, yerel türlerden ve yabani akrabalardan gelen yeni allellerin seçkin ıslah havuzlarına introgresyonunu kolaylaştırmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Yüksek verimli fenotipleme alanındaki gelişmeler, moleküler ve fenotipik verilerin entegrasyonunu daha da güçlendirmiştir. Hassas fenotipleme ile genomik bilginin birleştirilmesi, özellikle değişken çevre koşullarında, belirteç-özellik ilişkilendirmelerinin ve genomik tahmin modellerinin güvenilirliğini artırmaktadır. Bu tür entegre ıslah çerçeveleri, genotip-çevre etkileşimlerini ele almak ve çeşitli agroekolojik bölgelerde arpa performansının istikrarını artırmak için giderek daha önemli hale gelmektedir (Devate ve ark., 2022).

Genel olarak, moleküler yaklaşımların arpa ıslah programlarına entegrasyonu, veriye dayalı seleksiyona doğru sistem düzeyinde bir geçişi temsil etmektedir. MAS, QTL analizi, GWAS, genomik seleksiyon ve yeni ortaya çıkan genom düzenleme teknolojilerini birleşik ıslah süreçlerinde birleştirerek, ıslahçılar iklim değişikliği, gelişen patojenler ve pazar odaklı kalite taleplerinin yarattığı zorluklara daha etkili bir şekilde yanıt verebilirler.

8. Gelecek Perspektifleri ve Sonuçlar

Moleküler ve genomik teknolojilerin hızlı ilerlemesi, arpa ıslahını temelden değiştirerek, bu disiplini fenotip odaklı seleksiyondan yoğun veri, genom bilgisine dayalı stratejilere kaydırmıştır. Moleküler belirteçler, kantitatif özellik lokusu (QTL) analizi, genom çapında ilişki çalışmaları (GWAS), genomik seleksiyon (GS) ve genom düzenlemesinin entegrasyonu, seleksiyon verimliliğini önemli ölçüde artırmış ve ıslah döngüleri boyunca genetik kazancı hızlandırmıştır (Collard & Mackill, 2008; Thorwarth ve ark., 2017).

Gelecekte, yüksek çözünürlüklü pan-genomlar ve kapsamlı yapısal varyant katalogları dahil olmak üzere genomik kaynakların sürekli iyileştirilmesinin, arpada uygun allellerin tanımlanmasını ve kullanılmasını daha da geliştirmesi beklenmektedir. Bu tür kaynaklar, yerel türlerden ve yabani akrabalardan gizli genetik varyasyonları yakalamada kritik bir rol oynayacak ve böylece iklim direnci ve verim istikrarını amaçlayan ıslah çabalarını güçlendirecektir (Jayakodi ve ark., 2020, 2024). Buna paralel olarak, genotipleme maliyetlerinin düşmesi ve biyoinformatik süreçlerin iyileştirilmesi, hem kamu hem de özel ıslah programlarında genom çapında yaklaşımların rutin olarak uygulanmasını kolaylaştıracaktır.

Gelecekteki arpa ıslah stratejileri, genomik ile yüksek verimli fenotipleme, çevresel veriler ve tahmine dayalı modellemeyi birleştiren bütünleştirici çerçevelere giderek daha fazla dayanacaktır. Bu yaklaşımlar, genotip-çevre etkileşimlerinin daha doğru bir şekilde karakterize edilmesini sağlayacak ve değişken ve aşırı iklim koşulları altında çeşitlerin performansının istikrarını artıracaktır (Devate ve ark., 2022). Bu bağlamda, genomik seçimin, özellikle birçok küçük etkili lokus tarafından yönetilen tahıl verimi ve stres toleransı gibi karmaşık özellikler için ıslah süreçlerinin merkezi bir bileşeni olmaya devam etmesi beklenmektedir (Thorwarth ve ark., 2017).

Genom düzenleme teknolojileri, özellikle CRISPR/Cas tabanlı sistemler, arpada hassas ve hızlı genetik iyileştirme için umut verici bir alan oluşturmaktadır. Fonksiyonel genomik, önemli tarımsal özelliklerin altında yatan gen ağlarını aydınlatmaya devam ederken, genom düzenleme, kapsamlı geri melezleme yapmadan seçkin çeşitleri doğrudan değiştirme potansiyeli sunarak, geleneksel ve belirteç tabanlı ıslah yaklaşımlarını tamamlamaktadır (Gasparis ve ark., 2018). Ancak, bu teknolojilerin başarılı bir şekilde uygulanması, düzenleyici çerçevelere, toplumsal kabul görmesine ve karmaşık özellikler için sağlam protokollerin geliştirilmesine bağlı olacaktır.

Sonuç olarak, moleküler yaklaşımlar modern arpa ıslahında vazgeçilmez araçlar haline gelmiş ve değişen çevre koşulları altında genetik çeşitliliğin daha verimli bir şekilde kullanılmasına ve daha hassas bir seçime olanak sağlamıştır. Genomik kaynakların, moleküler ıslah stratejilerinin

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ve ortaya çıkan biyoteknolojik yeniliklerin sinerjik entegrasyonu, gıda güvenliği, sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği ile ilgili gelecekteki zorlukların üstesinden gelmek için çok önemli olacaktır. Disiplinler arası araştırma ve ıslah altyapısına sürekli yatırım yapmak, arpa ıslahında moleküler ıslahın potansiyelini tam olarak gerçekleştirmek için kritik öneme sahip olacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

Beier, S., Himmelbach, A., Colmsee, C., Zhang, X. Q., Barrero, R. A., Zhang, Q., ... & Mascher, M. (2017). Construction of a map-based reference genome sequence for barley, Hordeum vulgare L. *Scientific data*, *4*(1), 1-24.

Collard, B. C., & Mackill, D. J. (2008). Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *363*(1491), 557-572.

Devate, N. B., Krishna, H., Parmeshwarappa, S. K. V., Manjunath, K. K., Chauhan, D., Singh, S., ... & Singh, P. K. (2022). Genome-wide association mapping for component traits of drought and heat tolerance in wheat. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 943033.

Gasparis, S., Kała, M., Przyborowski, M., Łyżnik, L. A., Orczyk, W., & Nadolska-Orczyk, A. (2018). A simple and efficient CRISPR/Cas9 platform for induction of single and multiple, heritable mutations in barley (Hordeum vulgare L.). *Plant methods*, *14*(1), 111.

Gianinetti, A., Ghizzoni, R., Desiderio, F., Morcia, C., Terzi, V., & Baronchelli, M. (2024). QTL analysis of β-glucan content and other grain traits in a recombinant population of spring barley. *International Journal of Molecular Sciences*, *25*(12), 6296.

Jayakodi, M., Lu, Q., Pidon, H., Rabanus-Wallace, M. T., Bayer, M., Lux, T., ... & Stein, N. (2024). Structural variation in the pangenome of wild and domesticated barley. *Nature*, *636*(8043), 654-662.

Jayakodi, M., Padmarasu, S., Haberer, G., Bonthala, V. S., Gundlach, H., Monat, C., ... & Stein, N. (2020). The barley pan-genome reveals the hidden legacy of mutation breeding. *Nature*, *588*(7837), 284-289.

Jiang, Y., Weise, S., Graner, A., & Reif, J. C. (2021). Using genome-wide predictions to assess the phenotypic variation of a barley (Hordeum sp.) gene bank collection for important agronomic traits and passport information. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 604781.

Karunarathne, S. D., Han, Y., Zhang, X. Q., & Li, C. (2022). CRISPR/Cas9 gene editing and natural variation analysis demonstrate the potential for HvARE1 in improvement of nitrogen use efficiency in barley. *Journal of integrative plant biology*, *64*(3), 756-770.

Luan, H., Chen, C., Yang, J., Qiao, H., Li, H., Li, S., ... & Wang, J. (2022). Genome-wide association scan and transcriptome analysis reveal candidate genes for waterlogging tolerance in cultivated barley. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1048939.

Mascher, M., Gundlach, H., Himmelbach, A., Beier, S., Twardziok, S. O., Wicker, T., ... & Stein, N. (2017). A chromosome conformation capture ordered sequence of the barley genome. *Nature*, *544*(7651), 427-433.

Pauli, D., Muehlbauer, G. J., Smith, K. P., Cooper, B., Hole, D., Obert, D. E., ... & Blake, T. K. (2014). Association mapping of agronomic QTLs in US spring barley breeding germplasm. *The Plant Genome*, *7*(3), plantgenome2013-11.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Tacconi, G., Baldassarre, V., Collins, N. C., Bulgarelli, D., Stanca, A. M., & Vale, G. (2006). Haplotype characterization and markers at the barley Mlo powdery mildew resistance locus as tools for marker-assisted selection. *Genome*, *49*(8), 864-872.

Tamang, P., Richards, J. K., Alhashal, A., Sharma Poudel, R., Horsley, R. D., Friesen, T. L., & Brueggeman, R. S. (2019). Mapping of barley susceptibility/resistance QTL against spot form net blotch caused by Pyrenophora teres f. maculata using RIL populations. *Theoretical and Applied Genetics*, *132*(7), 1953-1963.

Thorwarth, P., Ahlemeyer, J., Bochard, A. M., Krumnacker, K., Blümel, H., Laubach, E., ... & Schmid, K. J. (2017). Genomic prediction ability for yield-related traits in German winter barley elite material. *Theoretical and Applied Genetics*, *130*(8), 1669-1683.

Wenzl, P., Carling, J., Kudrna, D., Jaccoud, D., Huttner, E., Kleinhofs, A., & Kilian, A. (2004). Diversity Arrays Technology (DArT) for whole-genome profiling of barley. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *101*(26), 9915-9920.

Wenzl, P., Li, H., Carling, J., Zhou, M., Raman, H., Paul, E., ... & Kilian, A. (2006). A high-density consensus map of barley linking DArT markers to SSR, RFLP and STS loci and agricultural traits. *Bmc Genomics*, *7*(1), 206.

Williams, K. J., Lichon, A., Gianquitto, P., Kretschmer, J. M., Karakousis, A., Manning, S., ... & Wallwork, H. (1999). Identification and mapping of a gene conferring resistance to the spot form of net blotch (Pyrenophora teres f maculata) in barley. *Theoretical and Applied Genetics*, *99*(1), 323-327.

Xu, T., Meng, S., Zhu, X., Di, J., Zhu, Y., Yang, X., & Yan, W. (2023). Integrated GWAS and transcriptomic analysis reveal the candidate salt-responding genes regulating Na+/K+ balance in barley (Hordeum vulgare L.). *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1004477.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

MODÜLER, HAFİF VE ÇOK AMAÇLI KİŞİSEL SİLAH SİSTEMİNİN TASARIMI VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Mustafa ÖZKAN
Orsav Ordu Savunma Sanayi Yatırımları A.Ş.,
arge.ulubey@orsav.com.tr, 0009-0002-0916-3917

Doç. Dr. Ahmet FEYZİOĞLU
Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye,
ahmet.feyzioglu@marmara.edu.tr, 0000-0003-0296-106X

ÖZET

Bu çalışma; STINGER 9 modelinin modüler tasarım yaklaşımı, ergonomik özellikleri ve çok amaçlı kullanım kabiliyeti çerçevesinde geliştirilmiş bir kişisel silah sistemi olarak değerlendirilmesini konu almaktadır. STINGER 9, yarı otomatik ve otomatik atış modlarını destekleyen, hafif yapısı ve kompakt boyutları sayesinde hem bireysel hem de profesyonel kullanım senaryolarına uygun olarak tasarlanmıştır. Silahın tasarımında taşınabilirlik, denge ve kullanıcı ergonomisi ön planda tutulmuştur. Katlanabilir teleskopik dipçik opsiyonu sayesinde omuzdan destekli kullanım mümkün olmakta; dipçiksiz veya katlanmış konfigürasyonda ise dar alanlarda ve hızlı manevra gerektiren ortamlarda etkinlik sağlanmaktadır. Omuz destekli kullanımda 300 metreye kadar etkili menzil sunulurken, kompakt konfigürasyonda kısa mesafeli kontrollü kullanım hedeflenmiştir. Bu özellikler, STINGER 9'un farklı operasyonel ihtiyaçlara uyarlanabilirliğini artırmaktadır.

Ar-Ge sürecinde silahın denge merkezi, geri tepme kontrolü ve doğruluk performansı detaylı olarak ele alınmıştır. Dengeli ağırlık dağılımı sayesinde ateşleme sırasında savurma ve kontrol kaybı minimize edilerek hızlı ve isabetli nişan alma sağlanmıştır. Çift elle kullanılabilen güvenlik ve mod kolları, kullanıcı dostu bir arayüz sunmakta; ayarlanabilir ve çift taraflı kurma kolu gibi modüler bileşenler bireysel tercihlere göre yapılandırmaya olanak tanımaktadır. STINGER 9, farklı kapasitelerde polimer şarjörlerle uyumlu olacak şekilde tasarlanmış olup, son fişek atıldığında sürgünün açık kalması sayesinde kullanıcıya görsel durum farkındalığı sağlamaktadır. Aletsiz söküm ve kolay bakım imkanı, sistemin saha koşullarında sürdürülebilirliğini artıran önemli bir tasarım avantajıdır. Ayrıca aksesuar rayları sayesinde optik nişangahlar, aydınlatma sistemleri ve diğer yardımcı ekipmanlar entegre edilebilmektedir.

Sonuç olarak STINGER 9 (8 inç); modüler yapısı, ergonomik tasarımı ve yüksek doğruluk performansıyla modern kişisel silah sistemlerine yönelik çok yönlü ve kullanıcı odaklı bir çözüm sunmaktadır. Geliştirilen tasarım, farklı kullanım senaryolarına uyum sağlayabilen, bakım kolaylığı ve aksesuar entegrasyonu ile öne çıkan yenilikçi bir mühendislik yaklaşımını yansıtmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Modüler Silah Tasarımı, Hafif Kişisel Silah, Ergonomik Tasarım, Çok Amaçlı Sistem.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

DESIGN AND PERFORMANCE EVALUATION OF A MODULAR, LIGHTWEIGHT, AND MULTI-PURPOSE PERSONAL WEAPON SYSTEM

Mustafa ÖZKAN

Orsav Ordu Defense Industry Investments Inc.,
arge.ulubey@orsav.com.tr, 0009-0002-0916-3917

Assoc. Prof. Dr. Ahmet FEYZİOĞLU

Marmara University, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering,
Istanbul, Türkiye, ahmet.feyzioglu@marmara.edu.tr, 0000-0003-0296-106X

ABSTRACT

This study focuses on the evaluation of the STINGER 9 model as a personal weapon system developed within the framework of a modular design approach, ergonomic features, and multi-purpose usability. STINGER 9 supports semi-automatic and automatic firing modes and is designed to be suitable for both individual and professional usage scenarios due to its lightweight structure and compact dimensions. In the design process, portability, balance, and user ergonomics were prioritized. The optional foldable telescopic stock enables shoulder-supported operation, while effective use in confined spaces and rapid maneuvering scenarios is achieved in stockless or folded configurations. An effective range of up to 300 meters is provided in shoulder-supported use, whereas controlled short-range operation is targeted in compact configurations. These characteristics enhance the adaptability of the STINGER 9 to diverse operational requirements.

During the R&D process, the weapon's center of balance, recoil control, and accuracy performance were examined in detail. Balanced weight distribution minimizes muzzle rise and control loss during firing, enabling rapid and accurate target acquisition. Ambidextrous safety and fire selector controls offer a user-friendly interface, while modular components such as an adjustable and reversible charging handle allow configuration according to individual preferences. The STINGER 9 is designed to be compatible with polymer magazines of varying capacities, and the bolt remains open after the last round, providing visual feedback to the user regarding ammunition status. Tool-less disassembly and ease of maintenance represent significant design advantages that enhance operational sustainability under field conditions. In addition, accessory rails enable the integration of optical sights, illumination systems, and other auxiliary equipment.

In conclusion, the STINGER 9 (8-inch) offers a versatile and user-oriented solution for modern personal weapon systems through its modular structure, ergonomic design, and high accuracy performance. The developed design reflects an innovative engineering approach distinguished by adaptability to different usage scenarios, ease of maintenance, and effective accessory integration.

Keywords: Modular Weapon Design, Lightweight Personal Weapon, Ergonomic Design, Multi-Purpose System

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ULAŞTIRMA ALTYAPI ELEMANLARINDA KOMPOZİT MALZEMELERİN KULLANIMI: MEKANİK DAYANIM VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK AÇISINDAN BİR İNCELEME

Öğr. Gör. Dr. Mehmet Özer
Balıkesir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ozer@balikesir.edu.tr,
ORCID: 0000-0002-6212-1217.

ÖZET

Ulaştırma altyapı sistemleri, artan trafik yoğunluğu ve çevresel etkiler nedeniyle yüksek mekanik dayanım, uzun servis ömrü ve sürdürülebilirlik gereksinimleriyle karşı karşıyadır. Geleneksel olarak çelik ve beton esaslı malzemelerin kullanıldığı bu sistemlerde, fiber takviyeli kompozit malzemeler son yıllarda alternatif bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, ulaştırma altyapı elemanlarında kompozit malzemelerin kullanımı literatür tabanlı olarak incelenmiş; mekanik performans, enerji sönümleme kapasitesi, dayanıklılık ve sürdürülebilirlik kriterleri açısından değerlendirilmiştir. Literatür bulguları, kompozit malzemelerin trafik güvenliğini artırma ve yaşam döngüsü maliyetlerini azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ulaştırma altyapısı, trafik güvenliği, kompozit malzemeler, enerji sönümleme, sürdürülebilirlik

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

USE OF COMPOSITE MATERIALS IN TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE ELEMENTS: A REVIEW IN TERMS OF MECHANICAL PERFORMANCE AND SUSTAINABILITY

Öğr. Gör. Dr. Mehmet Özer

Balıkesir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ozer@balikesir.edu.tr,

ORCID: 0000-0002-6212-1217.

Abstract

Transportation infrastructure systems are exposed to increasing traffic loads and environmental effects, requiring high mechanical performance, long service life, and sustainability. While steel and concrete have traditionally been used, fiber-reinforced composite materials have emerged as an alternative solution in recent years. This study reviews the use of composite materials in transportation infrastructure elements based on existing literature and evaluates them in terms of mechanical performance, energy absorption capability, durability, and sustainability. The reviewed studies indicate that composite materials offer significant potential for enhancing traffic safety and reducing life-cycle costs.

Keywords: Transportation infrastructure, traffic safety, composite materials, energy absorption, sustainability

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

DENİZEL ULAŞTIRMA ALANINDA FAALİYET GÖSTEREN TAŞITLARDA KULLANILAN KOMPOZİT MALZEME ÇEŞİTLERİ VE HASARLARININ TAMİRİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Öğr. Gör. Dr. Mehmet Özer
Balıkesir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ozer@balikesir.edu.tr,
ORCID: 0000-0002-6212-1217.

ÖZET

Bu çalışmada, denizel ulaştırma araçlarının başta gövdeleri olmak üzere muhtelif kısımlarının imalatında kullanılan kompozit malzemelerin çeşitleri ve üretim yöntemleri literatür temelli anlatılmıştır. Ayrıca bazı denizcilik uygulamalarında yer bulan sandviç kompozit panellerde oluşan hasar tipleri ve bu hasarların onurum prosedürleri kısaca açıklanmıştır. Evvela bu malzemelerde oluşan hasar tipleri ve tespitleri gerçekleştirerek hasarların sınıflandırılması sağlanmıştır. Ardından oluşan bu hasarların tamir yöntemleri de sınıflandırılarak ilgili hasarın nasıl onarılabileceği izah edilmiştir. Denizel ulaştırma taşıtları için geliştirilen mukavemet esaslı hasar tamir yöntemleri hem panel boyutunda hem de gemi seviyesi için aşamaları ile detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit malzemeler, hasar, onarım yöntemleri

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

A STUDY ON THE TYPES OF COMPOSITE MATERIALS USED IN VEHICLES OPERATING IN MARINE TRANSPORTATION AND THE REPAIR OF THEIR DAMAGES

Öğr. Gör. Dr. Mehmet Özer
Balıkesir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ozer@balikesir.edu.tr,
ORCID: 0000-0002-6212-1217.

ABSTRACT

This study describes, based on literature, the types and production methods of composite materials used in the manufacture of various parts of marine vessels, primarily their hulls. Furthermore, the types of damage occurring in sandwich composite panels used in some marine applications and the repair procedures for these damages are briefly explained. First, the types and detection of damages in these materials are identified and classified. Then, the repair methods for these damages are also classified, and how the relevant damage can be repaired is explained. Strength-based damage repair methods developed for marine vessels are described in detail, step-by-step, for both panel-level and ship-level applications.

Keywords: Composite materials, damage, repair methods.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

POLİETİLEN KAPLI ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAKLI BORU SIYIRMA İÇİN MEKANİK BİR SİSTEM GELİŞTİRİLMESİ

Burak TEMUÇİN
Tosçelik Profil ve Sac End. A.Ş.
burak.temucin@toscelik.com.tr - 0009-0009-6910-0855

Ali O. AYDINNARI
Tosçelik Profil ve Sac End. A.Ş.
aliosman.aydinnari@toscelik.com.tr - 0009-0000-8231-3817

Koray GENÇOĞLAN
Tosçelik Profil ve Sac End. A.Ş.
koray.gencoglan@toscelik.com.tr - 0000-0003-3749-6428

ÖZET

Polietilen kaplı Elektrik Direnç Kaynaklı (ERW) borular, endüstriyel ve altyapı projelerinde güvenli, dayanıklı ve uzun ömürlü bir çözüm sunarak endüstride kullanım ihtiyacı günden güne artmaktadır. Polietilen kaplı ERW borular, kimyasal dirence, dış darbelere ve sismik hareketlere karşı yüksek mukavemet ve uzun kullanım ömrü sunmaktadır. Bu borular, çeşitli ebatlarda ve belirli standartlara uygun olarak üretilmektedir. Ancak üretim sürecinde ortaya çıkan hatalı Polietilen kaplı ERW borular ekonomik kayıplara ve enerji israfına sebep olmaktadır. Bu çalışmada, hatalı polietilen kaplı ERW boruların geri dönüşümü için mevcut indüksiyon tabanlı sıyırma yönteminin yerine yeni bir mekanik fırça ile sıyırma sistemi geliştirilmiştir. Çevrimdışı (üretim hattından bağımsız) çalışan bu sistem neticesinde, indüksiyon ısıtma yerine mekanik fırça mekanizması kullanarak tasarlanan mekanik sıyırma sistemi üretim verimliliğinin artması, enerji tasarrufu sağlanması, sıyrılan polietilen tozlarının geri dönüştürülmesi ve ergonomik olmayan çalışma güvenliği sağlanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik direnç kaynaklı boru, Polietilen kaplama, Sıyırma sistemi, Enerji tasarrufu, Üretim verimliliği.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Polietilen kaplı ERW çelik borular, özellikle yeraltı ve endüstriyel boru hattı uygulamalarında korozyon direnci, mekanik dayanım ve uzun hizmet ömrü sağlamak amacıyla geliştirilen ileri kaplama teknoloji yöntemleri kullanılarak üretilen ürünlerdir. ERW yöntemiyle üretilen çelik borular, homojen dikiş yapısı, yüksek üretim hızı ve maliyet avantajı sayesinde geniş kullanım alanı bulurken; dış yüzeye uygulanan polietilen kaplama, boruları nem, kimyasal etkileşim, aşındırıcı toprak koşulları ve mekanik darbelere karşı etkin biçimde korumaktır. Polietilen malzemenin esnekliği, düşük su geçirgenliği ve yüksek kimyasal dayanımı, boru hattının bütünsel performansını artırarak bakım maliyetlerini azaltmıştır ve hat güvenilirliğini yükseltmiştir. Bu nedenle içme suyu, doğal gaz dağıtım sistemleri, petrol ve petrokimya hatları ile altyapı projelerinde polietilen kaplı ERW borular yaygın olarak tercih edilen bir çözüm haline gelmiştir.

Polietilen kaplı borularda kaplama sökümü, saha onarımlarının en kritik aşamalarından biridir. Mendes ve Figueiredo, mekanik, termal ve kimyasal sökme yöntemlerini karşılaştırmış ve mekanik yöntemin çevresel güvenlik ve uygulanabilirlik açısından diğerlerine üstün olduğunu göstermiştir. Çalışma, özellikle yüksek güvenlik gerektiren doğal gaz hatlarında mekanik sıyırmanın tercih edilmesi gerektiğini vurgulanmıştır [1].

Vandamme ve Baets, polietilen kaplı çelik borular için geliştirilen mekanik sıyırma makinelerinin sahadaki verimliliğini incelemiştir. Araştırmada mekanik sıyırma sistemlerinin manuel yöntemlere göre %40'a kadar zaman tasarrufu sağladığı ve iş güvenliğini belirgin şekilde artırdığı gösterilmiştir [2].

Bari ve Khan, üç katmanlı polietilen (3LPE) kaplamalarda epoksi-primer yapışmasının yüzey hazırlığına bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini ortaya konulmuştur. Çalışma, yüzey pürüzlülüğündeki küçük değişimlerin bile kaplamanın sökülme davranışını etkilediğini gösterilmiştir. Bu nedenle mekanik sıyırma sistemlerinde kesme derinliği ve uygulama kuvveti gibi parametrelerin hassas şekilde kontrol edilmesi gerektiği vurgulanmıştır [3].

Sridhar ve Nugent, pipeline rehabilitasyon süreçlerinde kullanılan kaplama kaldırma teknolojilerini inceleyerek mekanik yöntemlerin kimyasal ve termal yöntemlere göre daha güvenli ve ekonomik olduğunu göstermiştir. Çalışmada, mekanik sistemlerin özellikle mobil saha operasyonlarında daha tutarlı sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Bu analiz, yeni sistem geliştirme projelerinde mekanizmanın tasarım önceliklerini belirlemek açısından önemlidir [4].

Beavers ve Thompson, dış kaplama hasarlarının korozyon hızını uzun vadede artırarak boru bütünlüğünü ciddi şekilde tehdit ettiğini belirtmektedir. Kaplamanın doğru şekilde kaldırılmaması, çelik yüzeyde nem ve anot-katot bölgelerinin oluşmasına neden olabilir. Bu nedenle güvenilir bir mekanik sıyırma sistemi, boru bütünlüğünün korunması açısından kritik bir mühendislik ihtiyacıdır [5].

Bu çalışmada polietilen kaplı ERW borularda hatalı ürün üretildiğinde hem çelik hem polietilen kaplamada geri kazanım sağlamak amaçlanmıştır. Bunu yaparken mevcut kullanılan hattan bağımsız ayrı bir üretim hattı üzerinde üretim kaybını önleyerek uygulama çalışması yapılması planlanmıştır. Literatürlerde farklı metotlar araştırılarak tesis üretim alt yapısı ve üretim hattı, enerji tüketimleri incelenerek tasarım yapılmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2. METODOLOJİ/VAKA ÇALIŞMASI

Polietilen (PE) kaplamalı ERW borular için mekanik sıyırma sisteminin geliştirilmesi, mekanik tasarım prensipleri, malzeme bilimi ve proses optimizasyonunu birleştiren entegre bir mühendislik metodolojileri takip edilmiştir. Genel yaklaşım, sistemin çelik alt tabakanın yapısal ve yüzey bütünlüğünü korurken yüksek sıyırma verimliliği sunmasını sağlayacak şekilde yapılandırılmıştır.
Mekanik fırça tabanlı bir sıyırma mekanizması seçilmiş ve geliştirilmiştir. Sistem, ana üretim hattından bağımsız olarak çalışan ve böylece proses kesintilerini önleyen çevrimdışı bir ünite olarak tasarlanmıştır. Tüm kurulum, giriş ve çıkış konveyör düzenekleri, üst ve alt basınç silindirleri, döner fırça modülleri ve bir toz toplama ve geri kazanım odasından oluşmaktadır. PE kaplı borular konveyöre yüklenir ve burada kontrollü bir besleme mekanizmasıyla sıyırma bölümüne yönlendirilmektedir.

2.1. İndüksiyon Isıtma Tabanlı Soyma Metodu

ERW borularda PE kaplamanın çıkarılması için kullanılan geleneksel işlemde, sıyırma işlemi lokal indüksiyon ısıtması ile gerçekleştirilir. Bu yöntem, çelik alt tabaka içinde girdap akımları oluşturmak için elektromanyetik indüksiyona dayanır ve metal yüzey sıcaklığını hızla yaklaşık 220-250 °C'ye çıkarır. Çelik termal olarak genleştikçe, çelik ve polietilen tabaka arasındaki diferansiyel genleşme, arayüz yapışmasını zayıflatır ve yumuşamış polimerin manuel veya mekanik olarak ayrılmasına olanak tanır.

2.2. Mekanik Tel Fırça Tabanlı Sıyırma Metodu

Mekanik tel fırça tabanlı sıyırma işlemi, metal yüzeylerdeki oksit tabakaları, hadde tufalleri, hafif korozyon ürünleri, kir, yağ kalıntıları ve gevşek partiküllerin uzaklaştırılması amacıyla uygulanan yüzey hazırlama yöntemidir. Bu yöntemde, çelik tellerden oluşan döner veya doğrusal hareketli fırçalar, yüzeye kontrollü temas ederek mekanik aşındırma etkisi oluşturur. Tel fırçaların yüzeye uyguladığı kesme ve kazıma kuvveti, kaplamanın aderansını olumsuz etkileyebilecek zayıf tabakaların yüzeyden uzaklaştırılmasını sağlar.

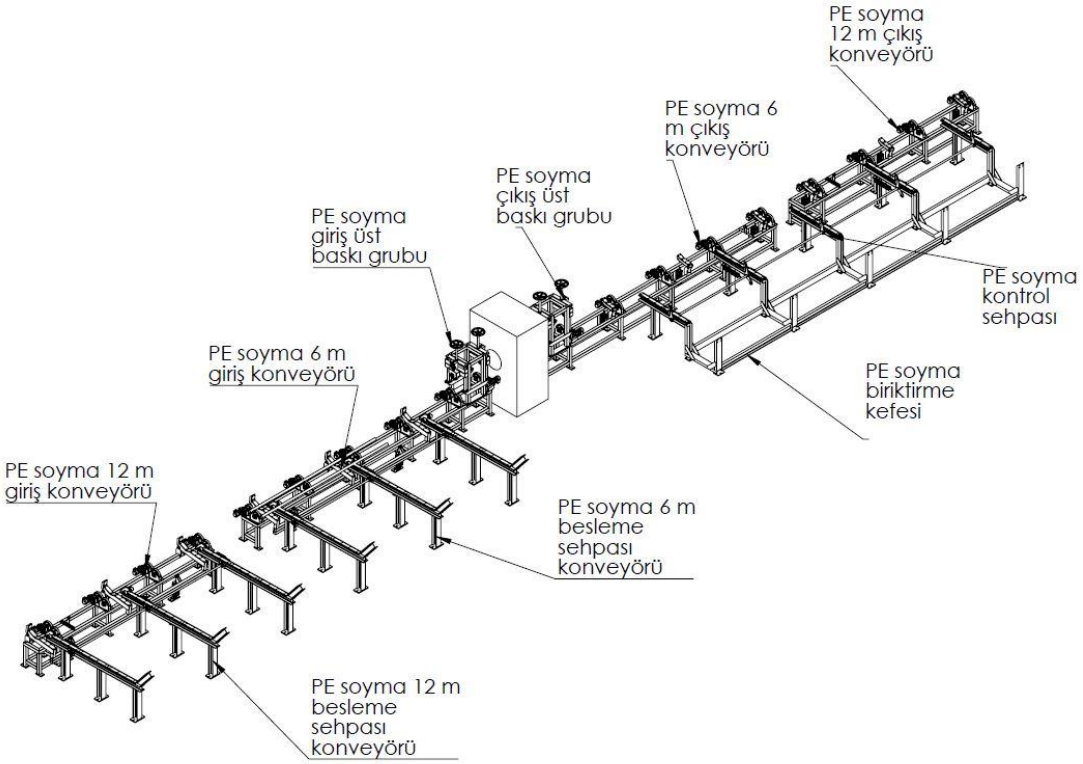
3. TASARIM

Literatür ve metot araştırma çalışmalarının sonunda mekanik tel fırça tabanlı sıyırma metotu tasarım çalışmalarına başlanılmıştır. İlk olarak ERW boru üretim tesisinde tasarımın konumlandırılacağı alan için üretim hattından bağımsız arıza oluştuğunda üretimi aksatmayacak uygun alanlar incelenmiştir. Sıyırma sisteminin uzunluğu ve genişliği olarak uygun yer bulunduktan sonra çizimler yapıldı.

Mekanik tel fırça tabanlı PE sıyırma sistemi, 6 inç ve 12 inç boylarındaki PE kaplı çelik boruların hat boyunca kontrollü şekilde iletimi, soyulması, denetlenmesi ve biriktirilmesi amacıyla modüler bir yapı olarak tasarlanmıştır. Sistem; giriş konveyörleri, üst baskı grupları, besleme sehpaları, soyma ünitesi, çıkış konveyörleri ve kontrol–biriktirme istasyonlarından oluşan doğrusal bir üretim hattı olarak yapılandırılmıştır. Hattın modüler yapısı, farklı boru çaplarının ve kaplama kalınlıklarının aynı mekanizma üzerinde ayarlanabilir bileşenlerle işlenmesini sağlamaktadır. Tüm taşıma ve baskı mekanizmaları, borunun eksenel hareketi boyunca stabilitesini koruyacak şekilde hizalanmış olup, soyma işlemi sırasında oluşabilecek titreşim, yalpalama veya eksen kaçıklığını minimize eden destek ruloları ile güçlendirilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Soyma işleminin temel çalışma prensibi, borunun konveyörler aracılığıyla soyma bölgesine kontrollü bir hızda sürülmesi ve üst baskı grubunun boruyu sabit basınç altında tutarak kesici-kazıyıcı mekanizmanın PE kaplamayı eksenel yönde ayırması esasına dayanmaktadır. Kesici sistem, kaplamayı çelik yüzeye zarar vermeden kaldıracak şekilde optimize edilmiş kesme geometrisine sahiptir ve soyulan PE parçaları hattın alt kısmında yer alan biriktirme kefesine yönlendirilir. Soyma sonrası boru, çıkış konveyörleri üzerinden kontrol sehpasına aktarılır ve bu bölgede kaplamanın tamamen uzaklaştırılıp uzaklaştırılmadığı operatör tarafından doğrulanmıştır. Tüm süreç; malzeme akışı, baskı kuvveti, konveyör hızı ve soyma bıçağı ilerlemesi gibi parametrelerin koordineli çalışmasını sağlayan merkezi kontrol ünitesi tarafından yönetilebilmiştir. Böylece hem tekrarlanabilir hem de operatör bağımlılığı azaltılmış yüksek güvenilirlikte bir soyma işlemi elde edilmiştir. Görsel 1'de tasarımın 3B çizimi gösterilmiştir.



Görsel 1. Mekanik Tel Fırça Tabanlı Sıyırma Sistemi 3B çizimi.

4.TARTIŞMA

Yapılan karşılaştırmalı inceleme sonucunda, indüksiyon ısıtma tabanlı geleneksel soyma sisteminin proses verimliliği ve işletme sürdürülebilirliği açısından çeşitli sınırlılıklar barındırmış olduğu görülmüştür. Yüksek enerji ihtiyacı, sistemin yıllık operasyon maliyetlerini artırmış ve üretim hattında karbon ayak izinin yükselmesine sebep olmuştur. Termal tabanlı yapısı nedeniyle boru yüzeyinde oksidasyon ve mikro yapısal değişim riskleri ortaya çıkmış, bu durum sonraki kaplama işlemlerinde yüzey hazırlığının tutarlılığını zayıflatmıştır. Ayrıca, 4,5–6,0 µm aralığında değişen yüzey pürüzlülüğü, yeniden kaplama öncesi ek yüzey düzenleme ihtiyacını artırmış ve operasyonun bütünlüğünü olumsuz yönde etkilemiştir. Operatör güvenliği açısından değerlendirildiğinde, açık sıcak yüzeyler ve VOC emisyonları, iş sağlığı ve güvenliği açısından ek önlemler gerektirmiştir. Buna karşın geliştirilen mekanik tel fırça tabanlı sıyırma sisteminin, tamamen termal olmayan çalışma prensibi sayesinde yüzeyde herhangi bir ısıl hasar oluşturmamış olduğu tespit edilmiştir. Mekanik sistemde elde edilen 2,5–3,0 µm aralığındaki

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

daha tekdüze pürüzlülük, yeniden kaplama süreçlerine doğrudan uyum sağlamış; kapalı sistem yapısı ve düşük titreşimli çalışma koşulları operatör ergonomisini belirgin biçimde iyileştirmiştir. Atık yönetimi açısından bakıldığında, mekanik yöntemin soyulan PE malzemesini %95 oranında geri kazanabilir hâle getirmiş olması, çevresel etkiyi azaltan önemli bir avantaj olarak öne çıkmıştır. Genel olarak bulgular, mekanik sistemin hem proses stabilitesi hem de çevresel performans bakımından daha dengeli ve kontrollü bir çalışma karakteri sergilemiş olduğunu göstermiştir. Eski ve yeni sistem karşılaştırması Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Eski ve Yeni Sistemin Karşılaştırılması

Değerlendirme Parametresi	İndüksiyon Isıtma Sistemi	Mekanik Tel Fırça Sıyırma Sistemi	Gelişmeler
Enerji Tüketimi	15.000 kWh/yıl	3.000 kWh/yıl	%80
Proses Türü	Termal (Elektromanyetik)	Mekanik (Sürtünmeli)	Termal Olmayan
Yüzey Pürüzlülüğü (Ra)	4,5–6,0 µm	2,5–3,0 µm	Geliştirilmiş tekdüzelik
Operatör Güvenliği	Yüksek ısıya maruz kalma	Kapalı, ergonomik	Daha güvenli çalışma alanı
Uçucu Organik Bileşik (VOC) Emisyonları	Mevcut (polimer yanması)	-	Çevresel olarak temiz
Bakım Maliyeti	Yüksek (bobin kalibrasyonu)	Düşük (fırça değişimi)	%60
Atıkların Geri Dönüştürülebilirliği	Sınırlı	%95 PE geri kazanımı	Sürdürülebilir sonuç

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, polietilen kaplı ERW borularda kullanılan indüksiyon ısıtma tabanlı sıyırma yönteminin yüksek enerji tüketimi, termal hasar riski ve sınırlı geri dönüşüm imkânı nedeniyle üretim verimliliğini ve sürdürülebilirliği olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Geliştirilen mekanik tel fırça tabanlı sistemin ise enerji kullanımını önemli ölçüde azaltmış, yüzey pürüzlülüğünü daha homojen hâle getirmiş, operatör güvenliğini artırmış ve soyulan polietilenin yüksek oranda geri kazanılmasını sağlamış olduğu görülmüştür. Üretim hattından bağımsız çalışması sayesinde proses sürekliliğini koruyan bu sistem, hem çevresel hem ekonomik açıdan daha uygun bir alternatif sunmuştur. Sonuç olarak, mekanik sıyırma

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

yaklaşımının polietilen kaplı boruların geri kazanım süreçlerinde etkin ve uygulanabilir bir çözüm oluşturduğu ortaya konulmuştur. Gelecek çalışmalarda, sistemin otomasyon kabiliyetinin artırılması ve farklı boru tiplerine uyarlanabilirliğinin geliştirilmesiyle daha geniş bir endüstriyel kullanım alanına ulaşabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Mendes, J., & Figueiredo, R. *Coating removal techniques for steel pipelines: A comparative analysis*. Journal of Materials Engineering and Performance, 23(7), 2451–2462, 2014
2. Vandamme, M., & Baets, P. *Mechanical stripping systems for field joint coating removal in polyethylene pipelines*. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 165, 54–62, 2018.
3. Bari, M. A., & Khan, T. *Adhesion properties of three-layer polyethylene coatings on steel pipes*. Progress in Organic Coatings, 99, 45–53, 2016
4. Sridhar, N., & Nugent, K. *Surface preparation and coating removal technologies for pipeline rehabilitation*. NACE Corrosion Conference Proceedings, 2012.
5. Beavers, J. A., & Thompson, N. G. *External corrosion of oil and natural gas pipelines*. ASM International Handbook, 2006.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KANGAL DEMİR ÜRETİMİNDE KRİTİK EKİPMANLAR İÇİN TİTREŞİM ANALİZİ İLE ARIZA TESPİT SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Burak TEMUÇİN
Tosçelik Profil ve Sac End. A.Ş.
burak.temucin@toscelik.com.tr - 0009-0009-6910-0855

Halil İ. Kurt
Tosçelik Profil ve Sac End. A.Ş.
halil.kurt@toscelik.com.tr- 0000-0001-5669-8792

ÖZET

Titreşim analizi makine sağlığı ve durum izleme sistemlerinin takibi için yaygın olarak kullanılan analiz yöntemidir. Kangal demir üretim hatları, yüksek dönüş hızlarının rulman ve dişli kutusu ana bileşenleri içeren İkiz Modül Blok (TMB), Monoblok ve Serme Kafa kritik üniteler içerisinde yer alan rulman, redüktör ve dişli gibi kritik ekipmanları içermektedir. Haddeleme işlemleri sırasında yaşanan yüksek dönme hızları ve değişken yükler nedeniyle, bu bileşenler ani arızalara yol açabilen titreşim kaynaklı kusurlara maruz kalınca çeşitli arızalar meydana gelmiştir. Bu çalışmada, arızadan önce mekanik hataları tespit etmek için stratejik olarak yerleştirilmiş Piezoelektrik tabanlı ivmeölçer sensörler kullanılmıştır. İvmeölçerlerden toplanan titreşim sinyalleri, Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) de dahil olmak üzere zaman alanı ve frekans alanı teknikleri kullanılarak işlenmiştir. İşlenmiş verilere dayanarak, arızalar teorik arıza frekansları ve uluslararası titreşim standartlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu yaklaşım, tesis operasyonlarına entegre edilmiş bir erken uyarı teşhis sistemi kurarak malzeme kayıplarını en aza indirmede, planlanmamış duruş sürelerini azaltmayı, bakım öngörülebilirliğini iyileştirmede, operasyonel güvenilirliği artırmada ve yıllık üretim kayıplarını önlemek amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Titreşim analizi, Durum izleme, piezoelektrik tabanlı ivmeölçer, FFT, Erken arıza tespiti.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Endüstriyel haddehaneler, ekipmanların dalgalanan yüklere, yüksek hızlara, termal gerilmelere ve mekanik darbelere maruz kaldığı son derece zorlu çalışma koşulları altında faaliyet göstermektedir. Bu zorlu koşullar, rulmanlar, dişli kutuları ve kaymalı yataklar gibi makine bileşenlerinin hızlandırılmış aşınmasına katkıda bulunur ve bu da felaket niteliğinde arızalar meydana gelmeden önce ilerleyici titreşim anormalliklerine yol açabilir. Çok sayıda çalışma, dönen bileşenlerdeki arızaların, fiziksel hasar ciddi hale gelmeden çok önce tespit edilebilir titreşim özelliklerine sahip olduğunu vurgulamaktadır; bu da titreşim analizini modern üretim tesisleri için önemli bir öngörücü bakım aracı haline getirilmiştir [1].

Düşük maliyetli sensörlerin, yüksek hızlı veri toplama sistemlerinin ve dijital sinyal işleme algoritmalarının geliştirilmesiyle birlikte, öngörücü bakım yaklaşımları yaygın ilgi görülmüştür. Seryozhenko V., sürekli titreşim izlemenin endüstriyel operasyonlara entegre edilmesinin bakım maliyetlerini %40'a kadar azaltabileceğini ve ekipman kullanılabilirliğini önemli ölçüde artırabileceğini vurgulanmıştır [2]. Çelik haddeleme ve tel çubuk imalatı gibi sürekli akış yapısını izleyen endüstrilerde, kısa süreli planlanmamış duruş süreleri bile önemli üretim kayıplarına, enerji israfına ve hurda oranlarında artışa neden olabilmiştir. Bu nedenle, sistematik durum izleme yöntemlerinin uygulanması, isteğe bağlı bir iyileştirme olmaktan ziyade bir zorunluluk haline gelmiştir.

ISO 10816 ve ISO 20816 gibi uluslararası standartlar, titreşim şiddeti değerlendirmesi için kılavuzlar sağlar ve ölçülen RMS (Root Mean Square) hız ve ivme değerlerine göre makine koşullarını sınıflandırmak için eşik değerler sunulmuştur. Bu standartlar, titreşim ölçümlerinin endüstriyel ortamlarda tutarlı bir şekilde yorumlanmasını sağlar ve dengesiz şaftların, yanlış hizalamanın, gevşekliğin, yatak kusurlarının ve dişli ağı anormalliklerinin erken tespitini desteklemiştir [3].

İncelenen tesiste kritik alanlar arasında Monoblok standları, TMB üniteleri ve kangal hattının serme kafa sistemi yer almaktadır. Literatür, haddehanelerin sıklıkla yatak aşırı ısınması, kafes hasarı, kayar yataklarda babbitt tabakası aşınması, şaft bükülmesi ve dişli kutusu diş kırılması gibi arızalar yaşadığını ve bunların her birinin titreşim spektrumlarında karakteristik desenler bıraktığı gösterildi [4]. Bu bulgular, tesisin geçmiş bakım verileriyle birleşerek, özelleştirilmiş bir titreşim izleme ve otomatik arıza tespit sisteminin tasarımını ortaya koymuştur. Bu çalışmanın nihai amacı, planlanmamış duruş sürelerinden kaynaklanan 2560 ton/yıl üretim kaybını önlemek ve bakım mühendislerine gerçek zamanlı makine sağlığı göstergeleri sağlamaktır.

2. METOT / VAKA ÇALIŞMASI

2.1. Kritik Ekipmanların Belirlenmesi

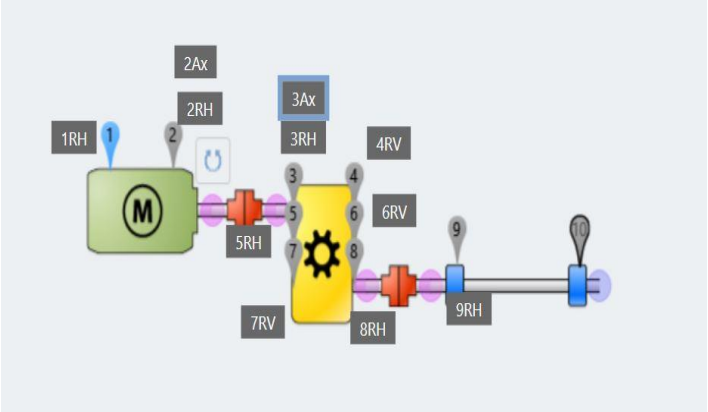
Geçmiş bakım kayıtları, operatör gözlemleri ve haddehanelere özgü arıza modları incelenerek ön bir arıza analizi yapılmıştır. Yüksek hızları ve haddeleme kuvvetlerinin iletilmesindeki önemli rolleri nedeniyle Monoblok ve TMB tezgahları en çok arızaya eğilimli alanlar olarak belirlenmiştir. Özellikle kaymalı yataklar (babbitt yataklar), redüktör giriş/çıkış milleri ve destek yatakları vurgulanmıştır. Bu yaklaşım, kritiklik puanlamasının arıza sıklığı, operasyonel önem ve onarım maliyetine göre değerlendirildiği endüstriyel durum izleme araştırmalarında kullanılan arıza modu belirleme metodolojisini takip etmiştir [5].

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2.2. Sensör Seçimi ve Yerleştirme Stratejisi

Hem düşük frekanslı mekanik arızaları hem de yüksek frekanslı rulman kaynaklı kusurları yakalamak için uygun hassasiyete (100 mV/g) ve bant genişliğine (10 kHz'e kadar) sahip ivmeölçerler tercih edilmiştir. Sensör konumlandırması, rulman yuvaları, dişli kutusu gövdeleri ve şaft destek noktalarına odaklanılarak mekanik yerleşim çizimleri kullanılarak belirlenmiştir. Benzer çalışmalar, uygun sensör yerleşiminin algılama doğruluğunu önemli ölçüde etkilediğini, çünkü yanlış konumlandırmanın arıza sinyallerini gizleyebileceğini veya ölçümlere gürültü katabileceğini vurgulamaktadır [6].

Sensörler, yüzey erişilebilirliğine bağlı olarak manyetik tabanlar veya dişli saplamalar kullanılarak monte edilmiştir. Güvenilirlik için, ortogonal ölçüm yönleri (yatay, dikey, eksenel) dikkate alınmıştır. Ölçüm eksenlerinin seçimi, dönen parçaların baskın titreşim yönünü etkilediği bilinen yapısal sertlik farklılıklarını dikkate alınmıştır. Görsel 1'de sensör yerleşkesi



gösterilmiştir.

Görsel 1. Kangal Hattı Monoblok İvmeölçer Sensör Yerleşkesi.

2.3 Veri Toplama ve Sinyal İşleme Süreci

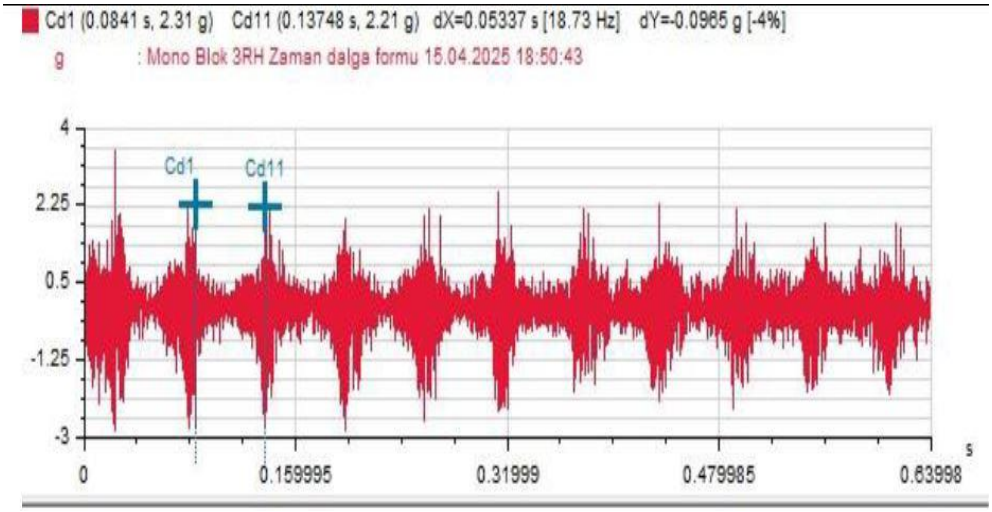
Gerçekçi çalışma koşullarını yansıtmak için titreşim verileri birden fazla çalışma hızında ve değişken üretim yükleri altında kaydedildi. Zaman alanındaki sinyaller öncelikle ani genlik dalgalanmaları, tepe noktaları, darbeler ve geçici olaylar açısından incelendi. Zaman alanı analizi, özellikle gevşeklik, darbe veya sürtünmeyi belirlemek için değerli başlangıç göstergeleri sağlandı.

Zaman alanı incelemesinin ardından, veriler FFT kullanılarak frekans alanına dönüştürüldü. FFT tabanlı spektral analiz, belirli arızaların bilye geçiş frekansları, şaft dönüş frekansları ve dişli ağı frekansları gibi farklı frekans bileşenleri üretmesi nedeniyle periyodik mekanik arıza imzalarını belirlemek için en etkili yöntem olarak yaygın olarak kabul edilmektedir [7].

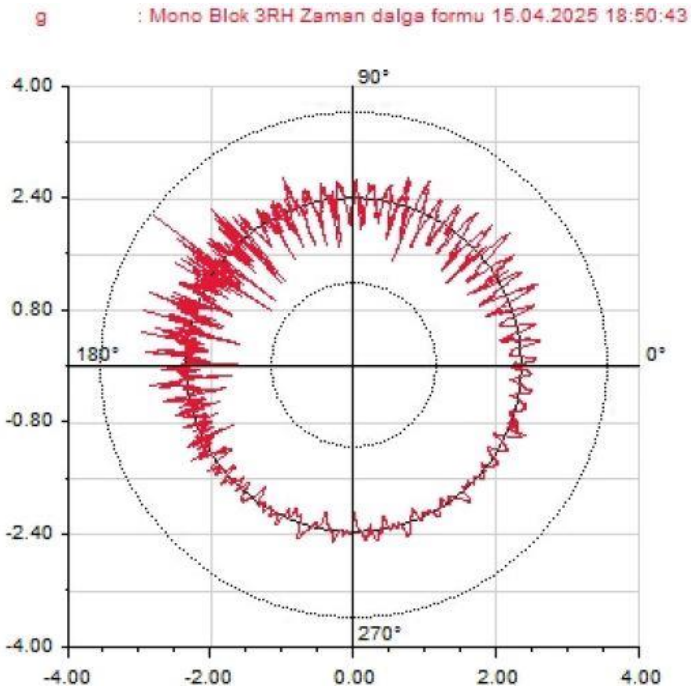
Spektral tepe noktaları, ekipman üreticileri tarafından sağlanan rulman geometrisi ve dişli oranları kullanılarak hesaplanan teorik arıza frekanslarıyla karşılaştırıldı. Normal çalışma temel çizgilerini aşan anormal frekans bileşenleri daha fazla inceleme için işaretlenmiştir. Frekans aralığına ve arıza türüne bağlı olarak hem ivme hem de hız spektrumları değerlendirilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Her devir ve yük aralığında görülmese de dişli kutusunun giriş kademesinde 33X ve katlarında 1X yan bantlı titreşim görülmektedir. Ayrıca zaman sinyalinde modülasyonlu birleşim net olarak görülmektedir. Bu durumda dişli aşınması büyük arıza seviyelerine ulaşmadan tespit edilerek en yakın planlı duruşta bakımı yapılmıştır. Görsel 2 ve Görsel 3'de titreşim analizi zaman dalga form grafikleri gösterilmiştir.



Görsel 2. Kangal Hattı Monoblok Titreşim Analizi Grafiği.



Görsel 3. Titreşim Analizi Zaman Dalga Form Grafiği.

2.4 Tanı Modeli ve Alarm Eşikleri

ISO 10816/20816 titreşim şiddeti bölgeleri kullanılarak normal, dikkat ve arıza seviyesi sınırları belirlendi. Ek olarak, makine sağlık durumlarını sınıflandırmak için otomatik bir tanı algoritması geliştirilmiştir. Bu hibrit yöntem, standartları veri odaklı modellerle birleştirmenin

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
erken tespit doğruluğunu artırdığını ve yanlış alarmları en aza indirdiğini gösteren son araştırmalarla uyumludur [8].

Tanı modeli içeren kısımlar :

- Her bileşen için temel titreşim seviyeleri,
- Otomatik trend izleme,
- Karakteristik arıza sıklığı tanıma,
- Operatörler için gerçek zamanlı bildirimler.

Uzun vadeli ölçümleri depolamak için bulut tabanlı bir sunucu entegre edilmiştir; bu sayede bakım ekipleri trendleri değerlendirildi ve titreşim davranışını çalışma koşullarıyla ilişkilendirilebilmiştir.

2.5 Vaka Çalışması Uygulaması

Sistem, aktif kangal üretimi sırasında kuruldu ve test edildi. Başlangıç, kararlı durum çalışması ve tepe yük koşulları da dahil olmak üzere, birkaç ay boyunca tekrarlanan ölçümler yapılmıştır. Özellikle TMB hatlarında bulunan rulmanlarda çeşitli anormallikler kaydedilmiştir. Titreşim RMS seviyelerindeki kademeli artışlar ve bilye geçiş frekanslarındaki artışlar, erken aşama rulmanda iç bilezik arızalarına işaret ettiği tespit edilmiştir.

Tüm bulgular bakım ekibiyle paylaşıldı ve daha sonra planlı bakım durdurmaları sırasında doğrulanarak teşhis sisteminin doğruluğu teyit edilmiştir.

3. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Geliştirilen sistem, birden fazla kritik rulmanda aşınma ve yorulmanın erken belirtilerini başarıyla tespit etmiştir. Özellikle, planlanan bakım durdurmasından haftalar önce belirli karakteristik arıza frekanslarında titreşim genliklerinde artışlar kaydedilmiştir. Bu sonuç, titreşim analizinin görsel incelemede görünmeyen erken aşama arızalarını ortaya çıkartmıştır.

Sistemin önemli avantajları:
(1) Planlanmamış arıza sürelerinde azalma: Sürekli izleme, onarımların erken planlanmasına olanak tanıyarak, daha önce uzun süreli arıza sürelerine neden olan ani arızaları önlenmiştir.

(2) Üretim kaybının önlenmesi: Felaket hasarı meydana gelmeden önce arızaları tespit ederek, sistemin üretim çıktısında yılda yaklaşık 2560 ton tasarruf sağlanmıştır.

(3) Yedek parça ve bakım maliyetlerinde tasarruf: Babbitt (kaymalı) yatak rulmanlardaki ve destek rulmanlarındaki arızalar erken tespit edilerek, şaftlara ve dişli kutularına ikincil hasar önlenmiştir.

(4) Geliştirilmiş bakım planlaması: Operatörler, gerçek zamanlı gösterge paneli bildirimleri ve trend analiz araçları sayesinde karar verme yeteneğinin arttığını bildirmiştir.
(5) Makine güvenilirliğinin artırılması: Her ekipman grubu için oluşturulan titreşim temel çizgileri artık gelecekteki değerlendirmeler için teşhis referansları olarak hizmet verilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bu iyileştirmelere ek olarak, proje bulut tabanlı depolamanın entegrasyonunun uzun vadeli performans analizini mümkün kıldığını ve projenin gelecekteki aşamalarında tanıtılabilecek makine öğrenimi uygulamalarını desteklediğini göstermiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, kangal üretim hattındaki kritik döner ekipmanlar için tasarlanmış kapsamlı bir titreşim tabanlı durum izleme sistemini uygulanmıştır. Stratejik olarak yerleştirilmiş sensörler, FFT tabanlı spektral analiz, uluslararası titreşim standartları ve otomatik teşhis algoritmalarının entegrasyonuyla sistem, erken arıza tespiti için güvenilir bir yöntem sağlanmıştır.

Bulgular, titreşim izlemenin ekipman güvenilirliğini önemli ölçüde artırdığını, planlanmamış arıza sürelerini azalttığını ve daha doğru ve verimli bakım planlamasını desteklediği doğrulanmıştır. Gelecekteki çalışmalar için, tahmin doğruluğunu ve sistem ölçeklenebilirliğini daha da iyileştirmek amacıyla otomatik desen tanıma için makine öğrenmesi algoritmalarının eklenmesi, sıcaklık ve akustik izlemenin entegrasyonu ve gerçek zamanlı kablosuz sensör ağlarının uygulanması ön görülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Randall, R. B., *Vibration-based Condition Monitoring: Industrial, Aerospace and Automotive Applications*, Wiley, 2011.
2. Seryozhenko, V. et al., “Predictive Maintenance in High-Speed Industrial Machinery,” *Journal of Mechanical Systems*, 45(3), 2020, pp. 221–233.
3. ISO 10816-3:2009 & ISO 20816-1:2016, “Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration.”
4. Rafiee, J., “Bearing Failure Detection in Rolling Mills Using Vibration Analysis,” *Procedia Engineering*, 2017.
5. Mobley, R., *An Introduction to Predictive Maintenance*, Butterworth-Heinemann, 2002.
6. Mitchell, S., “Sensor Placement Strategies for Rotating Machinery Monitoring,” *Measurement Science Review*, 2019.
7. McFadden, P.D., “Fault Detection in Rolling Element Bearings via FFT Analysis,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, 1986.
8. Kumar, A. & Jain, S., “Hybrid Diagnostic Approaches in Machine Condition Monitoring,” *IEEE Access*, 2021.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

PTFE TABANLI MANYETİK KAPLİN TASARIMI VE MÜHENDİSLİK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Berhan SEYHAN
AKANA Mühendislik ve Ticaret A.Ş.
berhanseyhan@akana.com.tr
ORCID ID: 0009-0009-1893-6169

Can Kutay TUÇ
AKANA Mühendislik ve Ticaret A.Ş.
cantuc@akana.com.tr
ORCID ID: 0009-0008-9310-0102

Galip ÇAPÇI
AKANA Mühendislik ve Ticaret A.Ş.
galipcapci@akana.com.tr
ORCID ID: 0000-0002-4401-9315

ÖZET

Bu çalışmada, sızdırmaz tork aktarımı gerektiren mühendislik uygulamaları için Akana Mühendislik bünyesinde tasarlanan PTFE (politetrafloroetilen) esaslı bir manyetik kaplin sistemi sunulmuş ve malzeme özelliklerinin sistem performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Geleneksel manyetik kaplin tasarımlarında kullanılan metal esaslı muhafaza elemanları, girdap akımı kayıpları, korozyon ve kimyasal dayanım sınırlamaları gibi çeşitli dezavantajlara neden olabilmektedir. Bu kapsamda, elektriksel olarak yalıtkan, manyetik olarak nötr ve yüksek kimyasal dayanım özelliklerine sahip PTFE malzemesi, manyetik kaplin yapısında alternatif bir muhafaza ve taşıyıcı eleman olarak ele alınmıştır. Tasarlanan kaplin sisteminde daimî mıknatıslar yardımıyla temassız tork aktarımı sağlanırken, PTFE'nin düşük sürtünme katsayısı ve manyetik alanı zayıflatmayan yapısı sayesinde verimli ve güvenilir bir çalışma hedeflenmiştir. Elde edilen değerlendirmeler, PTFE tabanlı manyetik kaplin tasarımlarının özellikle kimyasal prosesler, pompa sistemleri ve sızdırmazlık gerektiren uygulamalar için uygun bir alternatif sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Manyetik kaplin, Sızdırmaz tork aktarımı, PTFE(politetrafloroetilen)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Manyetik kaplinler, mekanik güç ve tork aktarımının fiziksel temas olmaksızın sağlanabildiği sistemler olup, özellikle sızdırmazlık gereksiniminin kritik olduğu mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kimyasal prosesler, pompa sistemleri, vakum uygulamaları ve hassas endüstriyel ekipmanlar gibi alanlarda, geleneksel mekanik kaplinlerin neden olduğu sızıntı, aşınma ve bakım gereksinimleri önemli tasarım problemleri oluşturmaktadır. Bu tür uygulamalarda manyetik kaplinler, temassız çalışma prensipleri sayesinde hem işletme güvenliğini artırmakta hem de bakım maliyetlerini azaltmaktadır. [1]

Geleneksel manyetik kaplin tasarımlarında, iç ve dış rotor arasındaki ayırıcı muhafaza elemanları genellikle metal esaslı malzemelerden imal edilmektedir. Ancak bu tür malzemelerin elektriksel iletken olmaları, manyetik alan altında girdap akımı kayıplarına yol açarak sistem verimliliğini olumsuz etkileyebilmektedir. Buna ek olarak, metal muhafazalar özellikle agresif kimyasal ortamlarda korozyon riski taşımakta ve uzun süreli kullanımda yapısal bütünlük açısından sınırlamalar ortaya koymaktadır. Bu durum, manyetik kaplin tasarımında alternatif malzeme arayışlarını gündeme getirmiştir.

Politetrafloroetilen (PTFE), elektriksel olarak yalıtkan yapısı, manyetik olarak nötr karakteri ve yüksek kimyasal dayanımı sayesinde mühendislik uygulamalarında öne çıkan polimer malzemelerden biridir. Düşük sürtünme katsayısı, geniş çalışma sıcaklığı aralığı ve korozyona karşı yüksek direnci, PTFE'yi özellikle sızdırmazlık gerektiren sistemler için uygun bir malzeme haline getirmektedir. Bu özellikler, PTFE'nin manyetik kaplin sistemlerinde muhafaza ve taşıyıcı eleman olarak kullanılmasının hem manyetik performans hem de operasyonel güvenilirlik açısından önemli avantajlar sağlayabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada, Akana Mühendislik bünyesinde tasarlanan PTFE esaslı bir manyetik kaplin sistemi ele alınmış ve kullanılan malzemenin sistem performansı üzerindeki etkileri mühendislik bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, PTFE'nin manyetik alan etkileşimi, mekanik davranışı ve tasarım parametreleri açısından manyetik kaplin uygulamalarındaki potansiyelini ortaya koymaktır.

Ayrıca bu çalışmada ele alınan manyetik kaplin tasarımı, sızdırmazlık gereksiniminin ön planda olduğu uygulamalar dikkate alınarak geliştirilmiştir. Tasarım sürecinde, akışkan ile mekanik bileşenler arasındaki doğrudan temasın tamamen ortadan kaldırılması hedeflenmiş ve bu doğrultuda temassız tork aktarımı sağlayan bir yapı tercih edilmiştir.

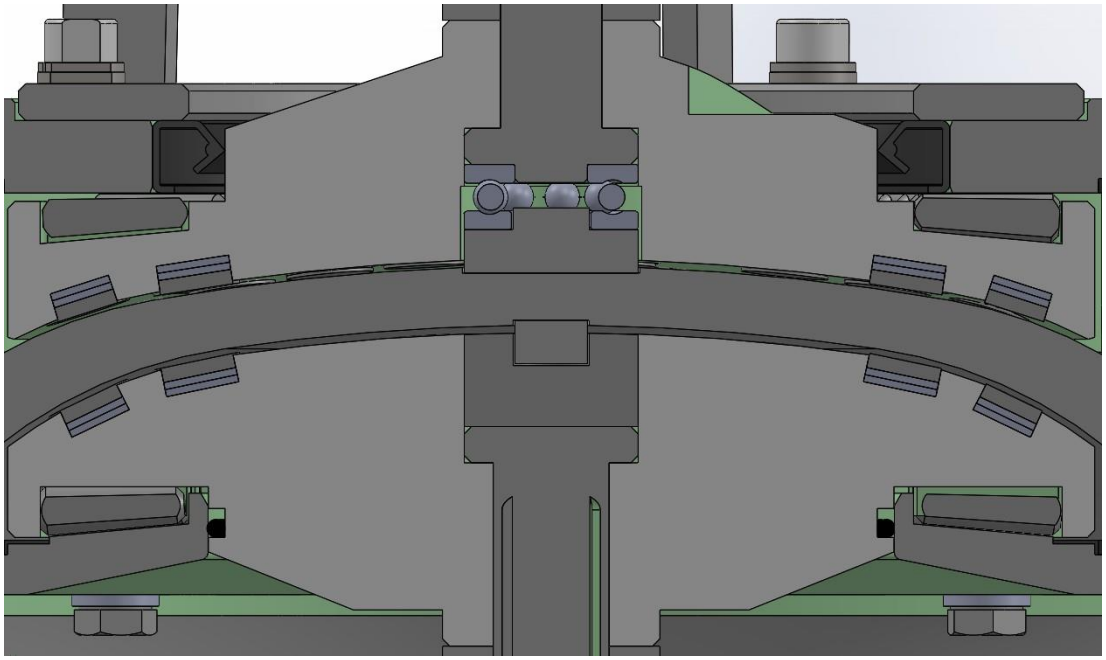
2. PTFE TABANLI MANYETİK KAPLİN TASARIMI

Bu çalışmada ele alınan manyetik kaplin tasarımı, sızdırmazlık gereksiniminin ön planda olduğu mühendislik uygulamaları dikkate alınarak geliştirilmiştir. Kaplin sistemi iki ana

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

bileşenden oluşmakta olup, üst kaplin parçası tahrik kaynağı olan motora doğrudan bağlanmakta, alt kaplin parçası ise tahrik edilen sistem ile mekanik olarak ilişkilendirilmektedir. Üst kaplin parçası yaklaşık 100 rpm dönme hızında çalışmakta ve tork aktarımı, parçalar arasında herhangi bir fiziksel temas olmaksızın manyetik etkileşim yoluyla sağlanmaktadır.

Kaplinin üst ve alt parçaları arasında, sızdırmazlık ve yapısal ayırma görevini üstlenen paslanmaz çelik esaslı bir muhafaza elemanı bulunmaktadır. Bu muhafaza, akışkan ile mekanik bileşenler arasındaki doğrudan teması tamamen ortadan kaldırarak sızdırmaz bir çalışma ortamı oluşturmaktadır. Aynı zamanda, manyetik alanın karşı tarafa iletilmesine izin veren bu yapı sayesinde tork aktarımı güvenli bir şekilde gerçekleştirilmektedir.



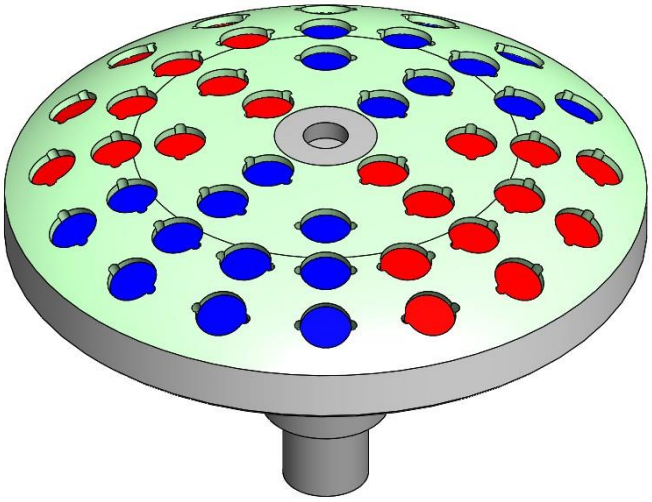
Görsel 1. Kaplin sistem montaj örneği

Kaplin gövdesi ve taşıyıcı yapısı PTFE (politetrafloroetilen) malzemeden imal edilmiştir. PTFE'nin elektriksel olarak yalıtkan ve manyetik olarak nötr yapısı, manyetik alanın kaplin içerisinde zayıflamadan iletilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, düşük sürtünme katsayısı ve kıvılcım oluşumunu engelleyen özellikleri sayesinde PTFE, özellikle sızdırmazlık gerektiren ve potansiyel olarak tehlikeli ortamlar için güvenli bir malzeme seçimi sunmaktadır. [3]

Bu kapsamda, döner hareketin gerçekleştiği mil bölgelerinde döner mil keçeleri kullanılarak akışkan sızıntısının önüne geçilmiştir. Keçe elemanlarını desteklemek amacıyla kauçuk malzemeden imal edilmiş o-ringler tasarıma dahil edilmiş ve böylece farklı çalışma koşullarında elastik sızdırmazlık sağlanması hedeflenmiştir. Kauçuk malzemenin kimyasal dayanımı ve elastik yapısı, özellikle sızdırmazlık gerektiren uygulamalarda PTFE gövde ile uyumlu bir çözüm sunmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

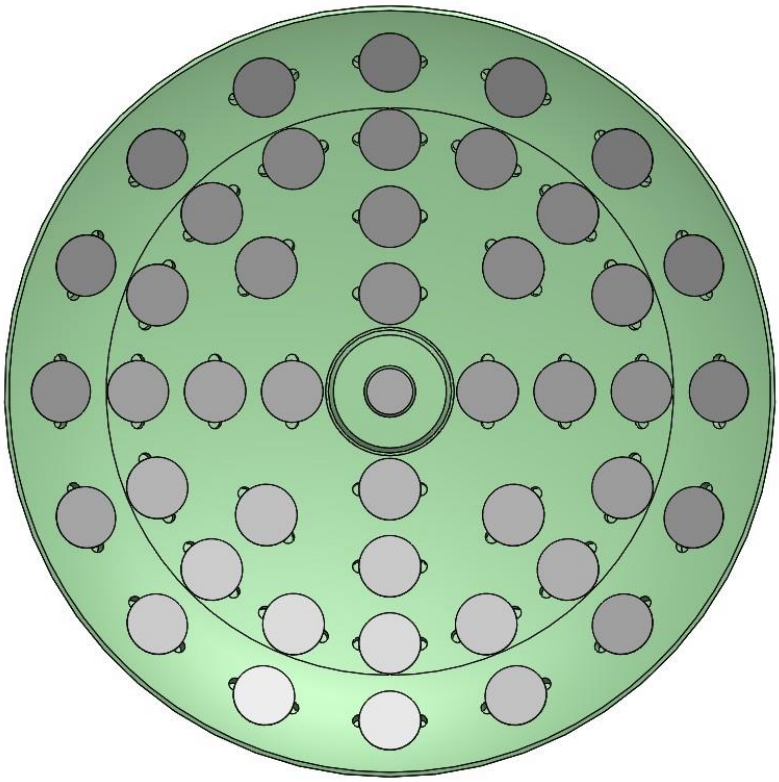
Tasarımda, daimi mıknatısların konumlandırılması için kaplin gövdesi üzerinde özel olarak oluşturulmuş kanallar bulunmaktadır. Bu kanallar içerisine yerleştirilen mıknatıslar, PTFE malzemeden imal edilen kapaklar ile kapatılmıştır. Bu kapak yapısı, mıknatısların çalışma sırasında kanallar içerisindeki konumlarını korumasını sağlayarak olası yer değiştirme, düşme veya mekanik hasar risklerini ortadan kaldırmaktadır. Aynı zamanda, kaplin içerisindeki manyetik elemanların dış ortamla temas etmesi engellenerek sistemin sızdırmazlık ve güvenilirlik performansı artırılmaktadır.



Görsel 2. Kaplin sistem mıknatıs yerleşim

Kaplin tasarımında temaslı bir güç aktarımı söz konusu olmadığından, çalışma sırasında mekanik sürtünme ve buna bağlı aşınma oluşmamaktadır. PTFE malzemenin kullanımı, çelik–polimer temasında kıvılcım oluşma riskini ortadan kaldırarak kaplinin güvenliğini artırmaktadır. Bu özellik, tasarlanan manyetik kaplin sistemini özellikle kimyasal prosesler, yanıcı veya patlayıcı ortamlarda çalışan pompa sistemleri ve sızdırmazlığın kritik olduğu endüstriyel uygulamalar için uygun hale getirmektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 3. Kaplin sistem mıknatıs PTFE kapak yerleşim

Üst kaplin parçası, tasarlanan manyetik kaplin sisteminde hem tork aktarımının karşılanması hem de sızdırmazlık koşullarının korunması açısından önemli bir yapısal bileşen olarak görev yapmaktadır. Görselde sunulan üst kaplin yapısında, kaplin gövdesi PTFE malzemeden imal edilmiş olup, çevresel yüzey boyunca eşit aralıklarla yerleştirilmiş silindirik masura elemanları bulunmaktadır.

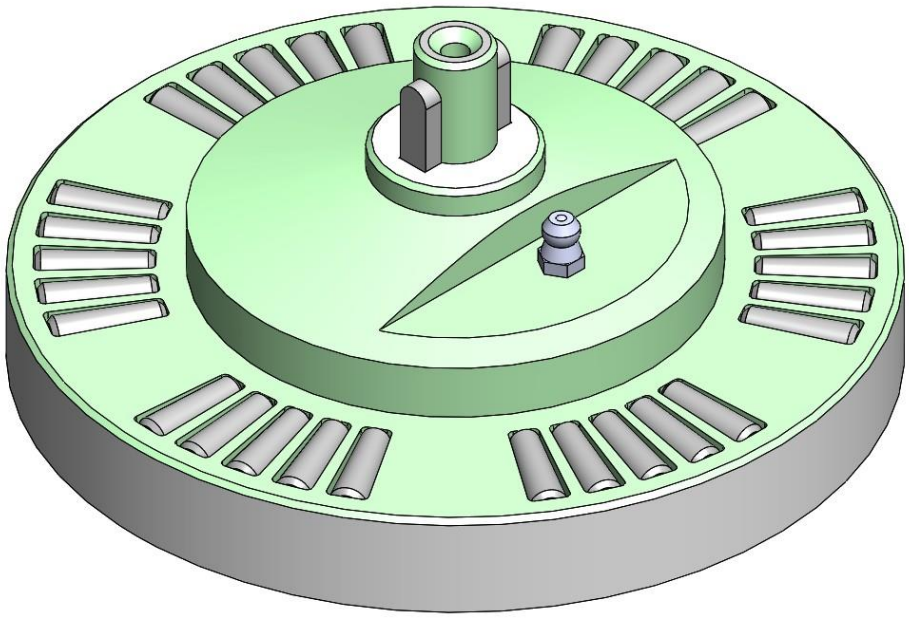
Bu silindirik masuralar da PTFE malzemeden üretilmiş olup, alt kaplin parçasının paslanmaz çelik ayırıcı muhafaza ile temas ettiği bölgede konumlandırılmıştır. Masuraların temel amacı, kaplinin çalışma sırasında temas ettiği paslanmaz yüzey üzerinde dönme hareketini kolaylaştırmak ve sürtünmeyi minimum seviyeye indirmektir. Bu yapı sayesinde alt kaplin parçası, eksenel olarak bastırıldığında dahi yüzeyler arasında kayma yerine kontrollü bir yuvarlanma hareketi oluşmakta ve sistemin mekanik verimliliği artırılmaktadır.

PTFE masuraların kullanımı, çelik–polimer temasında oluşabilecek aşınma, yüzey hasarı ve ısınma gibi olumsuz etkilerin önüne geçmektedir. Ayrıca PTFE'nin düşük sürtünme katsayısı ve kıvılcım oluşumunu engelleyen yapısı, kaplinin özellikle sızdırmazlık gerektiren ve potansiyel olarak tehlikeli ortamlarda güvenli bir şekilde çalışmasına katkı sağlamaktadır. Bu durum, tasarlanan sistemin kimyasal prosesler ve sızdırmaz pompa uygulamaları için uygunluğunu güçlendirmektedir.

Masuraların çevresel olarak simetrik ve düzenli bir şekilde yerleştirilmesi, yükün alt kaplin yüzeyi boyunca homojen dağıtılmasını sağlamakta ve lokal gerilme birikimlerinin oluşmasını

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

engellemektedir. Böylece kaplin sistemi, düşük dönme hızlarında dahi kararlı ve titreşimsiz bir çalışma karakteristiği sergilemektedir. Bu tasarım yaklaşımı, manyetik kaplinin uzun süreli kullanımda mekanik stabilitesini ve operasyonel güvenilirliğini artırmaktadır.



Görsel 4. Kaplin sistem PTFE masura yerleşim

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, sızdırmazlık gereksiniminin ön planda olduğu mühendislik uygulamaları için PTFE (politetrafloroetilen) esaslı bir manyetik kaplin tasarımı geliştirilmiş ve sistem bileşenleri mühendislik bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Akana Mühendislik bünyesinde gerçekleştirilen bu tasarım çalışması kapsamında, temassız tork aktarımı sağlayan manyetik kuplaj yapısı, PTFE gövde malzemesi ve tamamlayıcı sızdırmazlık elemanları birlikte ele alınmıştır.

Geleneksel metal esaslı manyetik kaplin tasarımlarında karşılaşılan girdap akımı kayıpları, korozyon riski ve kimyasal dayanım sınırlamaları göz önünde bulundurularak, elektriksel olarak yalıtkan ve manyetik olarak nötr bir malzeme olan PTFE tercih edilmiştir. PTFE gövde yapısının, manyetik alan etkileşimini olumsuz etkilemeden sızdırmazlık ve mekanik bütünlük sağladığı değerlendirilmiştir. Ayrıca malzemenin düşük sürtünme katsayısı, çalışma sırasında kıvılcım oluşma riskini ortadan kaldırarak güvenli bir kullanım sunmaktadır.

Kaplin tasarımında kullanılan silindirik PTFE masuralar sayesinde, paslanmaz çelik ayırıcı muhafaza ile temas eden yüzeylerde sürtünme azaltılmış ve dönme hareketi kolaylaştırılmıştır. Bu yaklaşım, düşük devirli uygulamalarda kararlı ve titreşimsiz bir çalışma karakteristiğinin

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Masuraların çevresel ve simetrik yerleşimi, yük dağılımının homojen bir şekilde gerçekleşmesini desteklemiştir.

Sızdırmazlık performansını artırmak amacıyla tasarıma entegre edilen döner mil keçeleri ve kauçuk O-ring elemanları, PTFE gövde ile çalışarak çok katmanlı bir sızdırmazlık yaklaşımı sunmuştur. Bunun yanı sıra, kaplin merkezine eklenen gresörlük detayı ve rulmanlı üst kaplin yapısı, bakım ve yağlama işlemlerinin kolaylaştırılmasını sağlayarak sistemin servis edilebilirliğini artırmıştır.

Manyetik tork aktarımı, kaplin içerisine yerleştirilen daimî mıknatıslar aracılığıyla sağlanmış ve mıknatısların PTFE kanallar ve kapaklar ile sabitlenmesi sayesinde yapısal güvenilirlik korunmuştur. Mıknatısların simetrik yerleşimi, manyetik kuplajın sürekliliğini ve dengeli bir tork iletimini desteklemiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, sızdırmazlık gereksiniminin kritik olduğu mühendislik uygulamaları için PTFE esaslı bir manyetik kaplin tasarımı ele alınmış ve tasarım yaklaşımı bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Çalışma, manyetik kaplin sistemlerinde yalnızca manyetik tork aktarımının değil; malzeme seçimi, sızdırmazlık, bakım kolaylığı ve operasyonel güvenilirliğin de tasarım sürecinin ayrılmaz bir parçası olduğunu ortaya koymaktadır.

PTFE malzemesinin manyetik olarak nötr, kimyasal olarak dayanıklı ve düşük sürtünme katsayısına sahip olması, geleneksel metal esaslı çözümlere kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır. Bu bağlamda sunulan tasarım, özellikle agresif çalışma ortamlarında sızdırmaz ve güvenli güç aktarımı gerektiren uygulamalar için uygulanabilir bir mühendislik yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir.

Akana Mühendislik bünyesinde geliştirilen bu tasarım çalışması, manyetik kaplin sistemlerine yönelik malzeme temelli alternatiflerin değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Çalışmanın, hem akademik çalışmalar hem de endüstriyel tasarım süreçleri için yol gösterici bir referans oluşturması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

[1] G. M. Whitesides, "Magnetic Couplings for Sealed Drive Systems," *IEEE Transactions on Magnetics*, cilt 45, no. 10, ss. 4567–4573, 2009.

[2] Shigley, J. E., Makine Mühendisliği Tasarımı, (Çev. Ed.: Prof. Dr. A. Çolak), Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2018.

[3] Özdemir, M., Polimer Malzemeler ve Uygulamaları, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2017.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

DEĞİŞKEN YÜKLER ALTINDA DÖNEL EĞİLMELİ YORULMA TEST CİHAZI TASARIMI VE İMALATI

Yüksek Lisans Öğrencisi Mak. Müh. Emrullah GÜRBÜZ

FIRAT ÜNİVERSİTESİ - emrullah_gurbuz@hotmail.com - 0009-0006-8020-4995

Prof. Dr. Faruk KARACA

FIRAT ÜNİVERSİTESİ - fkaraca@firat.edu.tr

ÖZET

Mühendislik uygulamalarında kullanılan makine elemanları ve yapısal bileşenler, çalışma süreleri boyunca çoğunlukla sabit olmayan, çevresel etkenler ve zamana bağlı olarak değişen mekanik yüklenmelerle karşılaşmaktadır. Bu tür yüklenme durumlarında ortaya çıkan yorulma hasarı, malzeme bünyesinde oluşan mikro ölçekli çatlakların ilerlemesiyle ani ve beklenmeyen kırılmalara neden olabilmektedir. Bu nedenle, gerçek çalışma şartlarını daha iyi temsil edebilen yorulma test sistemlerinin geliştirilmesi, güvenilir tasarımlar açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, değişken yükler altında malzeme davranışlarının incelenmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanan, dönel ve eksenel yüklemeyi birlikte uygulayabilen pnömatik tahrikli bir yorulma test cihazı tasarlanmıştır. Önerilen sistemin temel hedefi; laboratuvar ortamlarında kullanılabilecek, üretimi ve kullanımı görece basit, maliyet etkin ve geliştirilebilir bir deney düzeneği ortaya koymaktır. Tasarım kapsamında numune, döner bir mil sistemi üzerine yerleştirilmekte ve eksenel yönde pnömatik bir silindir aracılığıyla farklı genliklerde yükler uygulanabilmektedir. Yükleme seviyeleri, pnömatik sistem basıncının ayarlanmasıyla kontrol edilebilmektedir.

Mevcut çalışmalarda yer alan yorulma test cihazlarının büyük bir kısmı servo-hidrolik veya elektromekanik tahrik sistemleri kullanmaktadır. Her ne kadar bu sistemler yüksek hassasiyet sunsa da, maliyet ve kontrol karmaşıklığı gibi nedenlerle akademik çalışmalar için sınırlayıcı olabilmektedir. Bu bağlamda, pnömatik tahrikli çözümler, özellikle tez ve eğitim amaçlı araştırmalar için uygulanabilir bir alternatif olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmanın, değişken yükler altında dönel eksenel yorulma testlerine yönelik akademik araştırmalara katkı sağlaması ve tez kapsamında gerçekleştirilecek ayrıntılı tasarım ile deneysel çalışmalar için başlangıç oluşturması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler :
Yorulma, değişken yükleme, dönel eksenel yorulma, pnömatik tahrik, yorulma test cihazı

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Tekrarlanan ya da yükün çevrimsel uygulamaları ile zorlanan malzemelerin mukavemeti azalır. Çekme mukavemetinin ve akma mukavemetinin çok altındaki gerilme değerlerinde bile malzemede kırılma meydana gelebilir, bu olaya yorulma denilmektedir. Birçok makine parçaları ve yapı elemanları kullanılma esnasında tekrarlanan gerilmeler ve titreşimler altında çalışmaktadır. Tekrarlanan gerilmeler altında çalışan metalik parçalarda, gerilmeler parçanın statik dayanımından küçük olmalarına rağmen belirli bir yineleme sayısı neticesinde çoğunlukla yüzeyde bir çatlamaya ve bununla birlikte yorulma adı verilen kopmaya neden olurlar. [1]

Yorulma test makinelerinin en temel özelliği test sırasında istenen şekilde ve mertebede gerilme oluşturulabilmektedir. Test sırasında, uygulanan ağırlıkta oluşacak değişim, makinenin %2'lik kritik çalışma kapasitesini aşmaması gerekir. Makinelerde uygulanan basınçların kontrolünü ve de değişimini gösterecek düzeneğin bulunması gerekir.[1]

Yorulma özellikleri tamamen malzemenin kendine özgü özelliklerinden değil numunenin özelliklerinden de etkilenmektedir. Numunenin işlenmesi esnasında oluşan mikro boşluklar ve yüzey kusurlarının hepsi deney numunesinin yorulma özelliklerini etkiler [2]

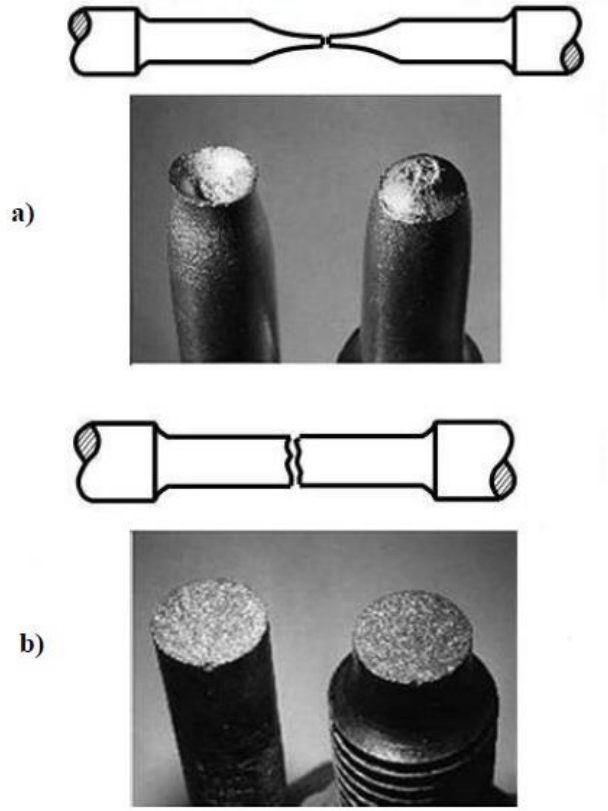
2. YORULMA HASARI VE YORULMA TEST CİHAZLARI

Değişken zorlamalar altında malzemenin iç bünyesinde meydana gelen ve kopasına yol açan değişikliklere "yorulma" denir. Ancak değişken zorlamaların darbeli veya dinamik zorlamalardan ayırt edilmesi gerekir. Değişken zorlama yükün veya gerilmenin zamana göre yönünü veya değerini değiştirdiği zorlamadır. Darbeli zorlama ise, yükün ani olarak uygulandığı zorlamadır. Her iki zorlamada malzemenin iç bünyesinde meydana gelen ve kopmasına yol açan değişiklikler farklıdır [3].

Deneysel çalışmalarda, malzeme yavaşça artan yükler altında test edildiğinde, belirli bir sınır gerilmede dayanımı sona erip kopmaktadır. Bulunan bu gerilme değerine, malzemenin statik dayanımı denir [1].

Ancak aynı malzemeyi, zorlayan gerilme değerleri zaman ile farklılık gösterirse, malzeme çekme deneyindeki kopma değerinin altında bir gerilmede, Sünek de olsa plastik şekil değiştirmeden kırılması olayına yorulma denir [1].

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 2.1. a) Sünek malzeme b) Gevrek malzeme [1]

2.1. Yorulma Deneyi Test Cihazları

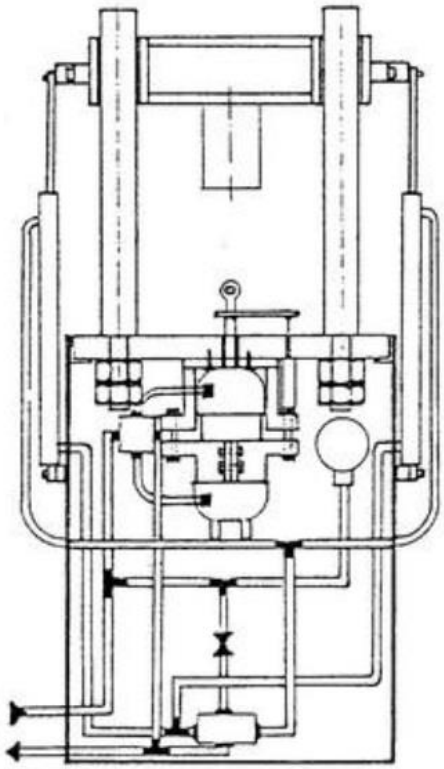
Günümüzde metallerde yorulmayı inceleyen cihazlar sabit frekanslı veya değişken frekanslı olarak yapılmaktadırlar. 10^4 devire kadar yorulma ömrünü veren zorlamalarda, genellikle yassı numuneler ve 500 dev./dak.'lık frekansa sahip cihazlar kullanılmaktadır.10^6 veya daha fazla devire kadar yorulma ömrünü veren zorlamalarda da genellikle yüzeyleri eksene paralel parlatılmıĢ yuvarlak deney çubukları ve 15000 dev./dak.'ya 19 kadar olan frekanslar seçilebilir. Genellikle sabit frekanslı ve yuvarlak deney çubuklarıyla yapılan yorulma deneylerinde ~ 3000 dev./dak.' lık frekans seçilir. 10^6 devirden fazla yorulma ömrü içerisinde olan zorlamalar için çelikler, 10 7 devirden fazla yorulma ömrü veren zorlamalar için de alüminyum gibi yumuşak metaller seçilir [4].

Yorulma deney cihazlarını, endüstriyel ve laboratuvar amaçlı cihazlar olarak genelde ikiye ayırmak mümkündür. Bu cihazlarda yorulma zorlamasını veren frekanslar, büyük kütleli malzemeler için çevresel eğme ve burma zorlaması şeklinde, yassı parçalar da ise eksenel eğme gibi zorlamalar uygulanmaktadır. Endüstriyel amaçlı cihazlar; bitmiş, hizmete sunulmuş iş veya ürünler üzerinde yorulma dayanımını tespit etmeye çalışırlar. Laboratuvar amaçlı cihazlar deney çubukları üzerindeki çalışmaları belirlerler[4].

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2.1.1. Endüstriyel Amaçlı Yorulma Deney Cihazları

Bu tür cihazlar; otomobillere, uçaklara ve makine parçalarına veya diğer hizmete sunulmuş ürünler üzerinde istenilen kısımlara sabit veya değişken frekanslar tatbik ederek, çelik parçalarda 10^4 , 10^5 ; kaplama ve ısıl işlem gibi özel işlem görmüş ürünlerde ise 10^6 ve 10^7 gibi çevrim sayılarına ulaşılmaya çalışılır. Bu ürünler üzerinde sonradan yapılan tahribatsız malzeme muayeneleri ile yorulma çatlağının oluşup oluşmadığı araştırılır ve sonuçlar değerlendirilir. Bu makineler; çevresel ve eksenel eğme, basma ve çekme gibi etkileri numunelere tek tek ya da beraber tatbik etme özelliğindedirler. Hatta PC ile bağlandıklarından tatbik edilen zorlamaların büyüklüğüne ve özelliğine göre grafikler çizilerek değerler saptanarak değerlendirme yapılır [4]. Şekil 3.6'da düşük frekanslı, elektro hidrolik tahrikli bir yorulma test cihazı görülmektedir. Tekrarlanan gerilme ve titreşimler otomotiv ve uçak endüstrisindeki parçalar ile makine parçalarının pek çoğunda yorulma sonucu mekanik hasarlar meydana getirmektedir. Malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için uygulama sonucu elde edilebilecek ölçüm sonuçlarına ihtiyaç vardır. Dolayısıyla sözü edilen ölçümler de ancak bu tür test cihazları kullanılarak sağlanabilir.



Görsel 2.1. Yorulma test cihazının genel görünüşü [5]

Sistem bir çerçeve, bu çerçeveye oturtulmuş bir tabla, bu tablaya bağlı iki düşey sütun ve bu sütunların üzerinde yatay durumda bulunan askı kirişinden oluşmaktadır. Tahrik pistonu tablaya bağlıdır. Numuneyi kavrayan çenelerden birisi piston koluna bağlı, diğeri ise askı kirişine bağlıdır. Dolayısıyla numuneye uygulanan kuvvetin reaksiyonu tabla, düşey sütunlar ve askı kirişinin oluşturduğu yapı tarafından taşınmaktadır. Tablanın oturduğu çerçeve ise sadece taşıma görevini üstlenmektedir [5].

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2.1.2. Laboratuvar Amaçlı Yorulma Deney Cihazları

Bu cihazlarla, belirli malzemelerden yapılmış numune deney parçalan üzerinde yorulma ile ilgili eksenel eğme ve çevresel eğme gibi zorlamalar tatbik edilerek kullanılan malzemenin yorulma dayanımı hakkında bilgiler edinilmeye çalışılır. Yorulma testinde kullanılan fazla seçenekli makineler olmasına karşın, bu makineleri; numuneye uygulanan gerilme çeşitleri yönünden dört temel başlıkta toplanabilir;

1. Eksenel çekme basma gerilmeleri uygulayan cihazlar
2.Eğme gerilmeleri uygulayan cihazlar
    2.1.Dönen eğme gerilmesi uygulayan cihazlar
    2.2.Düzlemsel eğme gerilmesi uygulayan cihazlar
    2.3.Sabit eğme momentli cihazlar
    2.4. Ankastre kiriş türü (çevresel eğme) cihazlar
3.Burulma gerilmesi uygulayan cihazlar
4.Bileşik gerilme uygulayan cihazlar

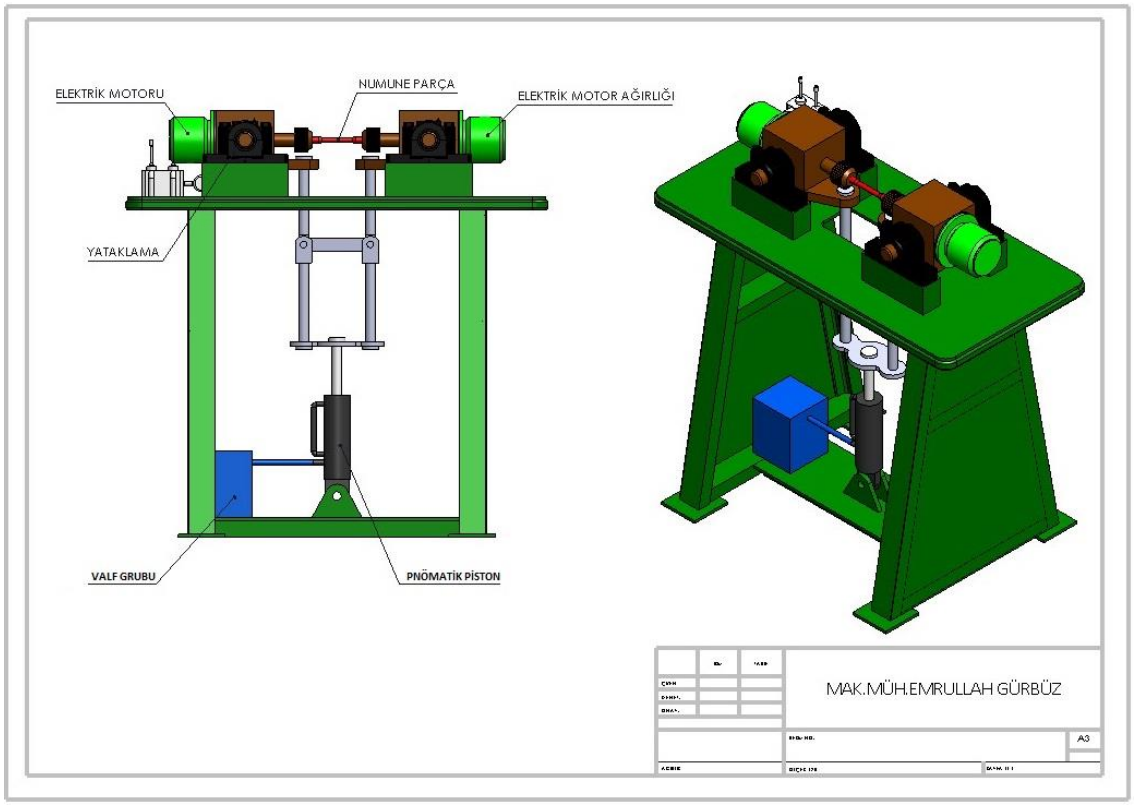
Yukarıda belirtilen her bir grup için değişik araştırma merkezleri ve firmalarca farklı cihazlar geliştirilmiştir. Bu cihaz grupları içerisinde en fazla tercih edileni eğme gerilmesi uygulayan cihazlar, çalışma prensibi en basit olanlardır [1].

3. YORULMA TEST CİHAZI TASARIMI

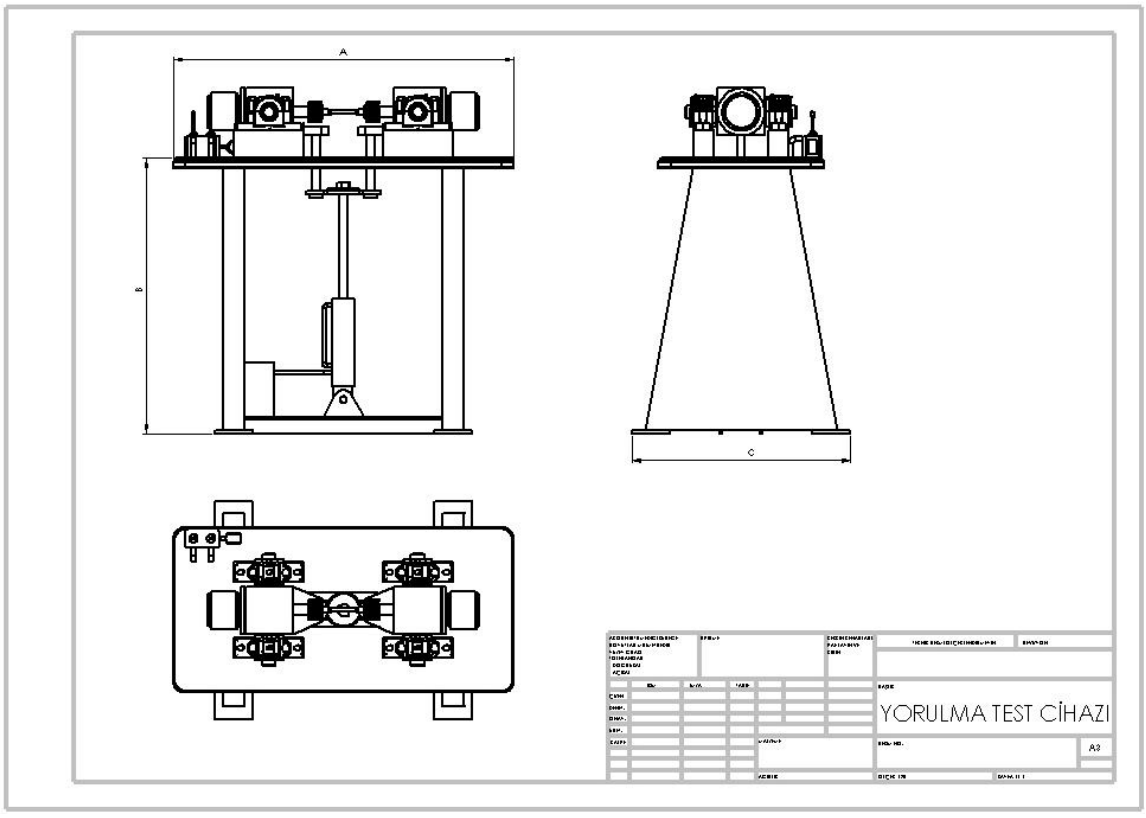
Döner Eğilmeli Test Cihazı devir ayarlayıcısına ve motora aynı anda gelen elektrik enerjisi, devir ayarlayıcı vasıtasıyla istenilen devirde motora bağlanmış olan mili harekete geçirir. Burada numune parçamız her iki kısımda aynı yataklama sistemine ve ağırlığa sahip mekanizmaya mandrenler vasıtasıyla bağlanır. Yataklama kısımlarının altından hidrolik basınç verilerek malzeme dönme işlemi yaparken aynı sırada da aşağı doğru çekmeye zorlanır. Böylelikle malzeme zamanla farklı basınçlar ve zaman sonrasında yorularak kırılma işlemini gerçekleştirir. (Görsel 3.1.- 3.3.)

Görsel 3.1. Döner eğmeli yorulma test cihazı tasarımı 3B görünüş

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 3.2. Döner eğmeli yorulma test cihazı tasarımı ön görünüş



Görsel 3.3. Döner eğmeli yorulma test cihazı tasarımı üç görünüş

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

5. SONUÇLAR

Gerekli literatür çalışması yapıldıktan sonra yeni pinomekanik tip döner eğmeli yorulma test cihazımızın tasarım ve hesaplama aşamalarını bitirdik ve imalat işlemine hazır hale getirdik. Bu tezgâhımızın inovatif anlamda geçmişlerine kıyasla farklı çalışma şekillerine imkân sağladığını gözlemledik. Bunlardan en önemlisi değişken yüklemeler yaparak deney malzemelerinin pratikte karışılacağı ölçüde değerlere yakın sonuçlar bulmaya imkân sağlamaktadır. Tezgâh çeşitli şekillerde kullanılarak basınç altında mil vb. malzemelerin yorulma ve ömür çalışmalarında yardımcı olabilecek bir tezgâh olarak tasarlanmıştır.

KAYNAKLAR

[1] **Salman, K., "**Yeni tip döner eğilmeli yorulma test cihazının tasarlanması" Yüksek lisans tezi, Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Ana Bilim Dalı, Bingöl, (2017)

[2] **Er, M.,** "Yüksek Frekanslı, Genlik Ayarlı Eğilme Yorulması Test Cihazı Tasarımı Ve 1100-H14 Alüminyum Levhasının Eğilme Yorulması Davranışının İncelenmesi" Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek lisans tezi, (2006)

[3] **Sakin, R.,** " Bilgisayar destekli , çok numuneli eğilme yorulması test cihazı tasarımı ve cam-fiber takviyeli polyester kompozitlerde eğilme yorulması davranışının incelenmesi," Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü , Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Balıkesir, (2004).

[4] **Saka, F.,** " Yorulma Deney Cihazı Projesi ve İmalatı." Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (1993)

[5] **Akdoğan, G.,** " Elektro hidrolik Tahrikli, Düşük Frekanslı Bir Yorulma Test Cihazının Tasarım Ve İmalatı." Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri, Enstitüsü, (1989)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

RHEOLOGICAL CHARACTERİZATION AND HEAT HISTORY-DEPENDENT SERVICE LIFE OPTIMIZATION OF HYBRİD SILICONE CURING BLADDERS USED IN COMMERCIAL VEHICLE CABIN AIR SPRING MANUFACTURING

ERTUĞRUL MEMİŞ[1]

[1]Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Polimer Malzeme Mühendisliği -
[1,2]PEGA Otomotiv Süspansiyon Sistemleri A.Ş., Ar-ge Laboratuvarı
ertugrulmemis95@gmail.com - 0000-0002-9134-4030

Doç. Dr. HASAN KASIM[2]

[2]Materials Processing and Applications Development (MPAD) Department of Mechanical and Materials Engineering, The University of Alabama at Birmingham (UAB),
hskasim@gmail.com - 0000-0002-3024-5207

ABSTRACT

The manufacturing process of air suspension systems (air springs), which ensure ride comfort and safety in commercial vehicles, relies directly on the thermomechanical stability of silicone curing bladders acting as a critical interface between the product and the heat source during vulcanization. In this study, a root cause analysis was performed for premature service life termination and geometric deformation problems observed in hybrid polymer bladders featuring a distinct architecture of 30 Shore A hardness in the neck region and 50 Shore A in the body region. The thermal oxidative degradation and consequent loss of viscoelastic performance induced by the current industrial supply chain parameters of 175°C and 9 minutes were investigated in detail. In the experimental methodology, the vulcanization kinetics (T_{90}, T_{s2}, S'_{max}) of the material were characterized using Moving Die Rheometer (MDR) analysis under 175°C isothermal conditions in accordance with ASTM D5289. The obtained data demonstrated that the optimum crosslink density saturation (T_{90}) was reached at only 1.43 minutes. This finding substantiates that the industrial 9-minute production cycle subjects the material to excessive thermal loading (over-cure) approximately six times longer than the optimum duration, triggering irreversible aging mechanisms within the polymer chains. To validate this hypothesis, samples with a more controlled heat history (180°C, 5 min) compared to the supplier process were prepared in a laboratory environment and subjected to mechanical

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

tests according to ASTM D412. The results revealed that these reference samples exhibited significantly higher elongation at break values (851% for the Neck, 545% for the Body) compared to the performance loss associated with the supplier's process. Consequently, the study proposes reducing the vulcanization time to the 3-minute range. This optimization is predicted to not only extend service life by preserving the elastic modulus but also minimize energy consumption in the production cycle, thereby achieving a sustainable manufacturing process.

Anahtar Kelimeler : Silicone Bladder, Rheological Analysis, Vulcanization Kinetics, Over-Cure, Process Optimization.

TİCARİ ARAÇ KABİN HAVA SÜSPANSİYON SİSTEMLERİ ÜRETİMİNDE KULLANILAN HİBRİT SİLİKON VULKANİZASYON TORBALARININ REOLOJİK KARAKTERİZASYONU VE ISIL GEÇMİŞE BAĞLI SERVİS ÖMRÜ OPTİMİZASYONU

ERTUĞRUL MEMİŞ[1]

[1]Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Polimer Malzeme Mühendisliği -
[1,2]PEGA Otomotiv Süspansiyon Sistemleri A.Ş., Ar-ge Laboratuvarı
ertugrulmemis95@gmail.com - 0000-0002-9134-4030

Doç. Dr. HASAN KASIM[2]

[2]Materials Processing and Applications Development (MPAD) Department of Mechanical and Materials Engineering, The University of Alabama at Birmingham (UAB),
hskasim@gmail.com - 0000-0002-3024-5207

ÖZET

Ticari araçlarda sürüş konforu ve güvenliği sağlayan hava süspansiyon sistemlerinin (air springs) imalat süreci, vulkanizasyon aşamasında ürün ile ısı kaynağı arasında kritik bir arayüz görevi gören silikon torbaların (curing bladders) termomekanik stabilitesine doğrudan bağlıdır. Bu çalışmada, boyun bölgesinde 30 Shore A, gövde bölgesinde 50 Shore A sertliğe sahip hibrit polimer mimarisiyle üretilen silikon torbalarda gözlemlenen erken servis ömrü sonlanması ve geometrik deformasyon problemlerinin kök neden analizi gerçekleştirilmiştir. Mevcut tedarik

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

zinciri sürecinde uygulanan 175°C ve 9 dakika kürlenme parametrelerinin, materyalin viskoelastik özellikleri üzerinde oluşturduğu termal oksidatif bozunma ve performans kaybı detaylı olarak incelenmiştir. Deneysel metodolojide, ASTM D5289 standardı uyarınca 175°C izotermal koşullarda gerçekleştirilen Hareketli Kalıp Reometresi (MDR) analizleri ile malzemenin vulkanizasyon kinetiği (T_{90}, T_{s2}, S'_{max}) karakterize edilmiştir. Elde edilen veriler, optimum çapraz bağlanma yoğunluğuna (T_{90}) henüz 1.43 dakikada ulaşıldığını göstermiştir. Bu bulgu, endüstriyel üretimde uygulanan 9 dakikalık döngünün, materyali optimum sürenin ötesinde aşırı termal yüklemeye (over-cure) maruz bıraktığını ve polimer zincirlerinde geri dönüşümsüz yaşlanma mekanizmasını tetiklediğini kanıtlamaktadır. Hipotez doğrulaması için laboratuvar ortamında, tedarikçi prosesine kıyasla daha kontrollü ısıl geçmişe sahip (180°C, 5 dk) numuneler hazırlanmış ve ASTM D412 standardına göre mekanik testlere tabi tutulmuştur. Sonuçlar, optimize edilmiş numunelerin, mevcut proses ürünlerine kıyasla Boyun bölgesinde %851, Gövde bölgesinde %545 gibi belirgin şekilde daha yüksek kopma uzaması değerlerine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Çalışma sonucunda, vulkanizasyon süresinin reolojik verilere uygun olarak 3 dakika bandına indirgenmesiyle; hem materyalin elastik modülünün korunarak servis ömrünün artırılacağı hem de üretim döngüsündeki enerji tüketiminin minimize edilerek sürdürülebilir bir proses elde edileceği öngörülmüştür

Anahtar Kelimeler : Silikon Torba, Reolojik Analiz, Vulkanizasyon Kinetiği, Aşırı Pişme, Proses Optimizasyonu.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

ENDÜSTRİYEL PİŞİRME FIRINLARINDA AKIŞ HOMOJENİZASYONU YOLUYLA ISIL PERFORMANSIN İYİLEŞTİRİLMESİ- DENEYSEL DOĞRULAMALI CFD YAKLAŞIMI

Doktora Öğrencisi, Remzi TİMUR
Yıldız Teknik Üniversitesi, remzi.timur@std.yildiz.edu.tr - 0000-0002-0133-4243
Doç. Dr. Zafer GEMİCİ
Yıldız Teknik Üniversitesi, zgemici@yildiz.edu.tr - 0000-0002-0716-9234
Prof. Dr. Şevket Özgür ATAYILMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi, atayil@yildiz.edu.tr - 0000-0001-6135-3369

ÖZET

Bu çalışma, endüstriyel pişirme fırınlarında akış homojenliğini sağlayarak ısıl performansı artırmayı hedefleyen, deneysel olarak doğrulanmış bir CFD yaklaşımı sunmaktadır. Deneysel ölçümler, ısıtıcılar kapalı iken ≈ 25 °C ortam koşulunda, sirkülasyon fanı 1488 rpm hızda ve saat yönünde çalışırken gerçekleştirilmiştir. Her tepsi düzleminde 7 derinlik noktası olmak üzere 10 tepsi üstü, artı 1 tepsi altı düzlemde toplam 77 noktada hız ölçülmüştür. Aynı sınır şartları ile problem nümerik olarak izotermal RANS, SST k–ω türbülans modeli ve MRF rotor bölgesi kullanılarak çözümlenmiştir. Nümerik modelde kullanılan ağ kritik bölgelerde artan sınır tabaka katmanları içeren ≈ 36,3 milyon hücre içermektedir. Toplam ortalama hızlar CFD'de 5,47 m/s, deneyde 4,52 m/s bulunmuş olup, CFD sonuçlarında %17,4 (deneylerde %21,0) fark elde edilmiştir. Literatürde raporlanan fırın içi akış–ısı alanı modelleme/doğrulama sonuçları, doğru model tercihleriyle sıcaklık ve akış dağılımlarının güvenilir biçimde öngörülebildiğini ve saptırıcı/kapak/delik geometrisi, çıkış dağıtımı ve yükleme paterni gibi tasarım parametrelerinin homojenliği anlamlı düzeyde iyileştirebildiğini göstermektedir. Doğrulanmış model, fan kapağı açıklığı, saptırıcı/akış-ayırıcı geometrisi ve tepsi aralığı gibi değişkenler üzerinde simülasyon tabanlı hızlı iyileştirme olanağı sağlayarak zaman ve maliyeti azaltır; akışı homojen hale getirir ve dolayısıyla ısıl performansı yükseltir.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel pişirme fırını; akış üniformitesi; deneysel validasyon; CFD; SST k–ω; MRF; ısıl performans.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Çizelge 1. Kısaltmalar ve Açıklamaları

Kısaltma	İngilizce Açılım	Açıklama
CFD	Computational Fluid Dynamics	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
RANS	Reynolds-Averaged Navier–Stokes	Zaman ortalamalı Navier–Stokes yaklaşımı
SST k–ω	Shear Stress Transport k–omega	SST k–ω türbülans modeli
MRF	Multiple Reference Frame	Çoklu Referans Çerçevesi yöntemi
DO	Discrete Ordinates (Radiation Model)	Ayrık Yönler radyasyon modeli
CHT	Conjugate Heat Transfer	Birleşik (katı-akışkan) ısı geçişi
y+	Non-dimensional wall distance	Boyutsuz duvar uzaklığı
GN 1/1	Gastronorm 1/1	Standart gastronom tepsi/küvet ölçüsü
rpm	revolutions per minute	Dakikadaki devir sayısı
3B	3D (Three-Dimensional)	Üç boyutlu
PIV	Particle Image Velocimetry	Parçacık görüntülemeli hız ölçümü
LDV	Laser Doppler Velocimetry	Lazer Doppler hız ölçümü
RMSE	Root Mean Square Error	Kök ortalama kare hata
MAPE	Mean Absolute Percentage Error	Ortalama mutlak yüzde hata
R^2	Coefficient of Determination	Belirleme katsayısı
P10–P90	10th–90th Percentiles	%10–%90 yüzdelikleri
ΔT	Temperature Difference	Sıcaklık farkı
XY	XY-plane	XY düzlemi (plan kesit)
YZ	YZ-plane	YZ düzlemi (yan kesit)

1. GİRİŞ

Endüstriyel pişirme fırınlarında ürün kalitesi, proses tekrarlanabilirliği ve enerji verimliliği, iç hacimdeki hız/sıcaklık alanlarının üniformitesine doğrudan bağlıdır. Fan jetleri, baffle/kapak delik dizilimleri, tepsi engellemesi ve radyasyon–konveksiyon etkileşimi; iç hacimde yeniden dolaşım, ölü akım ve soğuk/sıcak zonlar oluşturarak pişirme performansında tutarsızlıklara yol açabilir [1–3]. Zonsal küçük ölçekli fırınlarda RANS tabanlı modeller ve gerçekçi sınır şartları ile sıcaklık alanlarının deneyle uyumlu tahmini ve impingement jetleri → yeniden dolaşım ilişkisi gösterilmiştir [1]. Elektrikli fırınlarda farklı radyasyon modelleri karşılaştırılarak DO modelinin ürün içi ısıl yanıtla daha iyi uyum verdiği; duvarlara yakın düşük hız–soğuk zonların oluşabildiği raporlanmıştır [2,3].

Yakın tarihli çalışmalar, geometri/işletme optimizasyonu ile üniformitenin anlamlı biçimde artırılabildiğini göstermektedir: çok amaçlı evrimsel optimizasyonla büyük ısıl işlem fırınında

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

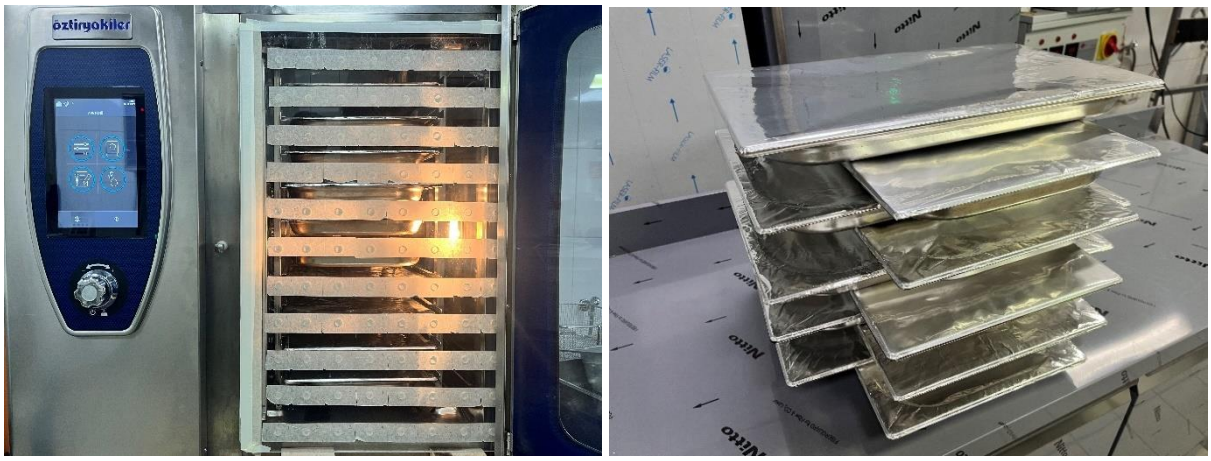
ısıtıcı yerleşimi değiştirilerek yüzey–merkez ΔT farkları ve bloklar arası sapmalar düşürülmüş; yükleme paterni/skid geometrisi üzerinde yapılan CFD+deney çalışmasıyla sıcaklık düzensizliği %32 azaltılmış ve ikamet süresi %15,5 iyileştirilmiştir [6,7]. Zorlanmış konveksiyonlu pişirme fırınında kuyruk kapak/çıkış dağıtımının ve hava debisinin yeniden düzenlenmesiyle sıcaklık üniformitesi belirgin şekilde yükseltilmiş; tünel tip fırında ölçümle doğrulanan CFD sonuçlarında maksimum ~%7,6 fark raporlanmıştır [4,5]. Bu eğilim, gıda süreçlerinde CFD'nin ısıl süreçlerin optimizasyonunda enerji tüketimi ve kalite hedeflerine birlikte hizmet ettiğini gösteren derlemelerle de desteklenir [13] [4–7, 13].

Bu literatür çerçevesinde, deneysel validasyonlu CFD kullanarak endüstriyel pişirme fırınımızın akış alanını izotermal koşulda karakterize ediyor, eş-konumlu hız ölçümleriyle model güvenirliğini nicel olarak ortaya koyuyoruz. Amaç, akış homojenliğinin artırılması yoluyla ısıl performansı yükseltmek ve tasarım kararlarını in-silico platformda hızlı/maliyet-etkin biçimde desteklemektir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Deneysel Düzenek ve Ölçüm Prosedürü

Deneylerde GN 1/1 ölçülerinde, 10 tepsili endüstriyel elektrikli kombi fırın kullanılmıştır. İç hacim, tepsi kanalları ve fan–muhafaza bölgesi özgün yapısına sadık kalınarak korunmuştur. GN 1/1 boyutlarında ve 40 mm derinliğe sahip 10 adet gastronom tepsi, dolu tepsi koşulunu temsil etmek üzere üst yüzeyleri (kapak kapanma hattı) alüminyum folyo ile sızdırmaz biçimde kapatılmıştır; böylece yüklenmiş tepsi üzerindeki akışın deneysel simülasyonu sağlanmıştır (Görsel 1).



Görsel 1. Endüstriyel Pişirme Fırını ve Alüminyum Folyo ile Kapatılmış GN 1/1 Gastronom Küvetler

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

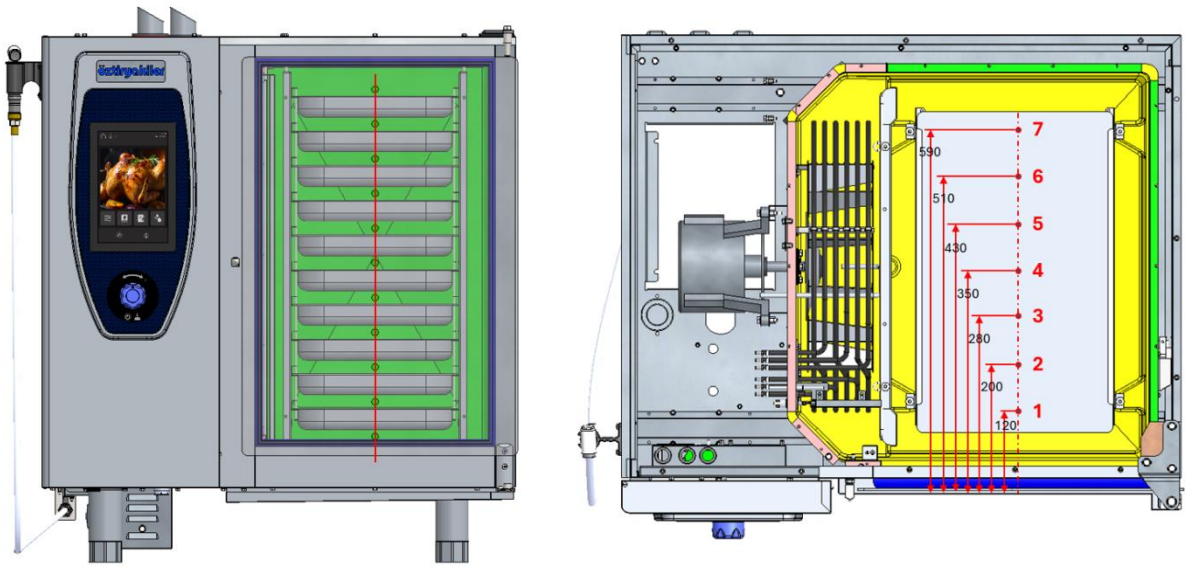
Orijinal kapı, akış alanının gözlenmesi ve prob erişiminin kontrollü biçimde sağlanması amacıyla sızdırmaz biçimde monte edilmiş 6 mm pleksiglas plakasıyla değiştirilmiştir. Pleksi panel üzerinde, önceden belirlenen koordinatlarda ölçüm delikleri açılmış; kapı çevresi sızdırmazlık folyosu ile takviye edilerek kaçak akış olasılığı azaltılmıştır (Görsel 2). Delik geometrileri, prob geçişinde boşluk etkisini en aza indirmek ve yerel akış bozulmasını sınırlamak üzere seçilmiştir.

Görsel 2. Akış Hızı Ölçümleri için Hazırlanmış Test Düzeneği

Hız alanı, her tepsi düzleminde derinlik doğrultusunda 7 nokta olacak şekilde örneklenmiştir. Toplamda 10 tepsi düzlemi ile 1 alt düzlem değerlendirilmiş ve böylece 77 nokta için veri toplanmıştır (Görsel 3). Noktalar, tepsi kanal açıklıkları, fan çıkışı etkisi ve geri dönüş recirculation bölgelerini temsil edecek şekilde, kabin içi karakteristik hatlar boyunca dağıtılmıştır.

Noktasal hız ölçümleri, kalibrasyonu yapılmış Testo 425 teleskopik termal anemometre ile gerçekleştirilmiştir. Prob eksenlenmesi ve tekrarlanabilir yerleşim için 3B yazıcı ile üretilmiş merkezleme/hizalama aparatı kullanılmış (Görsel 4). İzotermal haritalama amacıyla, ≈ 25 °C ortam koşullarında, ısıtıcılar kapalı iken fan 1488 rpm hızda saat yönünde çalıştırılmıştır. Bu konfigürasyon, konvektif alanı termal gradyenlerden bağımsız olarak karakterize etmeyi hedefler; ayrıca literatürde türbülans–impingement–yeniden dolaşım etkilerini ayırt etmede önerilen yaklaşımlarla uyumludur [1–3, 11].

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

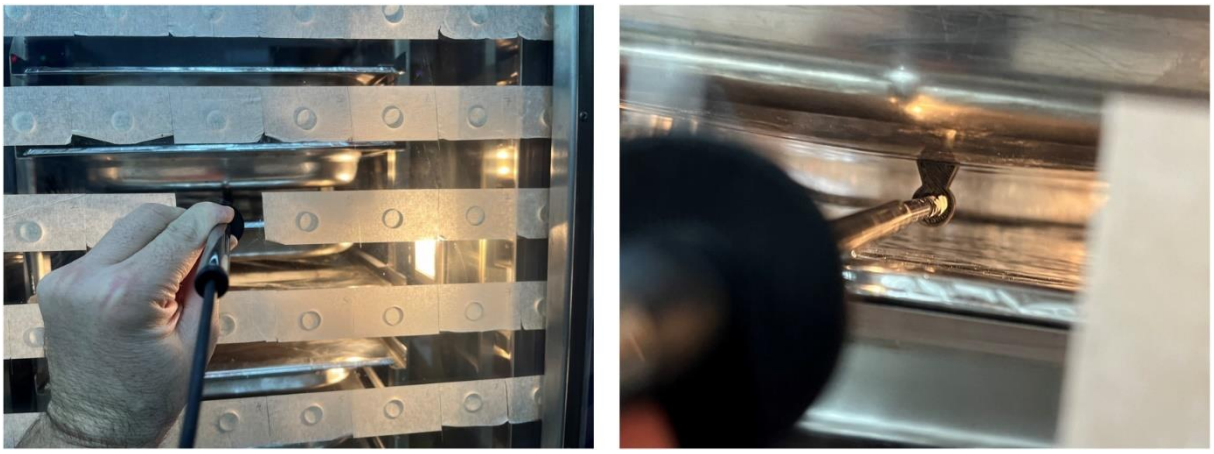


a) Önden Görünüş b) Üstten Görünüş

Görsel 3. Ölçüm Noktaları: a) Tepsilerin Üst-Orta Noktalarından Dikey Ölçüm Noktası. b) Her Bir Tepsi için Derinlemesine Yatay Ölçüm Noktaları.

Deney başlamadan önce kabin içi akış rejiminin kararlı duruma ulaşması için sistem belirli bir süre çalıştırılmıştır. Her bir ölçüm noktasında:

- Merkezleme aparatı ile prob deliğe kılavuzlanmış ve ölçüm konumuna sabitlenmiştir.
- Prob algılama ekseni, yerel akış doğrultusuna hizalanmıştır.
- Okuma stabilizasyonu sağlandıktan sonra değer kaydedilmiştir. Gerekli olduğunda tekrarlı okumalar alınmış ve ortalama değer kullanılmıştır.
- Prob çıkarımı, akış bozunumunu en aza indirecek şekilde yapılmış ve sıradaki noktaya geçilmiştir.



ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Görsel 4. Ölçüm Merkezleme Aparatı Kullanılarak Termal Anemometre ile Alınan Ölçümler

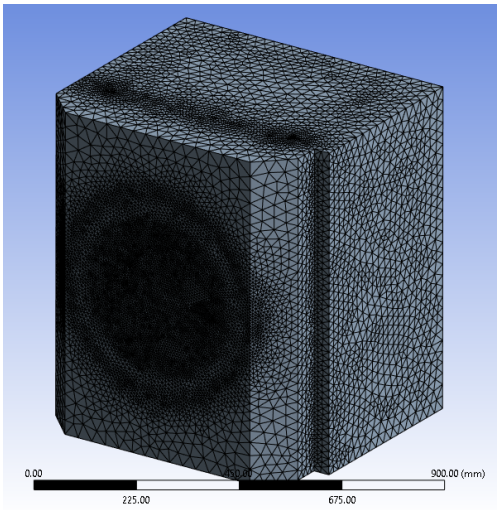
Ölçümler alt düzlemden üst tepsilere doğru ilerleyen bir sıra ile alınmış ve tüm noktalarda aynı çalışma koşulu korunmuştur. Ölçüm sırasında herhangi bir sızdırmazlık problemi veya beklenmedik akış kaçakları gözlenmemesi için pleksiglas ölçüm plakası çevresi ve delik contaları görsel olarak kontrol edilmiştir.

Ölçülen noktasal hız değerleri için tepsi bazlı aritmetik ortalamalar ile tüm kabini temsil eden küresel ortalama hesaplanmıştır. Noktasal hata karakterizasyonunda MAPE, RMSE ve R^2 gibi metrikler kullanılabilir; izotermal düşük hız bölgelerinde payda etkisi sebebiyle yüzdesel hataların şişebileceği hususu literatürde vurgulanmıştır [5, 10]. Deney–CFD karşılaştırmalarında, ölçüm koordinatlarının CFD ortamına tutarlı biçimde aktarılması sağlanmış ve örnekleme yalnızca eşdeğer noktalarda yapılmıştır. Bu izotermal haritalama, kabin içi konvektif alanın bağımsız olarak çözümlenmesine izin vererek, jet impingement, duvar yakın akışı ve recirculation bölgelerinin ayrıştırılmasına yönelik literatür yaklaşımıyla uyumludur [1–3, 11].

2.2. CFD Modeli ve Çözüm Ayarları

Deneysel fırın kabininin hacim çıkarımı SpaceClaim (2024 R1) üzerinde gerçekleştirilmiş. Ağ üretimi ANSYS Meshing (2024 R1) ile yapılmış ve nihai 3B ağ ≈ 36 335 028 hücre olacak şekilde oluşturulmuştur (Görsel 5). Duvar yakınındaki akış gradyenlerinin doğru yakalanması için inflation katmanları uygulanmış ve hedef eleman boyutları sırasıyla fan bölgesi ≈ 2,5 mm, tepsiler ≈ 3,2 mm, tepsiler arası bölge ≈ 3,0 mm, fan koruma sacı ≈ 4,0 mm ve fan muhafazası (enclosure) ile koruma sacı bileziği ≈ 1,3 mm olarak tanımlanmıştır. Ağ, duvar yakınında yeterli y^+ çözünürlüğünü hedefleyecek biçimde tasarlanmış; skewness ve ortalama hücre kalitesi kabul edilebilir sınırlarda doğrulanmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 5. 36 Milyon Hücreli Ağ (Mesh) Yapısı

Fiziksel model ve çözümleyici. Çözümler ANSYS Fluent (2024 R1) üzerinde, basınca dayalı, durağan RANS yaklaşımı ile yürütülmüştür. Türbülans modellemesinde, duvar yakın akış ve ayrılma bölgelerinde iyileştirilmiş performans sağlayan SST k–ω modeli tercih edilmiştir. Çalışma izotermal olduğundan enerji denklemi kapalı tutulmuştur. Fan etkisi, rotor bölgesinde MRF (Multiple Reference Frame) yaklaşımı ile modellenmiş ve rotor bölgesi 1488 rpm açısal hızda saat yönünde tanımlanmıştır.

Kabin ve bileşen yüzeylerinde no-slip duvar şartı uygulanmıştır. Kapı sızdırmazlığı ve fan dönüş yönü, deneysel konfigürasyon ile birbirine uyumlu olacak şekilde tanımlanmıştır. Giriş/çıkış sınırı bulunmayan kapalı kabin konfigürasyonunda, fan kaynaklı dolaşım alanı MRF ile temsil edilmiştir. Radyasyon modeli. Bu çalışmada radyasyon çözülmemiş, yalnızca konvektif alan karakterize edilmiştir. Elektrikli fırınlarda radyasyonun dominant olabildiği literatürde raporlanmıştır [2]; ilerleyen aşamalarda model CHT + DO ile genişletilerek ısıl alanın çok-fizikli çözümlemesi planlanmaktadır.

CFD hız alanı, deneyde kullanılan 77 nokta ile eşdeğer konumlardan örneklenmiş ve tepsi bazlı aritmetik ortalamalar ile küresel ortalama karşılaştırmaları yapılmıştır. Noktasal uyumun nicel değerlendirilmesi için MAPE, RMSE ve R^2 metrikleri hesaplanabilir; izotermal, düşük hız bölgelerinde payda etkisi nedeniyle yüzdesel hataların göreli olarak artabileceği hususu [5, 10] ile tutarlıdır. Örnekleme, RANS çözümünde artıkların kararlı düzeye ulaştığı ve makroskobik akış yapısının değişmediği durumda gerçekleştirilmiştir.

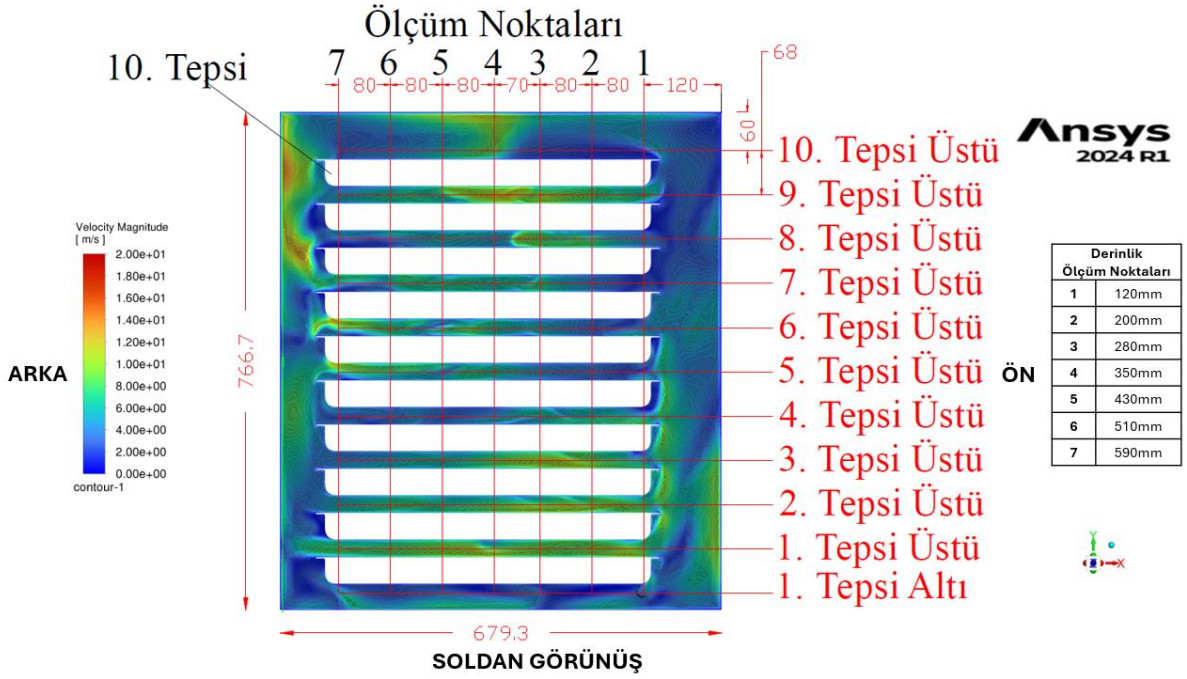
Deneysel koordinatların sayısal modele aktarımı için kabin içi referans düzlemler ve delik konumları CFD ortamında tanımlanmıştır. Örnekleme noktaları, prob erişim deliklerinin

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

izdüşümünde ve tepsi düzlemleri üzerinde konumlandırılarak deney–CFD karşılaştırmasının tutarlılığı sağlanmıştır. Bu sayede jet impingement bölgeleri, duvar yakın sınır tabaka ve geri dönüş recirculation alanları hem deneysel hem sayısal olarak eşlenebilir biçimde değerlendirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, izotermal deneysel ölçümler ile eş-konumlu CFD örneklemesi üzerinden endüstriyel kombi fırın içindeki akış alanını tepsi düzlemleri bazında doğrulamış ve tasarım kararlarına temel olacak nicel göstergeleri ortaya koymuştur. Deneyde tanımlanan 77 noktanın tamamı CFD ortamında aynı koordinatlarda örneklenmiş, karşılaştırma Görsel 6'da verilen ölçüm ağı ve Çizelge 1'deki sayısal sonuçlar üzerinden yürütülmüştür.



Görsel 6. CFD'den Elde Edilen Akış Hızlarının Okuma Noktaları (Ön: Kapı Tarafı)

Çizelge 2. CFD ve Deneysel Ölçüm Sonuçları

Ölçüm Noktalarının Pozisyonları		Ölçüm Noktalarına Göre Akış Hızları m/s							Tepsi Bazlı Ölçüm Noktalarının Ortalaması m/s
		1	2	3	4	5	6	7	
10. Tepsi Üstü	CFD	1,4	1,8	2,4	8,2	5,8	3,8	2,6	3,71
	Deneysel	1,84	2,1	2,49	4,02	3,24	2,23	3,11	2,72
9. Tepsi Üstü	CFD	6,6	7,8	9	10,4	6,2	6	4,6	7,23
	Deneysel	4,94	4,38	5,97	6,12	4,82	4,32	5,25	5,11

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

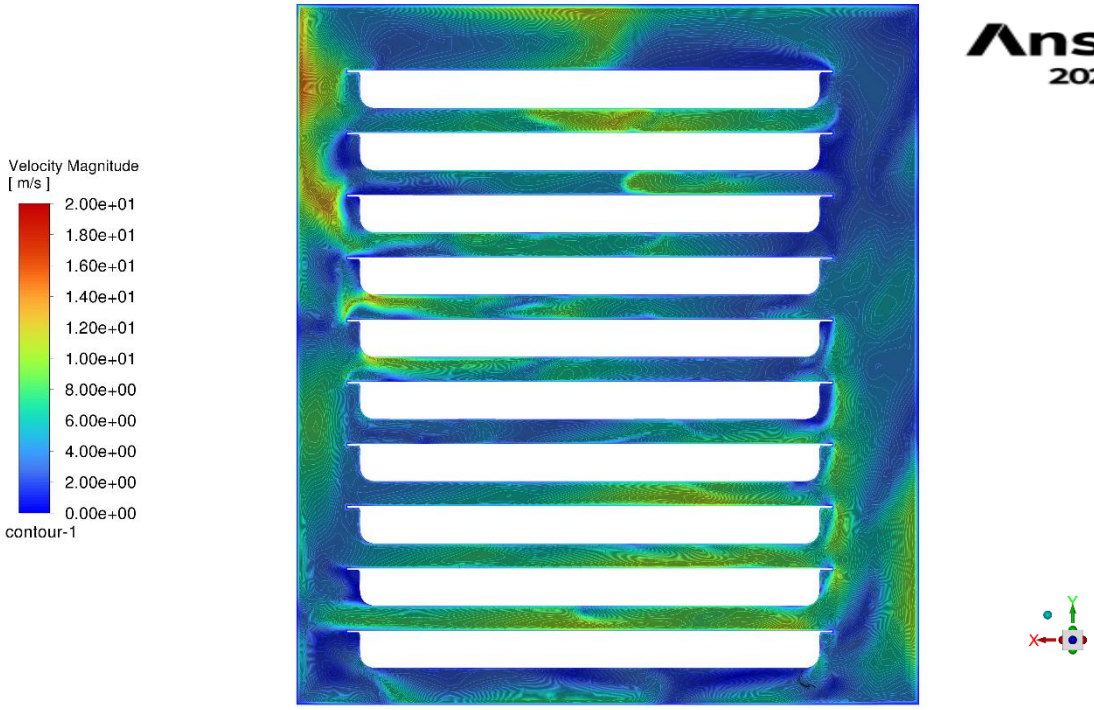
8. Tepsi Üstü	CFD	4	6,8	7,7	4,8	5,6	3,4	2,8	5,01
	Deneysel	3,32	3,51	3,86	3,4	3,84	3,63	3,34	3,56
7. Tepsi Üstü	CFD	2,2	4	7,2	6	6,8	5,4	5,6	5,31
	Deneysel	1,59	2,69	4,17	4,96	3,48	3,91	3,28	3,44
6. Tepsi Üstü	CFD	4	3	5,2	6,2	4,8	7,4	7,6	5,46
	Deneysel	2,12	2,45	2,48	3,68	5,35	7,32	5,43	4,12
5. Tepsi Üstü	CFD	2	3,6	4,6	6,2	4,4	6,8	5,6	4,74
	Deneysel	2,27	2,87	3,43	5,05	6,80	8,15	7,22	5,11
4. Tepsi Üstü	CFD	4,6	5,8	5,8	4,6	3	3,4	2,6	4,26
	Deneysel	2,98	4,17	4,94	5,87	5,18	4,75	4,79	4,67
3. Tepsi Üstü	CFD	4,9	8	9,6	7,8	5,8	5	3,6	6,39
	Deneysel	3,90	4,84	7,59	8,49	8,52	7,31	4,33	6,43
2. Tepsi Üstü	CFD	7,4	8,4	7,4	7,4	6,4	7	5,2	7,03
	Deneysel	4,53	5,17	6,46	5,38	4,85	5,47	4,91	5,25
1. Tepsi Üstü	CFD	7,8	8,6	8,6	7,6	9	7,8	7,4	8,11
	Deneysel	5,48	7,16	6,92	5,91	5,72	6,12	4,58	5,98
1. Tepsi Altı	CFD	3,8	0,4	3,4	2	3,4	2,4	5	2,91
	Deneysel	2,38	2,74	3,05	3,47	3,52	3,81	4,27	3,32

3.1. Deney–CFD Uyumunun Nicel Özeti

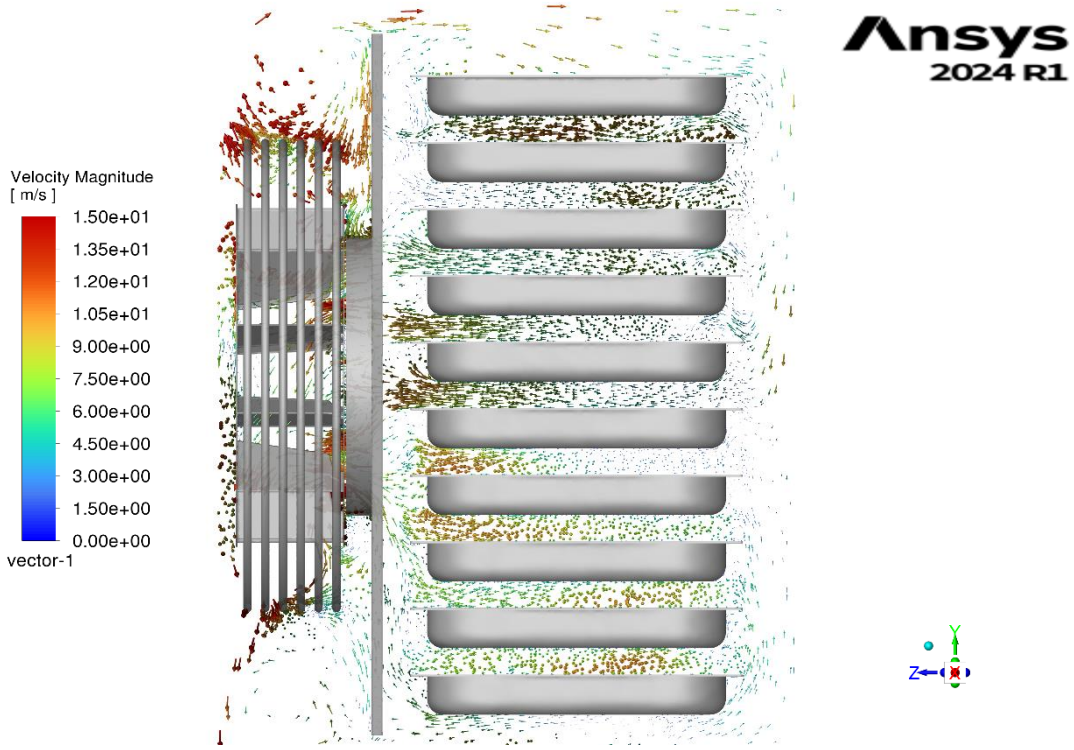
CFD'de 5,47 m/s, deneyde 4,52 m/s bulunmuştur; bu değerler CFD referanslı %17,4 (deneye göre %21,0) farkı işaret eder. Bu fark, fan çıkışı jet çekirdeği ve tepsi dudakları çevresindeki yüksek gradyenlerin CFD'de daha keskin temsili ile uyumludur.

Üst düzlemlerde jet yayılımı nedeniyle ortalamalar yükselirken; yeniden dolaşım (recirculation) alanlarına yakın noktalarda yerel sapmalar gözlenmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 7. CFD Simülasyonundan Elde Edilen XY Kesintindeki Hız Büyüklüğü (Velocity Magnitude) Alanı

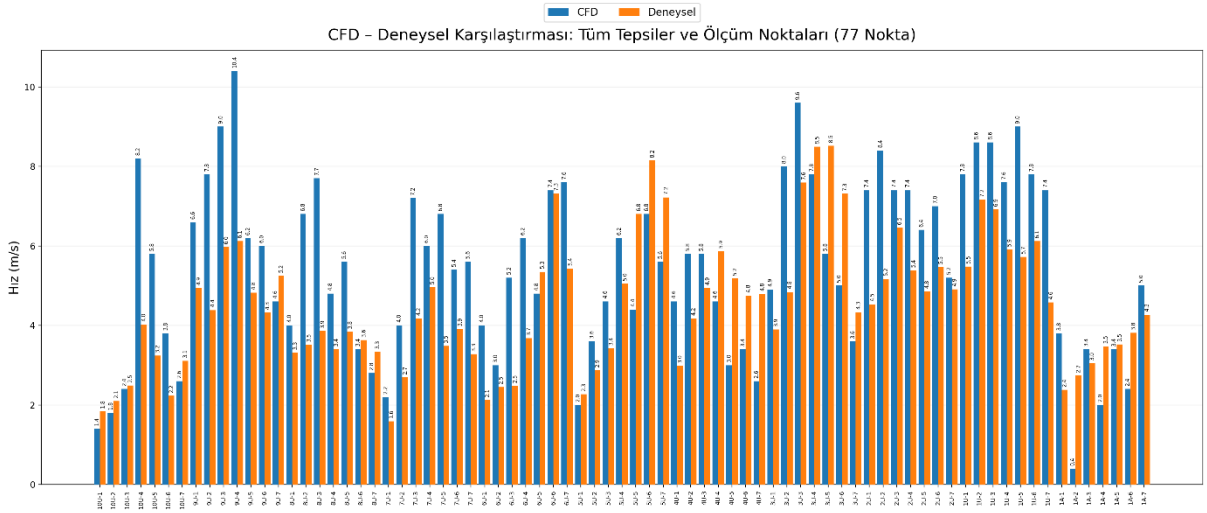


Görsel 8. CFD Simülasyonundan Elde Edilen YZ Eksinindeki Akış Çizgileri

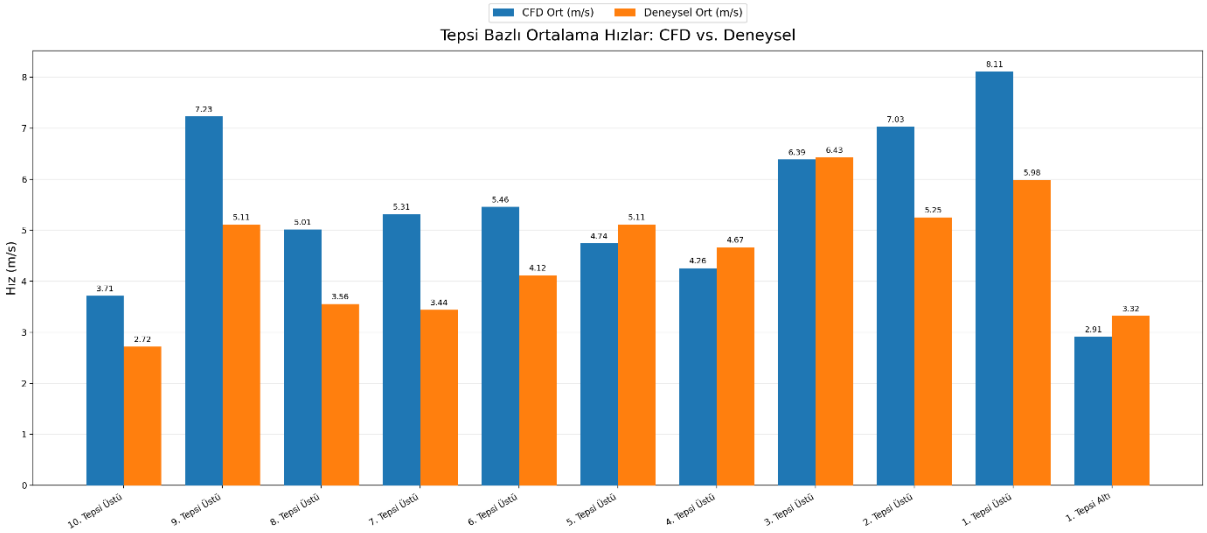
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Görsel 6–9 ve Çizelge 1 birlikte değerlendirildiğinde, kapı (Ön) ve arka panel yakınlarında sınır tabaka etkilerinin dağılımı belirginleşmektedir.

Ölçüm ızgarası ve derinlik hatları Görsel 6, plan-kesit hız büyüklüğü ve akış çizgileri Görsel 7–8, tepsi bazlı ortalamalar ve trend karşılaştırmaları Görsel 8–9 ve ayrıntılı sayısal değerler Çizelge 1'dedir.



Görsel 9. Tüm Tepsiler ve Ölçüm Noktaları için CFD-Deneysel Karşılaştırması



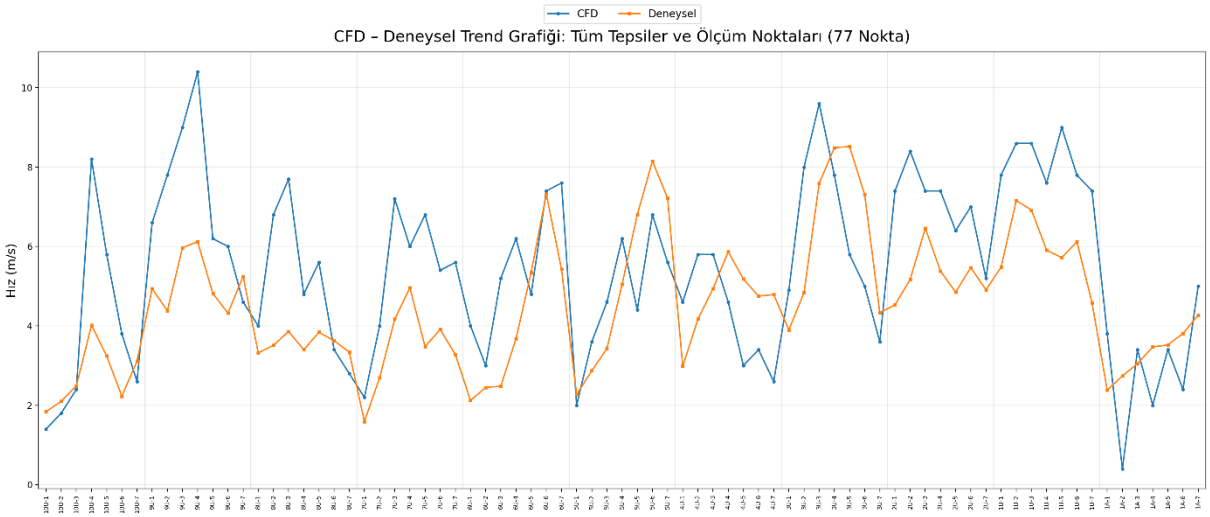
Görsel 10. Tepsi Bazlı Ortalama Akış Hızlarının Karşılaştırması

3.2. Akış Üniformitesi için Tasarım Çıkarımları

Doğrulanan CFD alanı, akış dağıtımını iyileştiren değişkenlerin etkisini düşük maliyet ve kısa sürede irdelemek için güvenilir bir temel sağlar. Kapak/çıkış dağıtımı, fan kapağı/koruma bileziği geometrisi ve tepsiler arası geçit açıklıkları; jet-impingement bölgelerini dengeleyip ölü bölgeleri azaltma potansiyeli taşır. Bu değişkenler üzerinde sanaldan gerçeğe geçmeden çoklu senaryo taraması yapılabilir. Yükleme paterni (folyo ile kapatılmış GN 1/1 tepsilerle

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

temsil edilen “dolu tepsi” durumu) esas alınarak, kanal-içi yıkama (sweeping) ve gölgeleme etkileri tepsi bazlı ortalama hız, varyasyon katsayısı ve P10–P90 yüzdelikleriyle izlenebilir; ısıtıcılar devreye alınmadan akış üniformitesindeki iyileşme yönü görülebilir.



Görsel 11. Tüm Tepsiler ve Ölçüm Noktaları için CFD-Deneysel Trend Grafiği

3.3. Mühendislik Kazanımları: Maliyet ve Zaman

Prototip sayısını azaltma: Deneysel olarak doğrulanmış CFD, çoklu tasarım adayını sanal ortamda eleyerek fiziksel numune sayısını düşürür; kritik bölgeleri Görsel 7–8 üzerinden hızlıca teşhis etmeyi sağlar.

Erken ısıl performans öngörüsü: İzotermal doğrulama sonrasında (enerji denklemi kapalı), CHT + DO genişlemesiyle ısı akısı ve ΔT dağılımlarının tahmini yapılabilir; böylece ürün daha piyasaya çıkmadan ısıl performans öngörülebilir. (Bu çalışma kapsamında öneri olarak belirtilmiştir.)

Kapı-arka panel dengesizliği, köşe recirculation cepleri ve tepsi dudaklarında hız gradyenleri gibi risk alanları erken safhada adreslenir; tekrarlı deneme-yanılma süresi kısalır.

3.4. Sınırlılıklar ve Gelecek Adımlar

Bu aşamada enerji denklemi kapalıdır; ısıl alanın tam karakterizasyonu için CHT + DO radyasyon modeli ile doğrulama planlanmaktadır.

Yüklü tepsiler için poroz ortam yaklaşımıyla akış sapmaları ve gölgeleme etkilerinin modellenmesi; PIV/LDV ile türbülans nicemlemesinin artırılması önerilmektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

4. SONUÇ

Bu çalışma, endüstriyel fırın içi akışın konum-bazlı (77 nokta) deneysel-CFD eşleştirmesi ile güvenilir biçimde doğrulanabildiğini göstermiştir. Küresel ortalama hızdaki ~%17–21 düzeyindeki fark, tepsi dudakları ve geçit bölgelerinde beklenen yüksek gradyenlerin temsiline ve noktasal ölçümün yerel hassasiyetine bağlanabilir olmakla birlikte, CFD'nin tasarım kararlarında güvenle kullanılmasına engel değildir.

Doğrulanmış CFD alanı; kapak/çıkış dağıtımı, fan kapağı/koruma bileziği ve tepsiler arası geçit açıklıkları gibi kritik tasarım parametrelerinde, ekstra prototip üretmeden, maliyet ve zaman kaybı oluşturmadan yinelemeli ve hızlı iyileştirme yapılmasına olanak verir. İzleyen aşamada CHT + DO ile ısıl bileşenin eklenmesi, ısı akısı ve ΔT dağılımlarının erken tahminini sağlayarak ürün daha piyasaya çıkmadan ısıl performansın artırılmasına hizmet edecektir.

KAYNAKÇA

[1] Khatir, Z., Paton, J., Thompson, H., Kapur, N., Toropov, V., Lawes, M., Kirk, D. Computational fluid dynamics (CFD) investigation of air flow and temperature distribution in a small scale bread baking oven, Applied Energy, 89(1), 89–96, 2012.

[2] Chhanwal, N., Anishaparvin, A., Indrani, D., Raghavarao, K.S.M.S., Anandharamakrishnan, C. Computational fluid dynamics (CFD) modeling of an electrical heating oven for bread baking process, Journal of Food Engineering, 100(3), 452–460, 2010.

[3] Boulet, M., Marcos, B., Dostie, M., Moresoli, C. CFD modeling of heat transfer and flow field in a bakery pilot oven, Journal of Food Engineering, 97(3), 393–402, 2010.

[4] Yang, Z., Cheng, D., Su, B., Ji, C., Huang, J., Li, H., Zhang, K. Study on the optimization of temperature uniformity in the oven under the forced convection mode, Scientific Reports, 13, 12925, 2023.

[5] Constantin, G.-A., Munteanu, M.-G., Voicu, G., Paraschiv, G., Ștefan, E.-M. An analysis of air flow in the baking chamber of a tunnel type electric oven, Computation, 11(12), 236, 2023.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

[6] Mirzaei, S., Bohlooli Arkhazloo, N., Morin, J.-B., Jahazi, M. Influence of heating elements layout on temperature uniformity in a large size heat treatment furnace, Case Studies in Thermal Engineering, 61, 105062, 2024.

[7] Bohlooli Arkhazloo, N., Bazdidi Tehrani, F., Morin, J.-B., Jahazi, M. Optimization of furnace residence time and loading pattern during heat treatment of large size forgings, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 113, 2447–2460, 2021.

[8] Han, Y., Yu, E., Han, Z. Study on temperature distribution non uniformity of inner grooved copper tubes during pit furnace annealing, International Journal of Heat and Mass Transfer, 104, 749–758, 2017.

[9] Suvanjumrat, C. Implementation and validation of OpenFOAM for thermal convection of airflow, Engineering Journal, 21(5), 2017.

[10] Wang, C., Pei, Y., Mu, Z., et al. Simulation analysis of 3D airflow and temperature uniformity of paddy in a laboratory drying oven, Foods, 13(21), 3466, 2024.

[11] Ismail, O.S., Awonusi, A.A., Akinoso, R. Isothermal air flow investigation in industrial baking oven of different impeller locations using CFD approach, Journal of Engineering Science, 17(2), 73–91, 2021.

[12] Fjällborg, Ö., Andersson, C., Marjavaara, D., et al. Experimental and numerical evaluation of convective heat transfer correlations in a packed bed of iron ore pellets, International Journal of Heat and Mass Transfer, 257, 128217, 2026.

[13] Szpicer, A., Bińkowska, W., Stelmasiak, A., et al. CFD simulation of thermal processes in food technology and their applications in the food industry, Applied Sciences, 15(1), 424, 2025.

[14] Mu, Y.-T., Chen, L., He, Y.-L., Tao, W.-Q. Numerical study on temperature uniformity in a novel mini channel heat sink with different flow field configurations, International Journal of Heat and Mass Transfer, 84, 924–935, 2015.

[15] Heliyon (Research). The improvement and verification of fluid dynamics simulation on temperature uniformity during heat treatment of ring pieces, Heliyon, 10(16), e36099, 2024.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

INVESTIGATION OF THE FEASIBILITY OF INDUSTRIAL WASTE MATERIALS THROUGH BALL GRINDING FOR USE AS REINFORCEMENT ELEMENTS IN COMPOSITE MATERIALS.

Res. Asst. Ömer KARTALTEPE

Karabuk University, omerkartaltepe@karabuk.edu.tr – 0000-0001-9980-7178

Asst. Prof. Abdullah UĞUR

Karabuk University, augur@karabuk.edu.tr – 0000-0002-3495-529X

Assoc. Prof. Muhammet Hüseyin ÇETİN

Konya Technical University, mhcetin@ktun.edu.tr – 0000-0003-0429-5507

ABSTRACT

This study aimed to reduce the size of industrial waste materials, namely iron powder and flue dust, using the ball milling method and to investigate their usability as reinforcement elements in composite materials. For this purpose, iron powder and flue dust were milled in a Pulverisette 7 planetary mill at 400 rpm for 10 minutes. Sieve analysis was performed on the milled powders. As a result of the analysis, powders with sizes of 125 µm +(above), 125-63 µm, 63-45 µm, and 45 µm – (below) were obtained. As a result of the analysis, 84.46% of the iron powders were reduced to a size below 45 µm. Similarly, 56.01% of the flue dusts were reduced to a size below 45 µm. Three parameters—grinding speed, rotational speed, and ball powder weight ratio—have been identified as critically important in the ball milling process. These parameters play an effective role in determining how much the material size can be reduced. It is emphasized that the reduced size of the waste reinforcement element increases the load-carrying capacity of the composite material by exhibiting homogeneous distribution within the matrix and strengthening the interfacial bond. The addition of reduced powder sizes to the matrix is expected to improve the mechanical, thermal, and tribological properties of the composite material. Industrial wastes are transformed into high value-added composite materials, contributing to the development of sustainable materials. Furthermore, the negative impacts of waste on environmental management are minimized.

Keywords: Ball milling, composite material, sieve analysis, industrial waste

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KOMPOZİT MALZEMELERDE TAKVİYE ELEMANI OLARAK KULLANILABİLECEK SANAYİ ATIKLARININ BİLYELİ ÖĞÜTME YOLUYLA DEĞERLENDİRİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, endüstriyel sanayi atığı niteliğindeki demir tozu ve baca tozu malzemelerinin, bilyeli öğütme yöntemiyle boyutlarının küçültülmesi ve bu malzemelerin kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla demir tozu ve baca tozu Pulverisette 7 planet değirmende 400 rpm hızda 10 dk. boyunca öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Öğütülen tozlara elek analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda 125 µm +(üstü) 125-63 µm arası, 63-45 µm arası ve 45 µm – (altı) boyutlara sahip tozlar elde edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda demir tozlarının %84, 46'lık kısmı 45 µm altı boyuta inmiştir. Baca tozlarının ise %56,01'lik kısmı 45 µm altı boyuta inmiştir. Bilyeli öğütme işlemi ile ilgili öğütme hızı, devir sayısı ve bilye toz ağılık oranı olmak üzere 3 farklı parametrenin kritik öneme sahip olduğu belirlenmiştir. Bu parametreler malzeme boyutunun ne kadar küçüleceğini belirlemede etkin bir role sahiptir. Boyutu küçülen atık takviye elemanı matris içerisinde homojen dağılım göstererek ve arayüzey bağının güçlenmesi ile kompozit malzemenin yük taşıma kapasitesini artırdığı vurgulanmaktadır. Tozların boyutları küçültülerek matris içerisine katılması kompozit malzemenin mekanik, termal ve tribolojik özelliklerini iyileştirmesi beklenmektedir. Endüstriyel atıklar katma değeri yüksek kompozit malzemelere dönüşerek sürdürülebilir malzeme geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca çevre yönetimi için atıkların olumsuz etkileri minimize edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bilyeli öğütme, kompozit malzeme, elek analizi, endüstriyel atık

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCTION

Materials can be classified as metals, ceramics, plastics, and composites. Composite materials are engineering materials formed by combining two or more different phases at the macro or micro scale, possessing superior mechanical, thermal, or chemical properties that their individual components do not have. Studies on composite materials are vital for the advancement of materials science, particularly critical in terms of using industrial waste as reinforcing materials. This approach promotes sustainability by reducing environmental impacts and improving the mechanical properties of composites. Recent research highlights the wide range of applications and potential benefits of integrating recycled materials into composite formulations. The use of composite materials is increasing day by day. In the aerospace industry, carbon fiber reinforced polymer composite materials are increasingly used due to their lightweight, high strength, and corrosion resistance properties. These properties allow manufacturers to reduce their reliance on traditional materials such as aluminum and titanium [1,2]. As the use of composites increases, awareness of the life cycles and impacts of composite waste management is becoming critical, leading researchers to seek methods for recycling and reusing waste for composites [3]. Various studies have highlighted the effectiveness of industrial waste as a potential reinforcing material in composite materials. They have shown that adding blast furnace slag to epoxy composites significantly affects mechanical properties such as interlayer shear strength, which is crucial for improving the durability of layered composites [4] . The use of glycerol-based materials filled with industrial waste and advancements in the use of biodegradable composites are important for sustainable material development [5]. In terms of manufacturing methods, the application of advanced techniques such as three-dimensional printing creates a new vision in composite manufacturing. The ability to manipulate materials at the micro-scale allows for more precise control of fiber orientation, void content, and overall composite performance [1,6]. A study on thermoplastic composite bodies demonstrates how innovative manufacturing processes can significantly improve the mechanical properties of composite structures, making them lighter and stronger [7].

Ball milling is an important mechanical processing technique used in the preparation and development of composite materials and encompasses various applications in materials science. This mechanical method is used to reduce the particle size in various materials and ensure the homogeneous distribution of reinforcing particles within the matrix, thus significantly affecting the structural and mechanical properties of the resulting composites. This method is based on the impact and shear principle; the grinding balls apply kinetic energy to the raw materials, facilitating the fragmentation of larger particles into nano or micro-scale dimensions. This process not only increases the surface area but also affects the physical and chemical properties of the resulting materials, making it effective in materials science applications [8,9]. In the ball milling process, it is possible to synthesize various nanoparticles by adjusting the milling parameters such as rotational speed, time, and ball-to-powder mass ratio [10,11]. Some studies have shown that changing the milling speed can significantly affect the energy transferred to the materials, which in turn affects the efficiency of nanoparticle synthesis. At lower grinding speeds, materials generally exhibit less shear load and collision impact, resulting in a gentler grinding process beneficial for sensitive materials [12]. Higher grinding speeds tend to increase energy transfer, which can provide more efficient grinding but can also lead to defects in

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

material structures [13]. In the field of composite materials, ball milling has been shown to improve properties such as tensile strength through the effective dispersion of reinforcing agents within polymer matrices [14]. In some studies, the incorporation of the reinforcing element into the matrix by ball milling has resulted in significant increases in tensile strength, which can be associated with better interfacial bonding and homogeneous distribution of the reinforcement [14]. However, it is also noted that excessive milling can lead to agglomeration of particles and subsequent reduction in mechanical properties [15]. Ball milling facilitates efficient mixing and refining of materials at the micro and nano scales. The study showed that the mechanical properties of aluminum composites reinforced with carbon nanotubes were significantly improved when subjected to ball milling. Improvement in the distribution of carbon nanotubes within the aluminum matrix due to grinding led to a 21% increase in tensile strength, demonstrating the effectiveness of these techniques in improving composite performance through better material interactions [16]. Similarly, Wang et al. noted that extending the ball milling time resulted in an improvement in the homogeneity of composite powders, contributing to the improvement of material properties [17]. The selection of milling parameters such as milling time and rotational speed plays a crucial role in determining the functionality and properties of the resulting composites. They emphasized that longer milling times can lead to increased density and decreased crystallinity in the processed materials, negatively impacting performance despite improved mixing [18]. Therefore, optimizing ball milling conditions according to the working conditions is crucial for the properties of composite materials. Adjustments in milling parameters can also prevent agglomeration, which hinders the improvement of composite performance [19]. In terms of processing, methods such as ball milling have been effectively used to ensure a homogeneous distribution of industrial waste particles within resin or metal matrices. This mechanical processing plays a key role in strengthening the bond between the reinforcement and matrix materials, resulting in composites with better load-carrying capacity and greater strength. Studies show that grinding processes play a significant role in breaking down larger powder particles into finer particles, thus improving dispersion and bonding at the interface [20].

The use of industrial metal wastes such as flue dust (FD) and iron dust (ID) is important for improving the properties of composite materials. Transforming these waste materials into reinforcing elements in composites promotes sustainable practices in material production and reduces environmental impacts. Industrial wastes, particularly metal-rich powders obtained from processes such as iron production and flue emissions, can be effectively reused in composites. Adediran et al. highlighted the potential of various industrial waste materials as critical components in the production of metal matrix composites. In their study, they emphasized the environmental benefits of using such materials as reinforcing elements, improving the mechanical properties of composites, and addressing waste management issues [21]. Industrial waste materials improve the performance characteristics of composites and contribute to sustainable applications by transforming byproducts into useful materials. Generally, particulate matter and flue dust can be used as a reinforcing source for composite materials. The study evaluated pollution from brick kiln emissions and highlighted the potential benefit of the collected dust in various industrial applications, including its use as a reinforcing element in composites [22]. The use of industrial metal powders as reinforcement can

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

significantly improve the mechanical and physical properties of composites. For example, Al-6061 metal matrix composites stand out for their strength and lightness properties. It has been shown that incorporating various industrial waste materials into these composites improves their specific strength, stiffness, and thermal stability, which is crucial for applications in the aerospace and automotive sectors [23]. This improvement stems from the enhancement of load-carrying capacities and interfacial bonding mechanisms developed during composite manufacturing. Sydow et al. further investigated this area by examining the tribological performance of composites reinforced with industrial wastes, including flue dust. Their investigations showed that the use of these wastes contributes to the improvement of the mechanical and tribological properties of the composites while also functioning as cost-effective fillers [24]. The presence of powder or particle reinforcements can lead to reduced friction during material wear and extended service life. Converting wastes into composite matrices promotes the circular economy by reusing materials that would otherwise harm the environment. This perspective is consistent with contemporary sustainability goals, where innovations in material composites aim to minimize greenhouse gas emissions and energy consumption during production [25].

In this study, industrial wastes such as iron dust and flue dust were reduced in size using the ball milling method. Size categorization of the reduced-size powders was performed using sieve analysis. When the studies are evaluated, it is seen that the usability of industrial metal wastes such as flue dust and iron dust as reinforcement elements in composite materials, especially after size reduction through milling, contributes to the reduction of significant environmental problems and significantly improves the mechanical and functional performance of composites. The milling process makes the use of industrial by-products efficient and enables the development of high-performance, sustainable composite materials. This approach is critical for developing environmentally friendly, economically viable, and high-performance sustainable new materials by creating a strong link between waste management and materials science.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

This study investigated the size characteristics of some powders classified as industrial waste. The powders were subjected to grinding and sieving processes. Two different industrial waste materials, iron powder (IP) and flue dust (FD), were used in grinding. The grinding process was carried out at 400 rpm for 10 minutes at a ball dust mass ratio of 10:1. The ground powders were sieved through three different sieves using a specially designed sieve mechanism. As a result of the sieving, the powders were categorized into four different size categories: above 125 µm, between 125-63 µm, between 63-45 µm, and below 45 µm.

2.1. Grinding process

The grinding process was carried out in a high-energy Pulverisette 7 planetary mill manufactured by Fritsch (Figure 1). The material to be ground and the grinding balls were placed in the grinding chamber. The grinding chamber rotates rapidly both around its own axis and in the opposite direction on a main disc using planetary motion. This high-speed movement separates the balls and the sample being ground from the inner surface of the chamber. The balls are propelled at very high speed from one side of the grinding chamber to the other,

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

colliding with both the chamber walls and each other. Thus, the sample particles are subjected to very high-energy impacts, and the grinding process is carried out. The material of the grinding chamber must be harder than the material to be ground. Grinding chambers and balls are generally made of the same material.

Figure 9. Pulverisette 7 Planetary Mill.

For the grinding process, a Zirconium Oxide (ZrO_2) chamber with a volume of 45 ml and ZrO_2 balls with a diameter of 10 mm were used (Figure 2). In planetary type ball grinding, parameters such as chamber volume, ball size, total ball mass, powder amount, grinding speed and grinding time greatly affect the result [26]. Grinding parameters are critically important in determining the mechanical, thermal, morphological and interaction properties of the reinforcement element to be used in composites within the matrix.

Figure 10. Grinding chamber and balls.

2.2. Determination of grinding parameters

The ball-to-powder mass ratio (BPR) was determined to be 10:1 for optimum grinding. The ball-to-powder mass ratio is expressed as the ratio of the total weight of the balls used in grinding to the weight of the powder being ground (Equation 1). Two grinding chambers with a volume of 45 ml each and 20 ZrO_2 balls with a diameter of 10 mm were used for the grinding process. The balls were weighed using a balance with a sensitivity of 0.0001 g. The total weight of the 20 balls was determined to be 66.6447 g.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$BPR = \frac{M_{Ball}}{M_{Powder}} \quad (1)$$

In this study, Iron Powder (IP) and Flue Dust (FD) were subjected to grinding in a planetary mill. The parameters of the grinding process are given in Table 1.

Table 1. Materials to be ground and grinding parameters.

Powder	**Grinding Time (min)**	**Grinding Speed (rpm)**	**BPR**
IP	10	400	10:1
FD	10	400	10:1

The materials to be ground were weighed before grinding. The powders were transferred to sample containers for the grinding process. The grinding process was carried out four times with different powder amounts, each weighing the required amount for a 45 ml container. Ten balls with a total weight of 33.32235 g were placed in each of the two 45 ml grinding containers. Based on the ball-to-powder mass ratio, the amount of powder to be placed in each container was determined as 3.332235 g. The masses of IP powder before and after grinding are given in Table 2.

Table 2. Iron powder (IP) before and after grinding.

Material to be ground and number of grindings	**45 ml 1. Amount of material in hopper (g)**	**45 ml 2. Amount of material in hopper (g)**	**Total amount of powder ground (g)**	**Amount of powder after grinding (g)**
IP -1	3,3261	3,3288	6,6549	6,6236
IP -2	3,3700	3,3732	6,7432	6,7298
IP -3	3,3841	3,3501	6,7342	6,6900
IP -4	3,3360	3,3613	6,6973	6,6764
Total weight of iron powder weight before and after grinding.			26,8269	26,7198

The same procedures were applied to flue dust. The flue dust masses before and after grinding are given in Table 3.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Table 3. Flue Dust (FD) before and after grinding.

Material to be ground and number of grindings	**45 ml 1. Amount of material in hopper (g)**	**45 ml 2. Amount of material in hopper (g)**	**Total amount of powder ground (g)**	**Amount of powder after grinding (g)**
FD-1	3,3575	3,3452	6,7027	6,5742
FD -2	3,3472	3,3306	6,6778	6,6402
FD -3	3,3535	3,4295	6,7830	6,7582
FD -4	3,3642	3,3848	6,7490	6,7247
Total weight of flue dust before and after grinding.			26,9125	26,6975

The mass of the powders after grinding also represents their weight before sieving.

2.3. Sieve analysis

The ground powders were sieved through 20 cm diameter sieves with three different sizes: 125 µm, 63 µm, and 45 µm (Figure 3).

Figure 11. Sieves of different sizes.

A three-layered custom sieve holder was designed and manufactured using a 3D printer. The manufactured sieve holder was attached as a module to the vibrating table. The sieves were placed one below the other in the order of 125-63-45 microns. Thus, the sieve with the highest micron value is at the top, while the sieve with the lowest micron value is at the bottom (Figure 4). The sieves were subjected to resonance on the vibrating table for specific periods of time.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

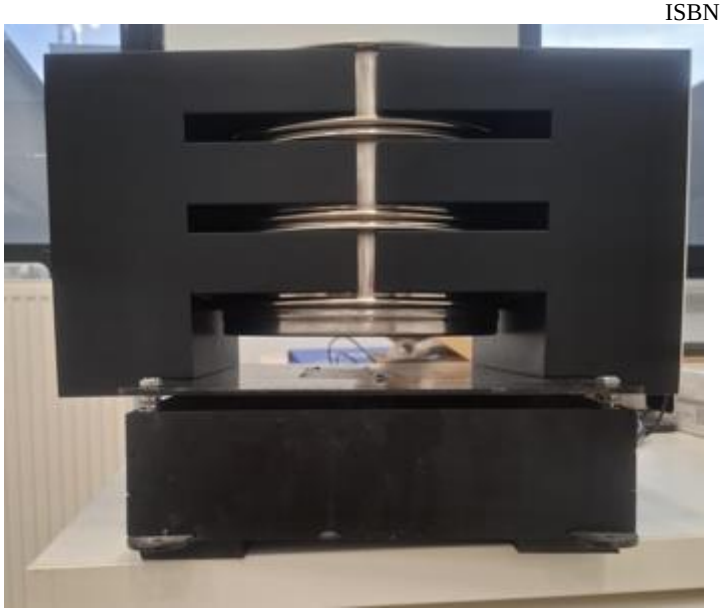


Figure 12. The selection mechanism.

The powders were sieved for different durations using a layered sieve mechanism. For iron powder, all sieves were subjected to resonance for 10 minutes. Then, the 125 µm sieve was removed from the mechanism, and the powder remaining on the sieve was weighed using a precision balance, transferred to an empty sample container, and recorded as 125 µm + (above) IP. The 63 and 45 µm sieves were subjected to resonance for another 10 minutes, for a total of 20 minutes. Then, the 63 µm sieve was removed from the mechanism, and the powder remaining on the sieve was weighed and transferred to an empty sample container, and recorded as 125-63 µm IP. Finally, the 45 µm sieve was subjected to resonance for another 10 minutes, for a total of 30 minutes, after which the sieving process was completed. Dust particles remaining above a 45 µm sieve were recorded as IP between 63-45 µm, while dust particles remaining below the sieve were recorded as 45 µm IP. The same procedures were performed for flue dust for 20 minutes.

Table 4. Size and mass data of the obtained powders.

The obtained powder sizes	**IP masses after sieving (g)**	**FD masses after sieving (g)**
125 µm+	0,2792	0,0301
125 – 63 µm	1,1331	0,2525
63 – 45 µm	2,7317	10,7999
45 µm –	22,5302	14,1108
Total mass	26,6742	25,1933

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

After screening, iron and flue dust with 4 different sizes were obtained. Size and mass data of the dusts are given in Table 4.

3. RESULTS AND EVALUATION

In this study, iron and steel industry flue dust, which is considered an industrial waste, and iron dust, which is a basic component of metal materials and is formed as a result of machining processes, were ground in a planetary mill using grinding parameters (Figure 5).

Figure 13. Ground powders.

There was a mass difference between the weight of iron powder before and after grinding. The amount of iron powder decreased by 0.1098 grams after grinding. The adhesion of the powder to the hopper surface and the balls due to the high energy, and the particles remaining in the sample containers during transfer, can be cited as reasons for the mass loss before and after grinding. The amount of flue dust decreased by 0.2152 grams after grinding. The fact that some compounds in the flue dust passed into the gas phase and were removed due to the heating during grinding may have caused the decrease in flue dust to be approximately twice as great as the decrease in iron powder. As with iron powder, the particles remaining in the containers during transfer can also be considered a cause of the decrease in flue dust.

The IP, which weighed 26.7198 g before sieving, was reduced to 26.6742 g after sieving. The FD, on the other hand, weighed 26.6972 g before sieving and was reduced to 25.1933 g after sieving. The significant difference in flue dust can be attributed to the lower density and larger surface area of flue dust compared to iron dust, resulting in particles mixing into the air as dust.

The iron dust sieving process began with sieving through a 125 µm sieve for 10 minutes. During sieving, the IP was briefly deposited onto a 63 µm sieve below. After sieving, IP with a weight above 125 µm was obtained, representing 1.046% of the total dust volume. The second step involved sieving through a 63 µm sieve for 20 minutes. After sieving, IP with a weight between 125-63 µm was obtained, representing 4.248% of the total powder. Sieving was performed for 30 minutes with a 45 µm sieve. After sieving, IP with a weight between 63-45 µm was obtained, representing 10.24% of the total powder. As a result of sieving, IP below 45 µm was obtained, representing 84.46% of the total powder. The spherical and fluid nature of iron powder caused the majority of the powders to be smaller than 45 µm.

Flue dust was sievinged for 20 minutes with a 125 µm sieve. After sieving, FD above 125 µm was obtained, representing 0.12% of the total powder. Sieving was performed for 40 minutes with a 63 µm sieve. After sieving, FD between 125-63 µm was obtained, representing 1% of the total powder. Sifting was performed with a 45 µm sieve for 60 minutes.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

After sieving, 42.87% of the total dust volume was obtained in the 63-45 µm range. After further sieving, 56.01% of the total dust volume was obtained in the 45 µm range. The concentration of flue dust in the 63-45 µm and below 45 µm range can be attributed to excessive clumping and clogging of the sieve pores (Figure 6).

Figure 14. Clumped flue dust.

4. GENERAL ASSESSMENT AND CONCLUSIONS

The sieving time has been minimized with the designed sieving mechanism. A new dimension has been added to the sieving process by using a vibrating table. The ground powders were reduced to 4 different sizes through sieve analysis.

Determining the size range of the powders through sieve analysis is expected to make their use as reinforcement elements in composites more efficient. The aim is to reduce the size of waste powders using the grinding method, ensuring homogeneous distribution as reinforcement elements within the composite, and increasing load-carrying capacity through better interfacial bonding.

Using industrial waste as reinforcement elements transforms waste into a useful product. By using waste, the hardness, tensile or compressive strength, mechanical and wear resistance, and other tribological properties of composite materials are improved. The use of industrial waste as reinforcement elements in composite materials significantly contributes to a sustainable environment.

5. REFERENCES

[1] P.H. Wang, R. Sterkenburg, G. Kim and Y.W. He, *Investigating the Void Content, Fiber Content, and Fiber Orientation of 3D Printed Recycled Carbon Fiber*, Key Eng Mater (2019), .

[2] D.K. Rajak, D.D. Pagar, P.L. Menezes and E. Linul, *Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications*, Polymers (Basel) (2019), .

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

[3] T. Patil, C. Pagano, R. Marani, T. D'Orazio, G. Copani and I. Fassi, *Hyperspectral Imaging for Non-Destructive Testing of Composite Materials and Defect Classification*, (2022), .

[4] P.K. Patnaik and S. Biswas, *Effect of Blast Furnace Slag Content on Mechanical and Slurry Abrasion Behavior of Needle-punched Nonwoven Fabric Reinforced Epoxy Composites*, Advances in Polymer Technology (2017), .

[5] S. Kašėtaitė, J. Ostrauskaitė, V. Gražulevičienė, D. Bridžiuvienė and E. Rainosalo, *Biodegradable Glycerol-Based Polymeric Composites Filled With Industrial Waste Materials*, J Compos Mater (2017), .

[6] S.K. Acharya, V. Dikshit and P. Mishra, *Erosive Wear Behaviour of Redmud Filled Metal Matrix Composite*, Journal of Reinforced Plastics and Composites (2007), .

[7] S.L. Omairey, S. Sampethai, L. Hans, C. Worrall, S. Lewis, D. Negro et al., *Development of Innovative Automated Solutions for the Assembly of Multifunctional Thermoplastic Composite Fuselage*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2021), .

[8] T. Xing, J. Sunarso, W. Yang, Y. Yin, A.M. Glushenkov, L.H. Li et al., *Ball Milling: A Green Mechanochemical Approach for Synthesis of Nitrogen Doped Carbon Nanoparticles*, Nanoscale (2013), .

[9] H. Mirzadeh and A. Zomorodian, *Ball Milling Criteria for Producing Nano Intermetallic Compounds*, Materials Science and Technology (2010), .

[10] W.C. Guaglianoni, A.S. Takimi, J. Vicenzi and C.P. Bergmann, *SYNTHESIS OF WC-12wt%Co NANOCOMPOSITES BY HIGH ENERGY BALL MILLING AND THEIR MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION*, Tecnol Metal Mater Min (2015), .

[11] L.S. Godse, V. Karkaria, M.J. Bhalerao, P.B. Karandikar and N.R. Kulkarni, *Process-based Modeling of Nylon Separator Supercapacitor*, Energy Storage (2020), .

[12] J. Xu, L. Zhang, Q. Guo, S. Zhou and C. Feng, *Research on the Preparation of Antimony Nanoparticles by Mechanical Ball Milling*, Key Eng Mater (2014), .

[13] L. Liang, J. Yu, W. Xu, S. Ke, C. Liu, X. Nie et al., *Top-Down Preparation and Magnetic Properties of MnSe2 Nanoparticles*, Physica Status Solidi (A) (2024), .

[14] E. Enqvist, D. Ramanenka, P.A.A.P. Marques, J. Grácio and N. Emami, *The Effect of Ball Milling Time and Rotational Speed on Ultra High Molecular Weight Polyethylene Reinforced With Multiwalled Carbon Nanotubes*, Polym Compos (2014), .

[15] N. Poudyal, N.V. Vượng, C. Rong and J.P. Liu, *Anisotropic Bonded Magnets Fabricated via Surfactant-Assisted Ball Milling and Magnetic-Field Processing*, J Phys D Appl Phys (2011), .

[16] A.M. K. Esawi, K. Morsi, A.A.-K. A. Sayed, M. Taher and S. Lanka, *Effect of Carbon Nanotube (CNT) Content on the Mechanical Properties of CNT-reinforced Aluminium Composites*, Compos Sci Technol (2010), .

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

[17] F. Wang, A.X. Chen, C. Yang, M.H. Xu, D.M. Du, H. Luo et al., *Preparation and Characterization of Coated Alumina/Aluminum Cermet Composite Powder via Ball Milling Method*, Key Eng Mater (2020), .

[18] J. Ambrosio-Martín, A. López-Rubio, M.J. Fabra, G. Gorrasi, R. Pantani and J.M. Lagarón, *Assessment of Ball Milling Methodology to Develop Polylactide-bacterial Cellulose Nanocrystals Nanocomposites*, J Appl Polym Sci (2014), .

[19] H. Mahboob, S.A. Sajjadi and S.M. Zebarjad, *Influence of Nanosized Al₂O₃weight Percentage on Microstructure and Mechanical Properties of Al–matrix Nanocomposite*, Powder Metallurgy (2011), .

[20] A. Bahrami, N. Soltani, M.I. Pech-Canul and C. Gutiérrez, *Development of Metal-Matrix Composites From Industrial/Agricultural Waste Materials and Their Derivatives*, Crit Rev Environ Sci Technol (2015), .

[21] A.A. Adediran, P.P. Ikubanni, O.A. Mosadomi, A.S. Olabisi, B.K. Sahoo and B.R. Kumar, *Applicability of Industrial Wastes in Metal Matrix Composites Production – A Review*, E3s Web of Conferences (2023), .

[22] M. Ismail, T. Ahmad, S. Ali, S. Ali, N. Haq and N. Naveedullah, *Heavy Metals (Pb and Ni) Pollution as Affected by the Brick Kilns Emissions*, Sarhad Journal of Agriculture (2020), .

[23] A.A. Adebisi, Md.A. Maleque and M.M. Rahman, *Metal Matrix Composite Brake Rotor: Historical Development and Product Life Cycle Analysis*, International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (2022), .

[24] Z. Sydow, M. Sydow, Ł. Wojciechowski and K. Bieńczak, *Tribological Performance of Composites Reinforced With the Agricultural, Industrial and Post-Consumer Wastes: A Review*, Materials (2021), .

[25] A.R. Shafqat, M. Hussain, Y. Nawab, M. Ashraf, S. Ahmad and G. Batool, *Circularity in Materials: A Review on Polymer Composites Made From Agriculture and Textile Waste*, Int J Polym Sci (2023), .

[26] P. Kuziora, M. Wyszyńska, M. Polanski and J. Bystrzycki, *Why the ball to powder ratio (BPR) is insufficient for describing the mechanical ball milling process*, Int J Hydrogen Energy 39 (2014), pp. 9883–9887.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

EVALUATION OF TRADITIONAL AND LOW-COST DENSITY MEASUREMENT METHODS IN THE PHYSICAL CHARACTERIZATION OF POWDER MATERIALS

Res. Asst. Ömer KARTALTEPE

Karabuk University, omerkartaltepe@karabuk.edu.tr – 0000-0001-9980-7178

Asst. Prof. Abdullah UĞUR

Karabuk University, augur@karabuk.edu.tr – 0000-0002-3495-529X

Assoc. Prof. Muhammet Hüseyin ÇETİN

Konya Technical University, mhcetin@ktun.edu.tr – 0000-0003-0429-5507

ABSTRACT

In powder technology, characterization processes are generally performed using expensive and specialized equipment. However, in situations where laboratory facilities are limited, the accuracy of alternative measurement methods based on fundamental physics principles is of great importance. This study focuses on determining the true, apparent, and compressed density parameters using conventional laboratory equipment instead of advanced instruments. In this study, the liquid pycnometry method was used for true density determination, while density determination was performed using standard measuring cylinders and a vibrating table with resonance. Based on the obtained data, the necessary calculations were made to determine the fluidity behavior of the powders. Experimental results show that although manual methods may contain systematic errors, they offer an acceptable and economical alternative in powder characterization with accurate calibration and repeatable application. This approach constitutes a cost-effective solution with values close to the accurate values, especially in situations where gas and liquid pycnometers are unavailable and the necessary equipment for measurement in a laboratory environment is limited.

Keywords: Manual Density Measurement, Liquid Pycnometry, Powder Fluidity, Low-Cost Characterization, Measuring Cylinder Method.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

TOZ MALZEMELERİN FİZİKSEL KARAKTERİZASYONUNDA GELENEKSEL VE DÜŞÜK MALİYETLİ YOĞUNLUK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Toz teknolojisinde karakterizasyon süreçleri genellikle yüksek maliyetli ve özel cihazlarla yapılmaktadır. Ancak laboratuvar imkanlarının kısıtlı olduğu durumlarda, temel fizik prensiplere dayanan alternatif ölçüm yöntemlerinin doğruluğu büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma; gerçek, görünür ve sıkıştırılmış yoğunluk parametrelerinin, gelişmiş cihazlar yerine geleneksel laboratuvar ekipmanlarıyla belirlenmesi üzerine odaklanmaktadır.

Çalışma kapsamında gerçek yoğunluk tayini için sıvı piknometre yöntemi kullanılırken; görünür ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri için standart mezür ve titreşim tablası ile rezonans uygulanarak yoğunluk tayini yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında, tozların akışkanlık davranışını belirlemek için gerekli hesaplar yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, manuel yöntemlerin sistematik hatalar içerebilmesine rağmen, doğru kalibrasyon ve tekrarlanabilir uygulama ile toz karakterizasyonunda kabul edilebilir ve ekonomik bir alternatif sunduğunu göstermektedir. Bu yaklaşım, özellikle gaz ve sıvı piknometresinin olmadığı ayrıca laboratuvar ortamında ölçüm için gerekli cihazların kısıtlı olduğu durumlarda doğru değere yakın değerler ile maliyet etkin bir çözüm teşkil etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Manuel Yoğunluk Ölçümü, Sıvı Piknometre, Toz Akışkanlığı, Düşük Maliyetli Karakterizasyon, Mezür Yöntemi.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCTION

Density is expressed as the amount of mass per unit volume of a material. The density of powders is characterized by 3 different types of density: apparent, compressed, and true. It is consistently shown that density measurements are not interchangeable and that the relationships between true, apparent, and compressed densities are determined by material and process variables such as particle size distribution, moisture content, surface properties, and compression mechanisms. This indicates that density is related to flow, packing, mold filling, compression behavior, and final product quality [1–4]. True density represents the pure density of the material, independent of porosity or voids, and serves as a benchmark for comparing bulk and compressed states. It is typically measured using helium pycnometry or other gas displacement techniques and forms the basis for calculating porosity and interpreting bulk densities [3]. Apparent density is also expressed as bulk density or loose bulk density. It reflects the mass of powder per total apparent volume, including interparticle voids in the loose state. It is sensitive to particle packing, cohesion, moisture, and agglomeration tendencies and provides information about the fluidity behavior of bulk materials [4,5]. Bulk or compressed density after compression describes the density of powders after they have been compressed by mechanical action. Tapping, vibration, or compression are used to reduce interparticle voids. Under the applied external stimulus, the particle moves towards the voids. The particles compress, increasing the contact levels and creating a new volume. This density is widely used to evaluate flow properties through indices such as the Carr index and Hausner ratio [3,5]. The relationships between these densities are not constant; they depend on particle morphology, size distribution, moisture, bonding, and processing history. Many studies emphasize that density measurements should be interpreted taking into account the method tapping, compression speed, holding time and material condition cohesion, moisture, agglomeration [2,3,5].

Measurement methods for apparent and compressed densities vary depending on the type of powder, and different instruments or test standards are generally used. Some studies show that multiple methods can provide different but complementary and corroborating information on powder behavior [2,5]. Determining density provides practical results for determining the amount of powder required for production. Furthermore, determining the amount of powder mass required for the mold is related to preventing waste and maintaining product quality [1]. In powders, true density and compressibility measures are related to compressibility behavior and porosity. Studies show that fluidity and agglomeration properties depend on both apparent and true densities and the relationships between these densities [3,4,6,7]. This study demonstrates the importance of density-related parameters in compressibility and contact mechanics. Highlighting how the fluidity of the powder affects the rigid formation and yield of density and deformation under flow and load, it reveals how the true density is related to the compressed density under compression [3]. A comparative study on compression emphasizes that low compression pressures should be used to ensure rearrangement without excessive deformation. It shows that excessive compression causes particle fracture, altering density readings and porosity, thus affecting apparent and compressed densities differently [8]. Carr index and Hausner ratio, used to predict the fluidity and agglomeration properties of powders, are stated to be relevant indicators of fluidity and compressibility, emphasizing that bulk and compressed densities are related to flow and production performance [5].

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

In ceramic composites, bulk density and porosity are greatly affected by the additive content and manufacturing method, and density is related to mechanical performance. This has led to findings that density measurements reflect the porosity created by manufacturing [9].

Density measures are not interchangeable but complementary. True density provides a material-specific reference, while apparent density captures the packing efficiency of a loose powder, and compressed density indicates the potential for condensation under mechanical stress. The relationships between these measurements depend on the purpose for which they are used. Particle size distribution, agglomeration, and particle morphology shape density measurement [3,5].

The drying method, moisture content, and agglomeration status of the powders can alter the apparent density and porosity, independently of the true density [1,4,6].

It has been reported that the true density, apparent density, and compressed density should be measured to ensure inter-study comparability and to interpret packing, porosity, and flow phenomena consistently [2,3,5]. Considering the effects of the way the powders fill the mold and the force of their cohesion, it has been emphasized that the moisture content, surface properties, and agglomeration behaviors affecting the density measurements should be characterized [4,6,10].

A holistic understanding of powder behavior requires measurements of apparent and compressed densities, as well as true densities interpreted in the context of material agglomeration, particle morphology, and manufacturing parameters. Density measurements have been shown to be important for product quality across metals, ceramics, composites, and additive manufacturing. Methods consisting of simple density tests are important for characterizing powder materials and determining production optimization [1–5,7,11]

In this study, the apparent, true and compressed densities of iron and flue dust were measured using conventional and low-cost methods. The measured densities were comparatively analyzed to make inferences about the fluidity, agglomeration, and other important properties of these powders. The densities and agglomeration and fluidity properties of the powders were determined according to the measurement method.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

In this study, the apparent, compressed, and true densities of unground flue and iron dust were measured using a measuring cylinder and liquid pycnometer, applying Archimedes' principle. Calculations were then performed on the measured dusts to draw conclusions about their fluidity and agglomeration.

2.1. Determination of Apparent and Compressed Density of Dusts

Certain quantities of unground flue gas and iron dust were weighed separately and their masses were measured (Figure 1).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

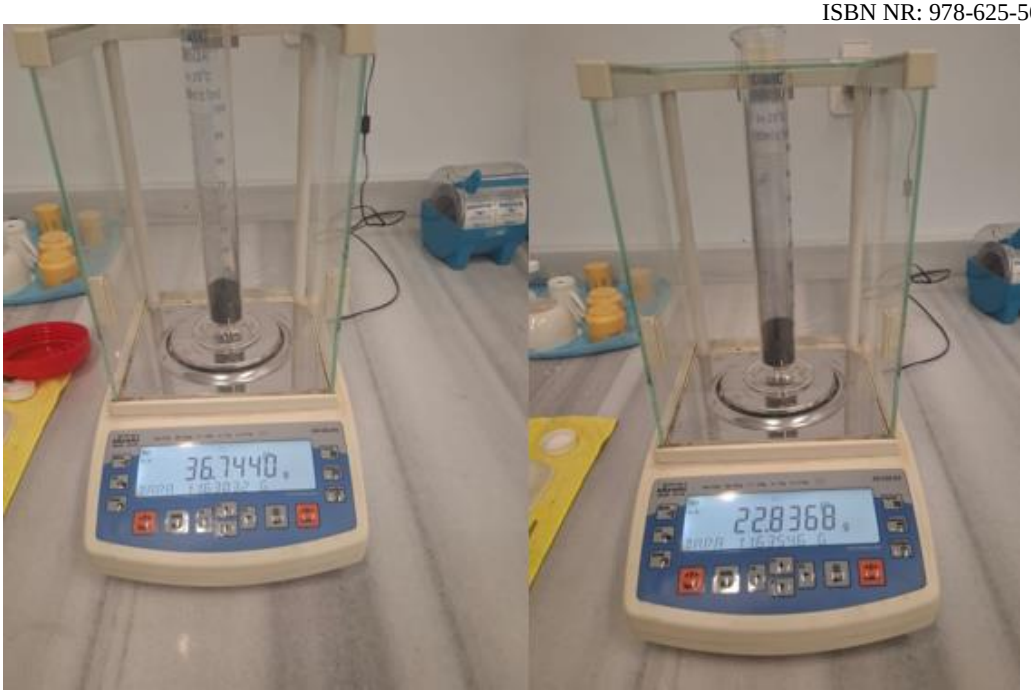


Figure 15. Chimney and iron dust masses.

Afterwards, it was filled into a measuring cylinder with a volume of 100 ml and the volume it occupied was determined (Figure 2).

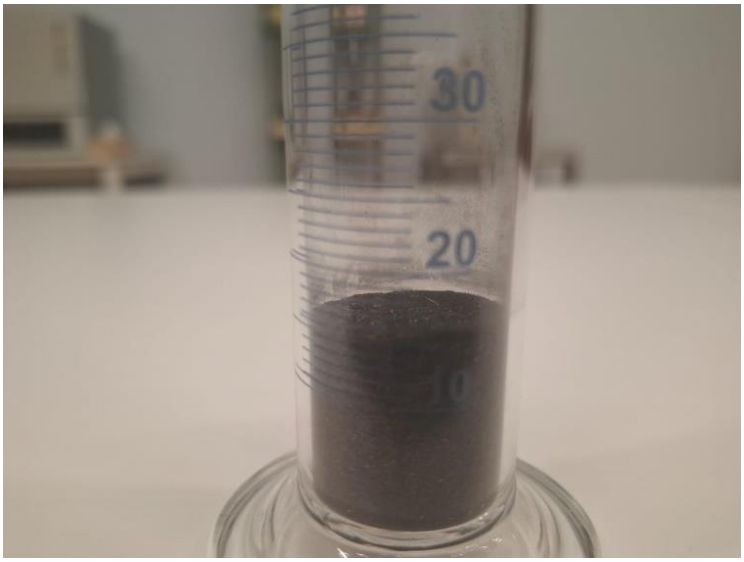


Figure 16. Measuring the volume occupied by the powder using a measuring cylinder.

After determining the apparent density of the powders, the compacted density was determined by subjecting the powders to vibration in a measuring cylinder for 10 minutes, and the volume they occupied in a compressed state was measured (Figure 3).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Figure 17. Compressing the powders in a vibrating machine.

The data were recorded by calculating the apparent and compressed densities (Equation 1). The resulting density data are presented in Table 1.

$$\rho_{a=}\frac{m}{V_a} \ , \ \rho_{c=}\frac{m}{V_c} \quad (1)$$

Table 5. Visible and compressed density data of powders.

Powder	**Mass (g)**	**Apparent Volume (ml)**	**Apparent Density (g/cm^3)**	**Compressed Volume (ml)**	**Compressed Density (g/cm^3)**
Iron powder	36,7440	18	2,0413	15	2,4496
Flue dust	22,8368	20	1,1418	16	1,4273

The Hausner Ratio (HR) and Carr Index (CI) of the iron powder were calculated (Equation 2) to analyze its fluidity and agglomeration.

$$HR = \frac{\rho_c}{\rho_a} \ , \ \text{CI} = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \times 100 \quad (2)$$

2.2. Determining the True Density of Dusts

The true density of the powders was determined by adapting the liquid pycnometry method to Archimedes' principle. First, the mass of the empty beaker was weighed, then the mass of the powder was weighed (Figure 4). To determine the mass of the powder in the liquid, the beaker was filled with pure water, the temperature of the liquid was measured, and the mass of the water-filled beaker was recorded. Subsequently, the water in the beaker was emptied, the previously weighed powder was placed in the beaker, and a little water was added to ensure that the powder was completely wet. Then, pure water was added until the beaker was

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

completely filled, leaving no empty spaces. For this process, pure water was added drop by drop to the beaker until it reached the overflow point. The density of pure water at 20 °C was taken as 0.9982 g/cm³.

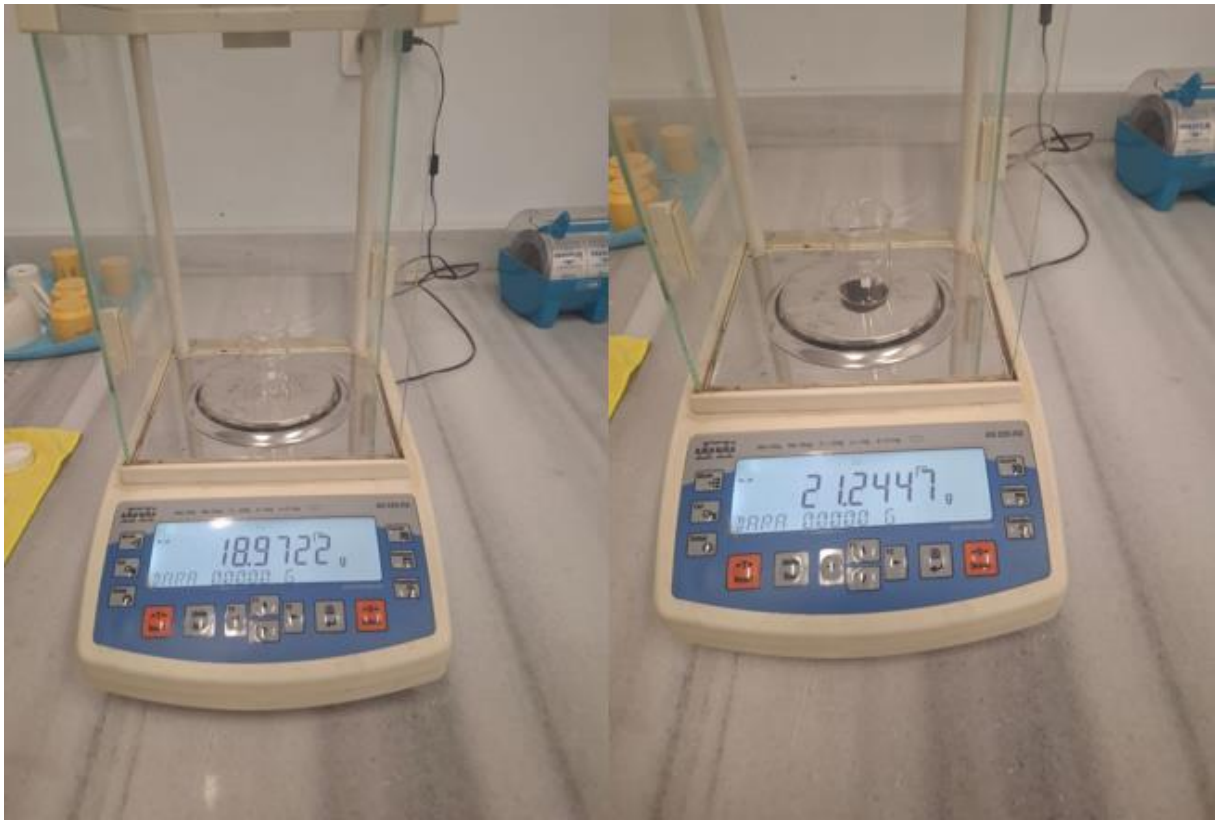


Figure 18. Weight of beaker empty and powder-filled.

The true density was calculated according to Equation 3.

$$\rho_{true} = \frac{m_{powder} \times \rho_{water}}{(m_4 - m_1) - (m_3 - m_2)}$$

m_1: Empty beaker

m_2: Beaker + powder

m_3: Beaker + powder + pure water

m_4: Beaker + pure water

$(m_4 - m_1)$ Represents the volume of water in the beaker, $(m_3 - m_2)$represents the volume of water remaining with the powder, and the difference between these represents the volume of powder only. The true densities obtained are given in Table 2.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Table 6. The true densities of the dust particles.

Powder	**Beaker Mass (g)**	**Beaker + Powder Mass (g)**	**Beaker + Pure Water Mass (g)**	**Beaker + Pure Water + Powder Mass (g)**	**True Density (g/cm³)**
Iron powder	18,9722	24,3672	63,8664	67,7780	3,6306
Flue dust	18,9722	21,2447	63,8664	64,6444	1,5176

3. RESULTS AND EVALUATION

The fact that the true density of iron powder (7.87 g/cm³) is much higher than its apparent density (2.04 g/cm³) indicates that a large portion of the bulk iron powder volume consists of air. To determine the fluidity and agglomeration tendency of iron powder, the Hausner Ratio (HR) and Carr Index (CI) values were found to be 1.20 and 16.67%, respectively. These values indicate that the iron powder is fluid and has a low agglomeration tendency. For flue dust, the Hausner Ratio (HR) and Carr Index (CI) values were found to be 1.25 and 20%, respectively. The lower fluidity of flue dust compared to iron powder and its higher CI value suggest that there are more air spaces between the dust particles and that it has a higher compressibility.

The reason why the density of iron powder is approximately twice the density of flue dust is thought to be because the elements in flue dust are lighter, hollow, and have an irregular structure.

The measured true density of iron powder, 3.6306 g/cm^3, is considerably lower than its theoretically known true density (7.87 g/cm^3). This is thought to be due to the clumping of the unground iron powder in the liquid and the entrapment of micro air bubbles between the particles (Figure 5). In addition, the fact that the iron powder is in the form of an iron powder mixture may have caused the density difference to increase because it reduces the degree of purity.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Figure 19. Clumped iron powder in liquid.

4. GENERAL ASSESSMENT AND CONCLUSIONS

In this study, three different densities of unground flue dust and iron dust were determined experimentally. Experiments were conducted using inexpensive equipment and conventional methods. As a result of the experiments, data were obtained on the fluidity and agglomeration tendencies of the powders according to their true, apparent, and compressed densities.

Characterization studies revealed that iron dust exhibited better fluidity (HR: 1.20), while flue dust had a more stable structure. True density measurements using the Archimedes method experimentally demonstrated the wetting difficulties and agglomeration risks of metallic powders in liquid media.

5. REFERENCES

[1] S. Stranzinger, E. Faulhammer, J. Li, R. Dong, J. Khinast, J.A. Zeitler et al., *Measuring Bulk Density Variations in a Moving Powder Bed via Terahertz in-Line Sensing*, Powder Technol (2019), .

[2] M. Mitterlehner, H. Danninger, C. Gierl–Mayer, H. Gschiel, C.J. Martinez, M. Tomisser et al., *Comparative Evaluation of Characterization Methods for Powders Used in Additive Manufacturing*, J Mater Eng Perform (2021), .

[3] C.M.D. Gabaude, M.A. Guillot, J. Gautier, P. Saudemon and D. Chulia, *Effects of True Density, Compacted Mass, Compression Speed, and Punch Deformation on the Mean Yield Pressure*, J Pharm Sci (1999), .

[4] G.V.B. Cánovas, J. MALAVE-LOPEZ and M. Peleg, *DENSITY and COMPRESSIBILITY of SELECTED FOOD POWDERS MIXTURES1*, J Food Process Eng (1987), .

[5] R.B. Shah, M.A. Tawakkul and M.A. Khan, *Comparative Evaluation of Flow for Pharmaceutical Powders and Granules*, AAPS PharmSciTech (2008), .

[6] A. Michalska and K. Lech, *The Effect of Carrier Quantity and Drying Method on the Physical Properties of Apple Juice Powders*, Beverages (2018), .

[7] A.D. Román-Ospino, R. Singh, M. Ierapetritou, R. Ramachandran, R. Méndez, C. Ortega-Zúñiga et al., *Near Infrared Spectroscopic Calibration Models for Real Time Monitoring of Powder Density*, Int J Pharm (2016), .

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

[8] D. Barona, A. Shamsaddini, M. Aisenstat, K. Thalberg, D. Lechuga-Ballesteros, B. Damadzadeh et al., *Modulated Uniaxial Compression Analysis of Respirable Pharmaceutical Powders*, Kona Powder and Particle Journal (2021), .

[9] S. Dai, X. Wu and B. Luo, *Effect of MgO Additive on Properties of Corundum–Mullite Duplex Ceramic Synthesized From High-Alumina Fly Ash*, Materials (2025), .

[10] K. Szulc and A. Lenart, *Effect of Agglomeration on Flowability of Baby Food Powders*, J Food Sci (2010), .

[11] K. Kikuchi, Y. Tanifuji, W. Zhou, N. Nomura and A. Kawasaki, *Experimental Characterization and Computational Simulation of Powder Bed for Powder Bed Fusion Additive Manufacturing*, Mater Trans (2022), .

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

A GEOTECHNICAL INVESTIGATION OF BORIC ACID REMEDIATION APPLIED TO SOIL EXPOSED TO HEAVY METAL CONTAMINATION

Assist. Prof. Dr. INCI DEVELIOGLU
Izmir Katip Celebi University, inci.ertam@ikcu.edu.tr - 0000-0001-6594-8095

ABSTRACT

In this study, the geotechnical properties of sandy soils contaminated with nickel sulfate at different concentrations were experimentally investigated. Within the scope of the research, clean sandy soil samples were first prepared and subsequently artificially contaminated using nickel sulfate solutions at concentrations of 1000 ppm and 5000 ppm (ppm: milligrams per liter). Following the contamination process, remediation applications were carried out to improve the properties of the heavy metal–contaminated soils, and boric acid was added to the samples at rates of 0.1% and 0.4% by weight. A comprehensive experimental program was implemented to evaluate the effects of nickel contamination and boric acid–based remediation on the soil properties. This program included particle size distribution, specific gravity, liquid limit, standard Proctor compaction, and pH tests. The experimental results enabled a comparative assessment of the effects of both contamination levels and varying boric acid contents on the physical and mechanical behavior of the soils. The obtained experimental data provide a fundamental dataset for a detailed analysis of the influence of contamination and remediation processes on soil behavior. It was observed that nickel sulfate contamination led to increases in specific gravity and maximum dry unit weight, while causing reductions in optimum moisture content and liquid limit. Conversely, boric acid remediation resulted in decreases in specific gravity and maximum dry unit weight, along with increases in optimum moisture content and liquid limit for both 1000 ppm and 5000 ppm contaminated samples.

Keywords: Boric acid remediation, geotechnical properties, nickel sulphate contamination

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

AĞIR METAL KİRLİLİĞİNE MARUZ KALMIŞ ZEMİNİN BORİK ASİT REMEDASYONUNUN GEOTEKNİK AÇIDAN İNCELENMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Dr. Öğr. Üyesi İNCİ DEVELİOĞLU
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, inci.ertam@ikcu.edu.tr - 0000-0001-6594-8095

ÖZET

Bu çalışmada, farklı konsantrasyonlarda nikel sülfat ile kirletilmiş kumlu zeminlerin geoteknik özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırma kapsamında öncelikle temiz kumlu zemin numuneleri hazırlanmış, ardından bu numuneler 1000 ppm ve 5000 ppm (ppm: miligram/litre) konsantrasyonlarında nikel sülfat çözeltileri kullanılarak yapay olarak kirletilmiştir. Kirlenme işlemi sonrasında, ağır metal ile kirlenmiş zeminlerin iyileştirilmesine yönelik remedasyon uygulamaları gerçekleştirilmiş ve bu kapsamda numunelere ağırlıkça %0.1, %0.2 ve %0.4 oranlarında borik asit ilavesi yapılmıştır. Nikel kirliliği ve borik asit ile gerçekleştirilen remedasyonun zemin özellikleri üzerindeki etkilerini ortaya koymak amacıyla deney programı uygulanmıştır. Bu program çerçevesinde dane boyu dağılımı, özgül ağırlık, likit limit, standart Proctor kompaksiyon ve pH ölçme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler hem kirlenme seviyesinin hem de farklı oranlarda borik asit ilavesinin zeminlerin fiziksel davranışları üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Elde edilen deneysel veriler, kirlenme ve remedasyon süreçlerinin zemin davranışına olan etkilerinin ayrıntılı biçimde analiz edilmesi için temel bir veri seti sunmaktadır. Nikel sülfat kirliliğinin, özellikle özgül ağırlık ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkta artışa, optimum su içeriğinde ve likit limitte azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Borik asit remedasyonu ise, hem 1000 ppm hem de 5000 ppm konsantrasyonlu numunelerde, ince dane oranı, özgül ağırlık, pH ve maksimum kuru birim hacimde azalmaya, optimum su içeriğinde ve likit limitte artışa neden olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Borik asit remedasyonu, geoteknik özellikler, nikel sülfat kirliliği

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. GİRİŞ

Hızla artan kentleşme ve endüstriyel faaliyetler, potansiyel olarak toksik elementlerin yeraltı ortamına salınımını artırmış ve ağır metallerle kirlenmiş zeminleri kalıcı bir çevresel ve mühendislik problemi hâline getirmiştir. Organik kirleticilerin aksine, ağır metaller bozunmaya uğramaz ve zemin mineralojisi, gözenek suyu kimyası ve hidrojeolojik koşullara bağlı olarak uzun süre hareketli veya biyoyararlanabilir durumda kalabilir. Literatürde yer alan kapsamlı değerlendirmeler, ağır metal içeren zeminlerin hem ekosistem ve insan sağlığı açısından risk oluşturduğunu hem de arazi kullanımını ve güvenli inşaat uygulamalarını kısıtladığını vurgulamaktadır (Xie vd., 2010; Çoruh, 2013; Priya vd., 2023).

Ağır metaller arasında nikel (Ni), endüstride yaygın kullanımı ve endüstriyel atık sular ile sızıntı sularında sıkça bulunması nedeniyle özel bir öneme sahiptir. Özellikle kumlu ve permeabilitesi yüksek zeminlerde, nikel içeren çözeltiler kısa sürede zemin bünyesine sızarak iyonik kontaminasyona neden olmakta ve danelerin yüzey kimyasını değiştirerek daneler arası etkileşimleri etkilemektedir. Geoteknik açıdan bakıldığında, ağır metal kontaminasyonunun zeminlerin kıvam limitleri, sıkışma davranışı, kayma dayanımı ve sıkışabilirliği gibi temel mühendislik parametrelerini değiştirdiği bilinmektedir. Literatürde, metal ile kirlenmiş zeminlerde yalnızca çevresel risklerin değil, aynı zamanda zemin yapısında ve mekanik davranışta meydana gelen değişimlerin de mühendislik uygulamaları açısından kritik olduğu gösterilmiştir (Li vd., 2015; Chu vd., 2017; Li vd., 2019; Tripathy ve Reza, 2019; Negahdar ve Nikghalbpour, 2020).

Kontaminasyonun mühendislik özellikleri üzerindeki etkisinin yönü ve büyüklüğü; zemin türüne, kirletici metalin cinsine ve konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Ancak birçok deneysel çalışma, ağır metal iyonlarının zemin dokusunu ve boşluk oranını etkileyerek su–zemin ilişkilerinde değişime neden olduğunu ve bunun sonucunda kayma davranışının değiştiğini ortaya koymaktadır. Direkt kesme deneylerine dayanan çalışmalar, ağır metal ile kirlenmiş zeminlerde kayma dayanımı parametrelerinde ölçülebilir değişimler meydana geldiğini ve bu değişimlerin gözenek suyu kimyası ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir (Chu vd., 2017; Negahdar ve Nikghalbpour, 2020). Özellikle kumlu zeminlerde, nikel de dâhil olmak üzere farklı çözünmüş iyonlar içeren endüstriyel atık sulara maruziyetin, düşük kontaminasyon seviyelerinde dahi içsel sürtünme açısında azalmaya yol açabildiği ve dane düzeni ile granülometrik özellikleri etkileyebildiği rapor edilmiştir (Karkush ve Resol, 2017). Bu bulgular, zemin iyileştirme ve temizleme kararlarının yalnızca "kirleticinin uzaklaştırılması" kriterine dayandırılamayacağını, iyileştirme sonrasında zeminin mühendislik performansının da mutlaka değerlendirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Ağır metal ile kirlenmiş zeminlerin temizlenmesi amacıyla kazı ve bertaraf, solidifikasyon/stabilizasyon, zemin yıkama–flushing, elektrokinetik yöntemler ve biyolojik yaklaşımlar gibi çeşitli remediasyon teknikleri uygulanmaktadır (Li vd., 2015; Zhang vd., 2022). Bu yöntemler arasında kimyasal zemin yıkama/flushing, ağır metal iyonlarının mobilize edilerek ortamdan uzaklaştırılmasına imkân sağlaması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu tür kimyasal işlemler, gözenek suyu kimyasını değiştirerek ince danelerin taşınmasına, geçirgenlikte değişimlere ve dolayısıyla zeminlerin fiziksel–mekanik özelliklerinde bozulmalara yol açabilmektedir. Güncel literatür, kimyasal yıkama reaktiflerinin

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
etkinliğinin yanı sıra, bu reaktiflerin zemin özellikleri üzerindeki ikincil etkilerinin de dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır (Zhang vd., 2022).

Borik asit (H_3BO_3), ağır metal ile kirlenmiş zeminlerin remedasyonunda kullanılan kimyasal sistemlerde yer alabilen bileşiklerden biridir. Literatürde, borik asidin EDTA gibi şelatlayıcı ajanlarla birlikte kullanıldığı zemin yıkama çalışmalarında, özellikle kadmiyum ve krom gibi metallerin gideriminde etkili olduğu rapor edilmiştir. Bu çalışmalar, borik asidin pH düzenleyici ve kimyasal etkileşimleri dengeleyici rol oynayarak ağır metal giderimini destekleyebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, aynı araştırmalar, kimyasal konsantrasyonların artmasının geçirgenlik gibi mühendislik parametrelerini olumsuz yönde etkileyebileceğini de ortaya koymuştur. Bu durum, borik asit içeren remedasyon sistemlerinde çevresel kazanımlar ile geoteknik performans arasındaki ilişkinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Ancak mevcut literatürde, borik asit ile gerçekleştirilen remedasyonun zeminlerin geoteknik özellikleri üzerindeki etkilerini doğrudan inceleyen çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır, özellikle kumlu zeminler açısından bu konuda önemli bir bilgi boşluğu bulunmaktadır (Jongyeol vd., 2004).

Güncel çevresel yönetmelikler ve mühendislik rehberleri, kirlenmiş sahaların iyileştirilmesinde yalnızca kirletici riskinin azaltılmasının yeterli olmadığını, aynı zamanda zeminin hedeflenen arazi kullanımına uygun mühendislik özelliklerini koruması veya iyileştirmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Kumlu zeminlerde, dane etkileşimlerindeki küçük değişimler dahi sıkışma kalitesi ve drenajlı kayma dayanımı gibi tasarım parametrelerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu nedenle, borik asit gibi kimyasal remedasyon ajanlarının kullanımı sonrasında zeminlerin mühendislik davranışlarının ayrıntılı olarak değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı, nikel ile kirlenmiş kumlu bir zeminde borik asit remedasyonunun geoteknik açıdan etkilerini incelemektir. Bu kapsamda, USCS sistemine göre SW sınıfında yer alan bir kum zemini, nikel sülfat kullanılarak farklı konsantrasyonlarda (1000 ppm ve 5000 ppm) yapay olarak kirletilmiş ve ardından kuru zemin ağırlığına göre %0.1, %0.2 ve %0.4 oranlarında toz formda borik asit ilavesi ile remedasyon uygulanmıştır. Çalışmada, kontaminasyon ve borik asit uygulamasının; (i) dane boyu dağılımı, (ii) likit limit davranışı, (iii) kompaksiyon özellikleri (optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlık) ve (iv) özgül ağırlık parametreleri üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Bu yönüyle çalışma, borik asit esaslı bir remedasyon yaklaşımının, kirleticinin kontrol altına alınmasının yanı sıra, zeminin inşaat mühendisliği açısından gerekli geoteknik performansını koruyup koruyamayacağını ortaya koymayı hedeflemektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzemeler

Bu çalışma kapsamında kullanılan zemin numuneleri, İzmir ili Mavişehir bölgesinden temin edilmiştir. Numuneler, doğal ortamda bulunan ve USCS sınıflandırma sistemine göre SW (iyi derecelenmiş kum) grubunda yer alan, kumlu bir zemin niteliğindedir. Laboratuvara getirilen zeminler, deneyler öncesinde kurutularak yabancı maddelerden arındırılmış ve homojen bir yapı elde edilecek şekilde hazırlanmıştır. Zeminin fiziksel görünümüne ait görsel Görsel 1'de

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

sunulmaktadır. Görsel 1'den de görülebileceği üzere, zemin malzemesi inşaat mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılan köşeli (kırma) kum karakterine sahiptir. Deneysel çalışmaların tamamı, ASTM (American Society for Testing and Materials) ve BS (British Standards) standartları esas alınarak gerçekleştirilmiş; tüm deneyler, sıcaklık ve bağıl nem gibi çevresel koşulların kontrol altında tutulduğu laboratuvar ortamında yürütülmüştür.

Görsel 1. Kumlu zeminin fiziksel görünüşü

Zeminlerin ağır metal maruziyeti altındaki geoteknik davranışlarını değerlendirmek amacıyla, bu çalışmada yapay nikel kontaminasyonu uygulanmıştır. Kirletici madde olarak nikel sülfat ($NiSO_4$) tercih edilmiş ve laboratuvar koşullarında iki farklı konsantrasyonda (1000 ppm ve 5000 ppm) kontaminasyon çözeltileri hazırlanmıştır. Her bir kontaminasyon seviyesi için çözelti hazırlanırken 3 litre saf su kullanılmıştır. Buna göre, 1000 ppm konsantrasyonu elde etmek amacıyla 3 litre suya 3 g ve 5000 ppm için ise 15 g nikel sülfat ilave edilmiştir. Görsel 2'de gösterildiği üzere, iri kristal/tuz benzeri bir yapıya sahip olan nikel sülfat, su içerisine eklendikten sonra mekanik olarak karıştırılarak tamamen çözünmesi sağlanmıştır. Böylece her bir konsantrasyon için homojen nikel sülfat çözeltileri elde edilmiştir.

Görsel 2. Nikel sülfatın fiziksel görünüşü

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Bu çalışmada, ağır metal ile kirletilmiş zeminlerin iyileştirilmesi amacıyla borik asit (H_3BO_3) remedasyon ajanı olarak kullanılmıştır. Kullanılan borik asit, laboratuvar deneylerine uygun toz formda olup deneyler öncesinde herhangi bir kimyasal ön işleme tabi tutulmamıştır (Görsel 3). Borik asit, zayıf asidik karakteri ve metal iyonları ile etkileşime girebilme potansiyeli nedeniyle, ağır metal kontaminasyonunun azaltılmasında tercih edilmiştir. Toz formdaki borik asit, deneysel çalışmalarda doğrudan zemin numunelerine ilave edilerek kullanılmış ve homojen bir karışım elde edebilmek amacıyla zemin ile kuru halde dikkatli bir şekilde karıştırılmıştır. Borik asidin zemin bünyesinde eşit dağılımını sağlamak için karışım işlemi kontrollü olarak gerçekleştirilmiş, topaklanmayı önlemek amacıyla gerekli durumlarda karıştırma süresi uzatılmıştır. Bu yaklaşım ile borik asidin zemin daneleriyle etkin temas kurması ve ağır metal iyonları ile kimyasal etkileşime girmesi hedeflenmiştir. Borik asit uygulaması, nikel ile kirletilmiş zeminlerin geoteknik özelliklerindeki değişimleri değerlendirebilmek amacıyla gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar kontrol ve yalnızca nikel ile kirletilmiş numunelerle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Görsel 3. Borik asitin fiziksel görünüşü

2.2. Yöntemler

Laboratuvar çalışmalarının ilk aşamasında, kirletilmemiş kontrol numuneleri ile nikel ile yapay olarak kirletilmiş zemin numunelerinin geoteknik indeks özellikleri belirlenmiştir. Bu kapsamda, zeminlerin dane boyu dağılımlarının elde edilmesi ve sınıflandırmalarının yapılabilmesi amacıyla kuru ve ıslak elek analizleri birlikte uygulanmıştır. Böylece, nikel kontaminasyonunun ve farklı deney koşullarının dane boyu dağılımı üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Elek analizleri, ASTM D6913 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney öncesinde zemin numuneleri, 105 °C sıcaklıkta 24 saat etüvde kurutulmuş, ardından her bir deney için 1000 g numune tartılarak hazırlanmıştır. Islak elek analizinde, numune doğrudan No.200 (0.075 mm) elek içerisine yerleştirilmiş ve su ile yıkanarak 0.075 mm'den daha ince danelerin ayrılması sağlanmıştır. Yıkama işlemi tamamlanan numune, tekrar 105 °C'de 24 saat kurutulmuş ve kurutma sonrasında kalan malzeme tartılarak değerlendirilmiştir. Ardından, aynı numuneler üzerinde kuru elek analizi uygulanmıştır. Kullanılan elek seti, 4.75 mm ile 0.075 mm arasında açıklık boyutlarına sahip standart eleklerden oluşmuştur. Her elek üzerinde kalan zemin miktarı ayrı

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
ayrı tartılmış, bu değerlerin toplam numune ağırlığına oranları hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar kullanılarak granülometrik eğriler oluşturulmuştur. Sonuçlar, kirletilmemiş ve kirletilmiş numuneler arasında karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Zeminlerin plastisite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla likit limit deneyleri, BS 1377 standardına uygun olarak düşen koni penetrasyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler; kirletilmemiş kontrol numunesi ile 1000 ppm ve 5000 ppm nikel konsantrasyonuna sahip zemin numuneleri üzerinde yürütülmüştür. Deney öncesinde tüm numuneler No.40 (0.425 mm) elekten geçirilerek homojen hale getirilmiştir. Deneylerde, paslanmaz çelik koni kullanılmıştır. Belirli su içeriklerinde hazırlanan zemin çamuru standart ölçüm kabına yerleştirilmiş, yüzeyi düzeltilmiş ve koni numune yüzeyine temas ettirilerek 5 saniye süreyle serbest bırakılmıştır. Penetrasyon derinliği 20 ± 0.2 mm olacak şekilde numunenin su içeriği ayarlanmış; bu değere ulaşıldığında numunenin yaş ve kuru ağırlıkları ±0.01 g hassasiyetindeki dijital terazi ile ölçülmüştür. Hesaplanan su içeriği, ilgili numune için likit limit değeri olarak kaydedilmiştir.

Numunelerin özgül ağırlık değerlerinin belirlenmesi amacıyla ASTM D7928 standardına göre piknometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. 250 ml kapasiteye sahip piknometreye önce içinde yalnızca distile su varken 15 dk vakum uygulanmış ardından etüvde kurutulmuş 0.425 mm elek altına geçmiş numune ve distile su ile dolu piknometreye 15 dk daha vakum uygulanmıştır. Elde edilen değerler özgül ağırlık hesaplanmasından kullanılmıştır.

Zeminlerin sıkışabilirlik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Standart Proctor Kompaksiyon Deneyi, ASTM D698 standardına uygun olarak uygulanmıştır. Deneyler, kirletilmemiş kontrol numunesi ile 1000 ppm ve 5000 ppm nikel ile kirletilmiş zemin numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için beş farklı su içeriği denenmiştir. Deney öncesinde Proctor kalıbı, taban plakası ve yaka ağırlıkları belirlenmiştir. Önceden nemlendirilen zemin, kalıba üç tabaka halinde yerleştirilmiş ve her tabakaya 2.5 kg ağırlığındaki tokmak ile 25 darbe uygulanmıştır. Darbelerin yüzeye eşit dağılmasına özen gösterilmiştir. Sıkıştırma tamamlandıktan sonra yaka çıkarılmış, zemin yüzeyi kalıp hizasında düzeltilmiş ve kalıp–numune birlikte tartılmıştır. Numune kalıptan çıkarıldıktan sonra, su içeriği tayini için çekirdekten örnek alınmıştır. Farklı su içeriklerinde tekrarlanan deney sonuçları kullanılarak maksimum kuru birim hacim ağırlık ($\gamma_{k,maks}$) ve optimum su içeriği (w_{opt}) değerleri belirlenmiştir.

Numunelerin kirlenmeden kimyasal olarak ne şekilde etkilendiğinin belirlenmesi amacıyla, her bir numunenin pH ölçümleri ASTM D4972 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 10 g kuru numune ile 100 ml distile su karışım hazırlanmış, cam beherlerde 24 saat boyunca bekletilmiştir. Dengeye ulaşan çözeltide pH ölçümleri hassas dijital pH metre ile yapılmıştır. Bu yöntem, özellikle ağır metal içeren kumlu zeminlerde metal çözünürlüğü ve zemin-su etkileşiminin analizinde kritik öneme sahiptir.

Laboratuvarda gerçekleştirilen tüm deneyler, her bir numune grubu için iki kez tekrarlanmış, elde edilen sonuçların ortalamaları değerlendirmeye alınmıştır. Her bir deney seti için toplamda sekiz adet numune kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan numune gruplarının adlandırılması ve deney programı Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Tüm numunelere ait geoteknik indeks parametreleri

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

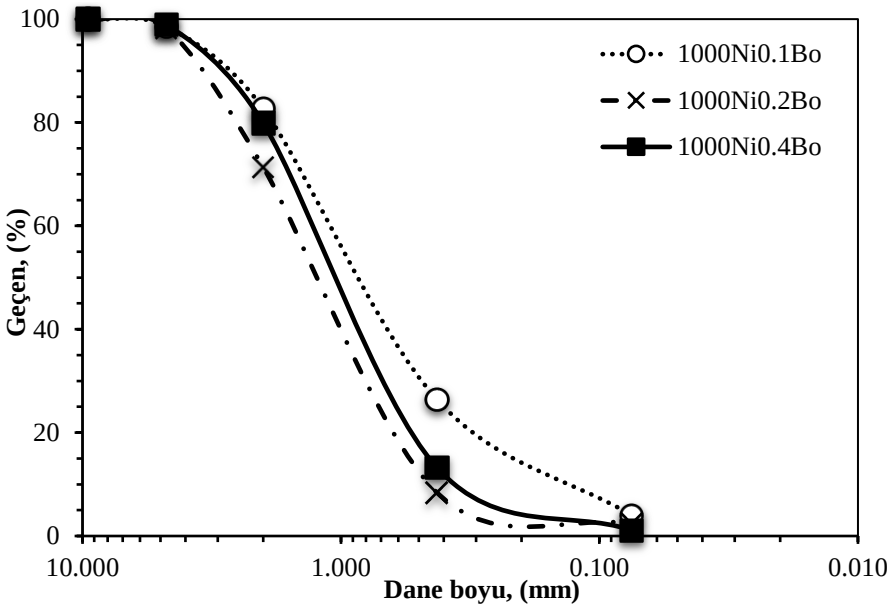
Numune Adı	Borik Asit oranı (%)	Nikel Sülfat oranı (ppm)
1000Ni	0	1000
2000Ni	0	2000
5000Ni	0	5000
1000Ni0.1Bo	0.1	1000
2000Ni0.1Bo	0.1	2000
5000Ni0.1Bo	0.1	5000
1000Ni0.2Bo	0.2	1000
2000Ni0.2Bo	0.2	2000
5000Ni0.2Bo	0.2	5000
1000Ni0.4Bo	0.4	1000
2000Ni0.4Bo	0.4	2000
5000Ni0.4Bo	0.4	5000

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

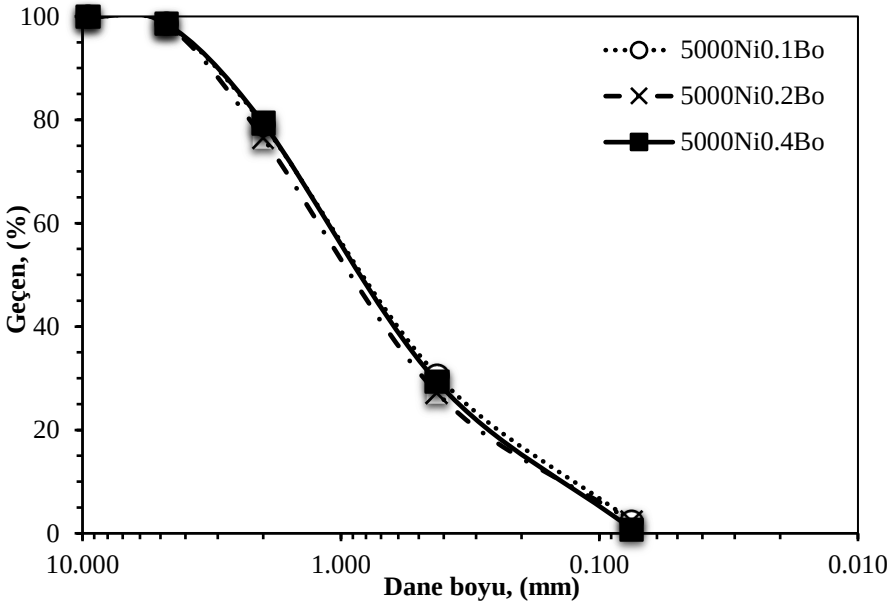
Görsel 4 ve Görsel 5'te, 1000 ppm ve 5000 ppm nikel ile kirletilmiş zemin numunelerinde %0.1, %0.2 ve %0.4 borik asit ilavesinin dane boyu dağılımına etkisini göstermektedir. 1000 ppm nikel içeren numunelerde, borik asit oranının artmasıyla birlikte granülometrik eğrilerin özellikle orta–ince kum aralığında belirgin şekilde değiştiği, %0.2 ve %0.4 borik asit içeren numunelerde eğrinin daha dik ve dar bir dağılım sergilediği görülmektedir. Buna karşılık, 5000 ppm nikel içeren numunelerde borik asit oranına bağlı değişimlerin sınırlı olduğu ve eğrilerin birbirine yakın seyrettiği gözlenmiştir.

Bu durum, düşük nikel konsantrasyonlarında borik asidin ince dane davranışını daha etkin şekilde yönlendirdiğini; yüksek nikel konsantrasyonlarında ise dane yüzeylerinin yoğun iyonik etkileşimler nedeniyle kimyasal katkılara daha az duyarlı hâle geldiğini göstermektedir. Benzer şekilde, literatürde düşük metal konsantrasyonlarında kimyasal katkıların ince danelerde agregalaşmayı teşvik ettiği, yüksek konsantrasyonlarda ise bu etkinin zayıfladığı rapor edilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 4. 1000 ppm nikel sülfat ile kirletilmiş numunelerin dane boyu dağılım eğrileri



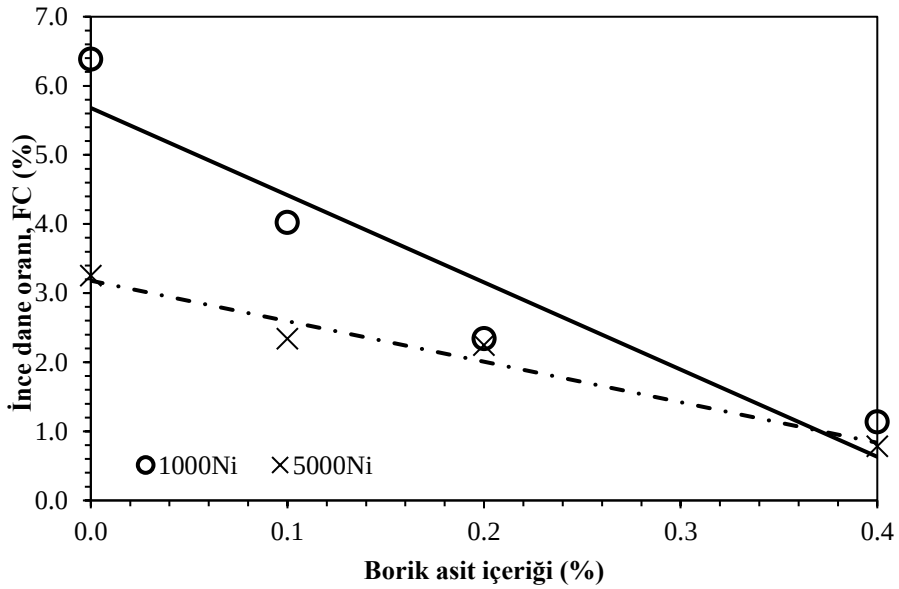
Görsel 5. 5000 ppm nikel sülfat ile kirletilmiş numunelerin dane boyu dağılım eğrileri

Görsel 6'da borik asit içeriğinin artmasıyla birlikte her iki nikel konsantrasyonunda da ince dane oranının (FC) azaldığı görülmektedir. 1000 ppm nikel içeren numunelerde bu azalma daha belirgin olup, borik asit içeriği %0'dan %0.4'e yükseldiğinde FC değerinde keskin bir düşüş meydana gelmiştir. 5000 ppm nikel içeren numunelerde ise FC azalımı daha sınırlı bir eğimle gerçekleşmiştir.

Bu eğilim, borik asidin ince daneleri agregalaştırarak daha iri dane davranışı kazandırdığını ve bu etkinin düşük nikel konsantrasyonlarında daha baskın olduğunu göstermektedir. Literatürde, ağır metal iyonlarının ve zayıf asidik katkıların dane yüzey yüklerini değiştirerek ince dane flokülasyonunu etkilediği, ancak yüksek metal konsantrasyonlarında yüzey doygunluğunun bu etkiyi sınırladığı bildirilmektedir. İnce dane oranındaki azalma, zemin dokusunun daha iskelet

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

kontrollü bir yapıya yöneldiğini ve bu durumun ilerleyen aşamalarda kompaksiyon ve kayma dayanımı sonuçlarını etkilemesi açısından önem taşıdığını göstermektedir.



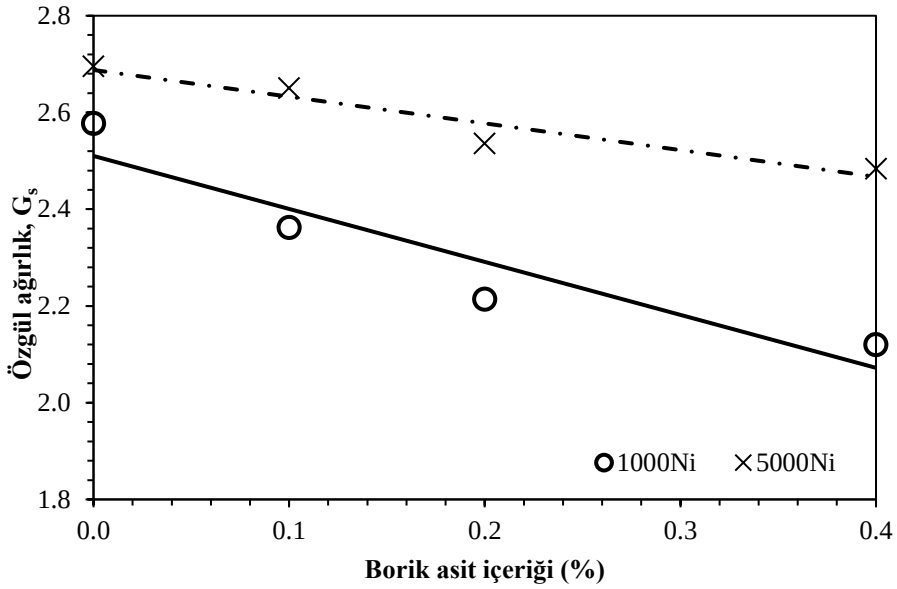
Görsel 6. Borik asit remedasyonunun farklı nikel konsantrasyonlarında ince dane oranı üzerindeki etkisi

Görsel 7'de, 1000 ppm ve 5000 ppm nikel ile kirletilmiş zemin numunelerinde borik asit içeriğinin (%0–%0.4) özgül ağırlık (G_s) üzerindeki etkisi sunulmaktadır. Grafikler incelendiğinde, borik asit oranının artmasıyla birlikte her iki nikel konsantrasyonu için de G_s değerlerinde azalma eğilimi olduğu görülmektedir. Ancak bu azalmanın 1000 ppm nikel içeren numunelerde daha belirgin, 5000 ppm nikel içeren numunelerde ise daha sınırlı olduğu dikkat çekmektedir.

1000 ppm nikel içeren numunelerde borik asit içeriğinin artmasıyla G_s değerinin daha keskin bir düşüş göstermesi, borik asidin düşük metal konsantrasyonlarında dane yüzey kimyasını daha etkin şekilde değiştirdiğini ve zemin bünyesindeki mineral–iyon etkileşimlerini belirgin biçimde etkilediğini düşündürmektedir. Buna karşılık, 5000 ppm nikel içeren numunelerde G_s değerlerinin daha yüksek seviyelerde kalması ve azalma eğiliminin daha yatık olması, yüksek nikel konsantrasyonlarında dane yüzeylerinin metal iyonları ile doygunluğa yaklaşması nedeniyle borik asit ilavesinin etkisinin kısmen baskılandığını göstermektedir.

Özgül ağırlıktaki bu azalma eğilimi, borik asit ilavesiyle birlikte ince danelerin agregalaşması ve zemin dokusunun daha iskelet kontrollü bir yapıya yönelmesiyle ilişkilendirilebilir. Literatürde, kimyasal katkılar ve ağır metal etkileşimleri sonucunda zeminlerin efektif mineral yoğunluğunun ve dane–boşluk düzeninin değişebileceği belirtilmektedir. Bu bağlamda elde edilen G_s sonuçları, granülometri ve ince dane oranındaki değişimlerle uyumlu olup, borik asit remedasyonunun zemin dokusu üzerinde bütüncül bir etki yarattığını göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



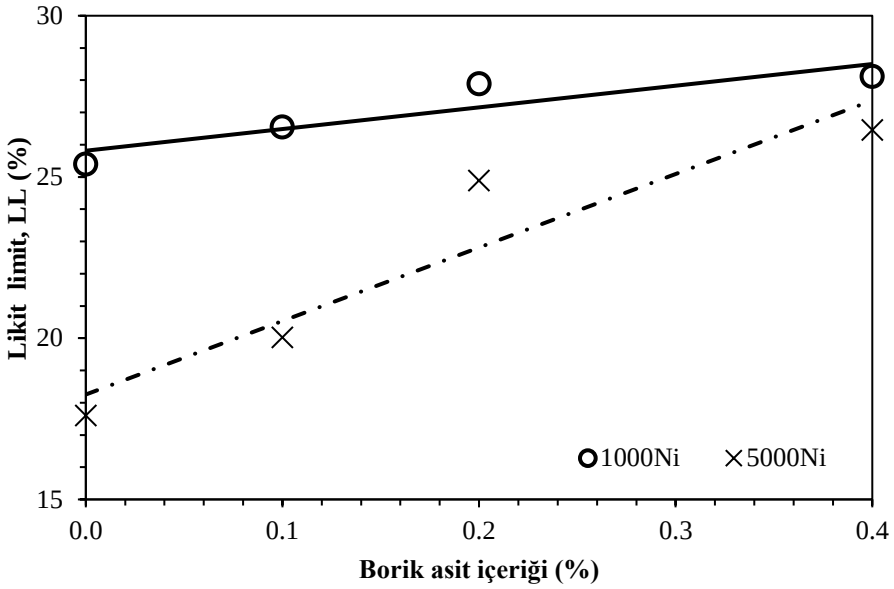
Görsel 7. Borik asit remedasyonunun farklı nikel konsantrasyonlarında özgül ağırlık üzerindeki etkisi

Görsel 8'de, 1000 ppm ve 5000 ppm nikel ile kirletilmiş zemin numunelerinde borik asit içeriğinin (%0–%0.4) likit limit (LL) üzerindeki etkisi sunulmaktadır. Sonuçlar, borik asit oranının artmasıyla birlikte her iki nikel konsantrasyonunda da LL değerlerinin arttığını göstermektedir. Ancak artış eğiliminin 5000 ppm nikel içeren numunelerde daha belirgin olduğu dikkat çekmektedir.

1000 ppm nikel içeren numunelerde LL artışı sınırlı ve daha yatık bir eğilim sergilerken, 5000 ppm nikel içeren numunelerde borik asit ilavesiyle LL değerlerinde daha keskin bir artış gözlenmiştir. Bu durum, yüksek nikel konsantrasyonlarında borik asit ilavesinin zemin–su etkileşimini daha belirgin şekilde değiştirdiğini ve ince fraksiyonların su tutma eğilimini artırdığını düşündürmektedir. Borik asidin zayıf asidik karakteri ve iyonik etkileşimleri dengeleme potansiyeli, yüksek metal içeriğine sahip numunelerde su–dane etkileşimini güçlendirmiş olabilir.

Literatürde, ağır metal iyonlarının ve kimyasal katkı maddelerinin zeminlerin likit limit davranışını, özellikle yüzey yükleri ve hidratasyon kabuğu kalınlığı üzerinden etkileyebildiği belirtilmektedir. Bu bağlamda, çalışmada gözlenen LL artışı, borik asit ilavesiyle birlikte ince danelerin suya karşı duyarlılığının artmasıyla ilişkilendirilebilir. Elde edilen sonuçlar, borik asit remedasyonunun yalnızca granülometrik özellikleri değil, kıvam limitlerini ve dolayısıyla zemin davranışını da etkilediğini göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 8. Borik asit remedasyonunun farklı nikel konsantrasyonlarında likit limit üzerindeki etkisi

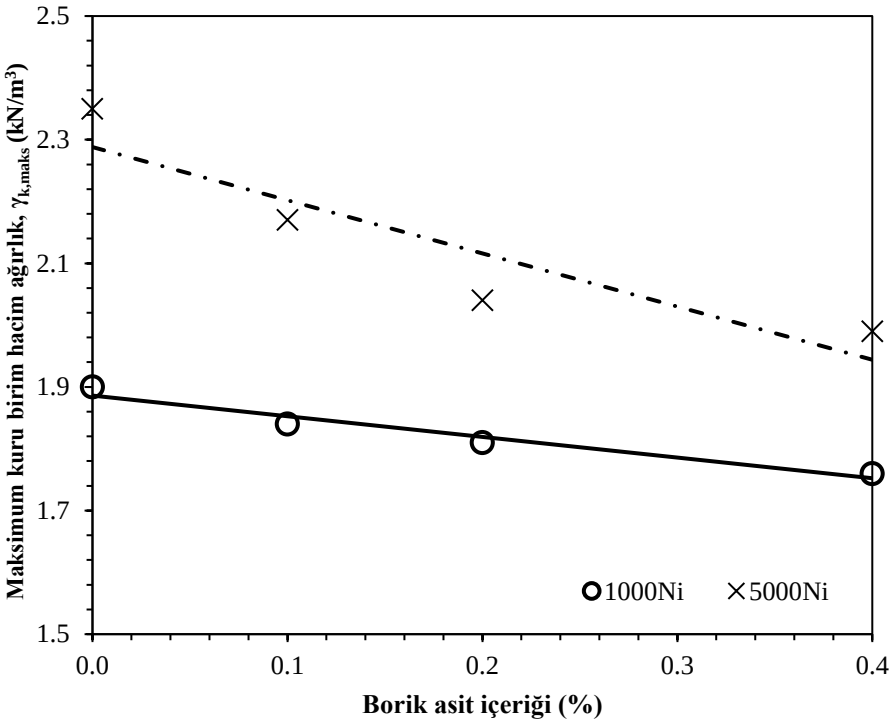
Görsel 9 ve Görsel 10'da, 1000 ppm ve 5000 ppm nikel ile kirletilmiş zemin numunelerinde borik asit içeriğinin (%0–%0.4) kompaksiyon parametreleri üzerindeki etkileri sunulmaktadır. Sonuçlar, borik asit oranının artmasıyla birlikte her iki nikel konsantrasyonunda da optimum su içeriğinin (OMC) arttığını, buna karşılık maksimum kuru birim hacim ağırlığın ($\gamma_{k,maks}$) azaldığını göstermektedir.

OMC değerlerindeki artış, özellikle 5000 ppm nikel içeren numunelerde daha belirgin olup, borik asit ilavesiyle zemin–su etkileşiminin güçlendiğini ve daha fazla suya ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Bu durum, borik asidin zayıf asidik karakteri ve ince fraksiyonlar üzerindeki kimyasal etkileri nedeniyle danelerin su tutma kapasitesinin artmasıyla ilişkilendirilebilir. Önceki bölümlerde gözlenen likit limit artışı ile bu eğilim uyumludur.

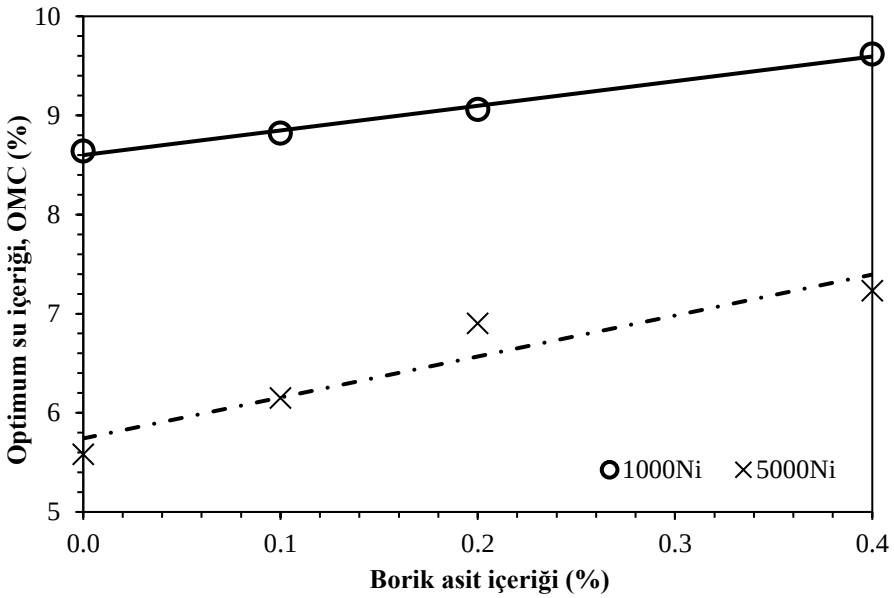
Buna karşılık, $\gamma_{k,maks}$ değerlerinde gözlenen azalma, borik asit ilavesiyle birlikte zemin dokusunun daha gevşek ve iskelet kontrollü bir yapıya yöneldiğini düşündürmektedir. İnce dane oranındaki azalma ve granülometrik eğrilerdeki daralma dikkate alındığında, kompaksiyon sırasında daneler arası yeniden düzenlenmenin kısıtlandığı ve bu durumun maksimum kuru birim hacim ağırlığın düşmesine neden olduğu söylenebilir. Benzer şekilde, kimyasal katkılar ve ağır metal etkileşimleri sonucunda OMC'nin arttığı ve $\gamma_{k,maks}$ değerlerinin azaldığı literatürde de rapor edilmiştir.

Genel olarak, kompaksiyon deneylerinden elde edilen sonuçlar borik asit remedasyonunun yalnızca kimyasal bir iyileştirme sağlamadığını, aynı zamanda zeminin mühendislik davranışını da anlamlı biçimde değiştirdiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, borik asit uygulamalarının saha ölçeğinde değerlendirilirken çevresel faydaların yanı sıra kompaksiyon performansının da dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 9. Borik asit remedasyonunun farklı nikel konsantrasyonlarında maksimum kuru birim hacim ağırlık üzerindeki etkisi



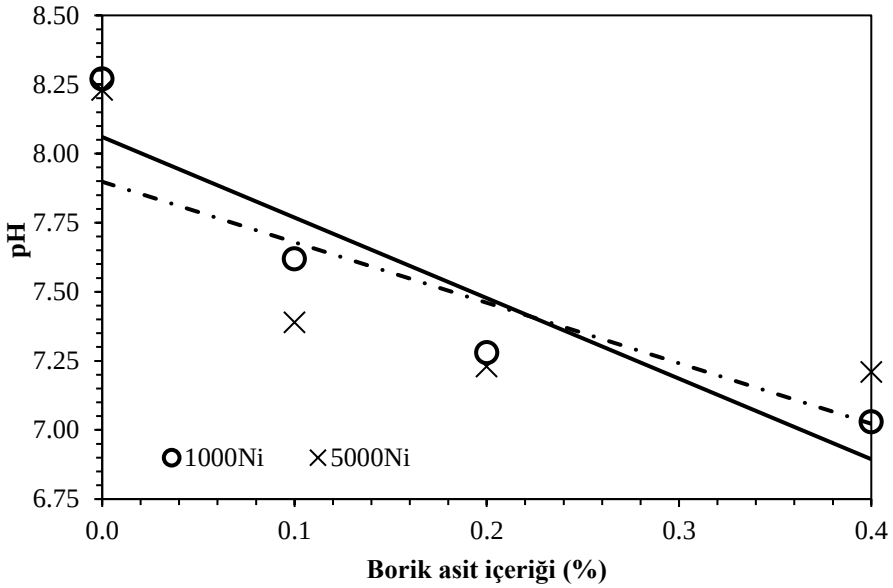
Görsel 10. Borik asit remedasyonunun farklı nikel konsantrasyonlarında optimum su içeriği üzerindeki etkisi

Görsel 11'de, 1000 ppm ve 5000 ppm nikel ile kirletilmiş zemin numunelerinde borik asit içeriğinin (%0–%0.4) pH üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Sonuçlar, borik asit oranının artmasıyla birlikte her iki nikel konsantrasyonu için de pH değerlerinde düzenli bir azalma meydana geldiğini ortaya koymaktadır. Başlangıçta hafif alkali–nötr aralıkta bulunan pH değerleri, borik asit ilavesiyle birlikte nötr değerlere yaklaşmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

pH'daki bu düşüş, borik asidin zayıf asidik karakteri ile uyumlu olup, zemin–boşluk suyu kimyasının kademeli olarak değiştiğini göstermektedir. Özellikle düşük borik asit oranlarında pH değişimi sınırlı kalırken, %0.2 ve %0.4 seviyelerinde daha belirgin bir azalma eğilimi gözlenmiştir. Nikel konsantrasyonunun artmasıyla birlikte pH değişim eğiliminin daha yatık hâle gelmesi, yüksek metal içeriğinde gözenek suyunun tamponlanma kapasitesinin artmasıyla açıklanabilir.

Literatürde, pH değişiminin ağır metal iyonlarının zemin daneleri ile etkileşimini ve yüzey yüklerini doğrudan etkilediği; bunun da ince dane davranışı, su tutma kapasitesi ve dolaylı olarak geoteknik özellikler üzerinde belirleyici rol oynadığı belirtilmektedir. Bu bağlamda, çalışmada gözlenen pH azalımı; ince dane oranındaki düşüş, likit limit ve optimum su içeriğindeki artış ile tutarlı bir kimyasal zemin oluşturmaktadır. Sonuçlar, borik asit remedasyonunun yalnızca metal immobilizasyonu açısından değil, zemin davranışını yönlendiren kimyasal ortamı değiştirmesi açısından da kritik olduğunu göstermektedir.



Görsel 11. Borik asit remedasyonunun farklı nikel konsantrasyonlarında pH üzerindeki etkisi

Görsellerde verilen deneysel veriler daha net anlaşılması için ayrıca Çizelge 2'de listelenmiştir.

Çizelge 2. Tüm numunelere ait geoteknik indeks parametreleri

Numune	Katkı (%)	Gs	FC (%)	LL (%)	OMC (%)	MDU (kN/m^3)	pH
1000Ni	0	2.58	6.38	25.4	8.64	1.9	8.27
2000Ni	0	2.62	5.37	24.7	6.61	1.85	7.83
5000Ni	0	2.70	3.25	17.6	5.58	2.35	8.23
1000Ni0.1Bo	0.1	2.36	4.02	26.55	8.82	1.84	7.62
2000Ni0.1Bo	0.1	2.48	3.45	25.16	7.21	1.82	7.45
5000Ni0.1Bo	0.1	2.65	2.34	20.02	6.15	2.17	7.39

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1000Ni0.2Bo	0.2	2.21	2.34	27.89	9.06	1.81	7.28
2000Ni0.2Bo	0.2	2.50	2.37	25.89	7.20	1.80	7.43
5000Ni0.2Bo	0.2	2.54	2.24	24.89	6.90	2.04	7.23
1000Ni0.4Bo	0.4	2.12	1.14	28.12	9.62	1.76	7.03
2000Ni0.4Bo	0.4	2.38	0.90	26.81	8.06	1.74	7.34
5000Ni0.4Bo	0.4	2.48	0.78	26.46	7.23	1.99	7.21

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, nikel ile kirletilmiş kumlu bir zeminde borik asit remedasyonunun geoteknik özellikler üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, SW sınıfında bir kum zemin 1000 ppm ve 5000 ppm nikel konsantrasyonlarında yapay olarak kirletilmiş; ardından %0.1, %0.2 ve %0.4 oranlarında toz formda borik asit ilavesi uygulanmıştır. Elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Borik asit ilavesi, her iki nikel konsantrasyonunda da dane boyu dağılımını ve ince dane davranışını etkilemiş; özellikle düşük nikel konsantrasyonunda (1000 ppm) ince dane oranında belirgin bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum, borik asidin ince fraksiyonları agregalaştırarak zemin dokusunu daha iskelet kontrollü bir yapıya yönlendirdiğini göstermektedir.
- Özgül ağırlık (G_s) değerleri, borik asit içeriğinin artmasıyla birlikte azalma eğilimi göstermiştir. Bu azalmanın 1000 ppm nikel içeren numunelerde daha belirgin olması, borik asidin düşük metal konsantrasyonlarında dane yüzey kimyasını daha etkin biçimde değiştirdiğine işaret etmektedir.
- Likit limit (LL) ve optimum su içeriği (OMC) değerleri, borik asit oranının artmasıyla birlikte yükselmiş; buna karşılık maksimum kuru birim hacim ağırlık ($\gamma_{k,maks}$) değerlerinde azalma gözlenmiştir. Bu bulgular, borik asit ilavesiyle birlikte zemin–su etkileşiminin güçlendiğini ve kompaksiyon sırasında daha fazla suya ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.
- Borik asit ilavesiyle birlikte pH değerlerinde kontrollü bir düşüş meydana gelmiş ve pH değerleri nötr aralığa yaklaşmıştır. Bu kimyasal ortam değişimi, zemin dokusu ve su tutma davranışındaki değişimlerle uyumlu sonuçlar vermiştir.
- Genel olarak, borik asit remedasyonunun nikel konsantrasyonuna bağlı olarak zemin davranışı üzerinde farklı düzeylerde etkili olduğu belirlenmiştir. Düşük nikel konsantrasyonlarında borik asidin geoteknik özellikler üzerindeki etkisi daha belirgin iken, yüksek nikel konsantrasyonlarında bu etki sınırlı kalmıştır.

Bu çalışma, borik asit esaslı remedasyon uygulamalarının yalnızca çevresel iyileştirme açısından değil, aynı zamanda zeminlerin geoteknik performansı üzerindeki etkileri açısından da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, borik asidin uygun oranlarda kullanılması durumunda, kirlenmiş kumlu zeminlerin mühendislik özellikleri korunarak veya kontrollü biçimde değiştirilerek iyileştirilebileceğini göstermektedir. Gelecek çalışmalarda, farklı zemin türleri, kür süreleri ve uzun dönem dayanım davranışlarının incelenmesi, borik asit remedasyonunun saha uygulamalarına aktarılabilirliğini artıracaktır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KAYNAKÇA

[1] Xie, B., Zheng, X., Zhou, Z., Gu, J., Zhu, B., Chen, X., Shi, Y., Wang, Y., Zhao, Z., Liu, C., Yao, Z. ve Zhu, J. Effects of nitrogen fertilizer on CH_4 emission from rice fields: multi-site field observations. Plant Soil, 326, 2010.

[2] Çoruh, S., Elevli, S., Ergun, O. N., ve Demir, G. Assessment of leaching characteristics of heavy metals from industrial leach waste. International Journal of Mineral Processing, 123, 2013.

[3] Priya, A.K., Muruganandam, M., Ali, S.S. ve Kornaros, M. Clean-Up of Heavy Metals from Contaminated Soil by Phytoremediation: A Multidisciplinary and Eco-Friendly Approach. Toxics, 11, 422, 2023.

[4] Li, J., Xue, Q., Wang, P. ve Li, Z. Effect of lead (II) on the mechanical behavior and microstructure development of Chinese clay. Applied Clay Science, 105-106, 2015.

[5] Chu Y., Liu, S., Wang, F., Cai, G. ve Hanliang, B. Estimation of heavy metal-contaminated soils' mechanical characteristics using electrical resistivity. Environmental Science Pollution Research, 24, 2017.

[6] Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., Yan, X., ve Han, W. A Review on Heavy Metals Contamination in Soil: Effects, Sources, and Remediation Techniques. Soil and Sediment Contamination: An International Journal, 28, 2019.

[7] Negahdar, A., ve Nikghalbpour, M. Geotechnical properties of sandy clayey soil contaminated with lead and zinc. SN Applied Science, 2, 2020.

[8] Karkush, M.O., ve Resol, D.A. Geotechnical Properties of Sandy Soil Contaminated with Industrial Wastewater. Journal of Engineering Science and Technology, 12, 2017.

[9] Zhang, H., Xu, Y., Kanyerere, T., Wang, Y. ve Sun, M. Washing Reagents for Remediating Heavy-Metal-Contaminated Soil: A Review. Frontiers in Earth Science, 10, 2022.

[10] Lee, J., Kim, Y., Kwon, Y., Kong, S., Park, S., Lee, C. Ve Sung, H. A Study of Heavy Metal-Contaminated Soil Remediation with a EDTA and Boric Acid Composite (II): Cd and Cr. Journal of Soil and Groundwater Environment, 9, 2004.

[11] ASTM D6913/D6913M-17. Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis. ASTM, Philadelphia, Pa, 2021.

[12] BS 1377-1. Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes—Part 1: General Requirements and Sample Preparation. British Standards Institution, 1990.

[13] ASTM D698-12. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft^3 (600 kN-m/m^3)). ASTM, Philadelphia, Pa, 2021.

[14] ASTM D7928-21e1. Standard Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis. ASTM, Philadelphia, Pa, 2021.

[15] ASTM D4972-19. Standard Test Methods for pH of Soils. ASTM, Philadelphia, Pa, 2019.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

AN INTEGRATED GIS–REMOTE SENSING ANALYTICAL FRAMEWORK FOR DROUGHT MONITORING AND MANAGEMENT

Dr. Öğr. Üyesi Çağla Melisa Kaya Yıldız
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, caglamelisa.kaya@ikcu.edu.tr –ORCID: 0000-0002-2664-7510

Drought is a natural disaster that has become more frequent and severe due to the increasing impact of extreme climatic events and has both environmental and socioeconomic impacts. These impacts lead to multifaceted consequences such as reduced agricultural production, depletion of water resources, soil degradation, and rural migration. This study proposes a theoretical model developed to monitor drought at spatial and temporal scales. The model is based on the analysis and evaluation of drought indicators obtained through remote sensing techniques in a geographic information systems (GIS) environment.

The conceptual framework is based on the fundamental policy documents guiding drought mitigation at the international level. Agenda 21, declared at the 1992 Rio Summit, the United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), which entered into force in 1994, and the 2015 Paris Climate Agreement, have demonstrated the importance of sustainability and multi-level governance principles in drought management. Turkey's accession to these agreements has also influenced the shaping of drought mitigation policies at the national level. The model includes: Drought risk is mapped based on indicators such as Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil Moisture Status, Surface Temperature (LST), and Standard Precipitation Index (SPI), and spatial vulnerability zones are identified through time-series analyses of these indicators. This creates a monitoring and assessment framework that allows for the early detection of drought risks. Therefore, the proposed model, in line with current trends in remote sensing–based drought monitoring research, provides an analytical framework that strengthens spatial decision-making processes and addresses a methodological gap in the drought literature.

Keywords: Drought Monitoring, Remote Sensing, GIS, NDVI, Sustainability, Desertification

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

PID POSITION CONTROL OF A TWO-LOOP MECHANISM WITH A SINGLE DEGREE OF FREEDOM

Assoc. Prof. Dr. Muhammet AYDIN
Firat University, muhammeta@firat.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-2746-9477

ABSTRACT

This study details the modeling and position control of a two-loop mechanism with a single degree of freedom. In the first stage, a three-dimensional design of the mechanism was created using Solidworks software, considering its geometric structure and motion capabilities. This three-dimensional model was then transferred to Simmechanics for control applications. During the transfer process, the model was converted to XML format and integrated into Matlab, thus creating all kinematic and dynamic blocks of the mechanism within Matlab/Simulink. Position control of the mechanism was addressed using these block diagrams, and a PID control method was applied to control the angular position of the system's input link. In this context, the PID controller was added to the Simulink block diagram, and simulation studies were performed by appropriately adjusting the control parameters. The simulation results showed that the two-loop mechanism with a single degree of freedom reached its defined reference position stably, quickly, and precisely using the PID control method. The data confirmed that the system response settled quickly and the error margin was quite low. The results of this study demonstrate that the PID control method is an effective and reliable method for position control of the mechanism. In future studies, more realistic dynamic behaviors can be obtained by assigning appropriate materials to the three-dimensional model of the mechanism, enabling the transition to real-time applications. In this way, real-time position control of the mechanism can be successfully implemented using the determined PID control coefficients.

Anahtar Kelimeler: Two-loop mechanism, PID control, Simmechanics, Position control.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCTION

Mechanisms are groups of components designed to transfer motion or force in order to perform a specific task. The mass parameters and the inertial effects of mechanism components largely dictate the dynamic behavior of the system. In this case, it is crucial to look at changes in the mechanism's reduced mass moment of inertia [1,2]. Closed-loop mechanisms are widely used in applications requiring high rigidity, precision, and load-carrying capacity. Among these mechanisms, two-bar mechanisms exhibit more complex dynamic behavior compared to classical open-chain mechanisms due to the presence of multiple closed kinematic loops in their structure. This complexity necessitates the precise design of the mechanism's position and velocity control [2].

Today, the Matlab/Simulink-based SimMechanics (Simscape Multibody) environment is widely preferred for modeling and controlling such mechanisms. SimMechanics enables the modeling of mechanical systems while preserving their physical parameters and allows for integrated analysis with control algorithms [3].

Position control aims to ensure that the mechanism accurately, stably, and repeatably follows a specific reference position. In two-eyed mechanisms, due to the closed-loop structure, a position error in one link directly affects the other links. This situation can lead to geometric misalignments and mechanical stresses throughout the entire system [4].

In the SimMechanics environment, two-eyed mechanisms are modeled using a multi-body system approach. Joints, connections, and mass properties are defined physically, thereby obtaining a realistic dynamic model of the system. Position control applications typically use PID, PD, and adaptive or model-based control methods. Simulink control blocks are integrated into the SimMechanics model via feedback signals, creating a closed-loop control structure [5]. One of the advantages offered by SimMechanics is that controller performance can be directly observed based on criteria such as position error, overshoot, and settling time. In the literature, the success of position control in two-eyed and multi-loop mechanisms is directly related to the accuracy of the system model and the appropriate selection of control parameters. SimMechanics-based studies offer more flexible and realistic results compared to analytical solutions [6]. Once the two loop mechanism design is complete, it is critical to ensure the desired position or velocity control. However, the nonlinear dynamic nature of these systems makes control design more challenging. One of the most widely used control methods, PID control, often requires trial and error and makes it difficult to theoretically compute control gains when applied to nonlinear systems [7]. Finding constants that are appropriate for the system is often impossible with this method, which takes a lot of time. Therefore, the coefficients of the PID control method that would perform position control of the two-loop mechanism were determined in this work using the mechanism's 3D model [8,9]. The solid model of the two-loop mechanism created in the Solidworks environment was translated to XML format for use in the Matlab environment. The simulation blocks for the two-loop mechanism were produced by utilizing the xml file to activate the Simmechanics module in the Matlab environment. By running the simulation blocks, the PID control coefficients were automatically retrieved from the model. Additionally, the movement of the mechanism was monitored by running the simulation blocks. Consequently, PID position control of the two-loop mechanism was achieved.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Three-Dimensional Model of Two-Loop Mechanism

A three-dimensional model of the two-loop mechanism that will be managed by the PID technique has been created using the Solidworks solid modeling program. For this objective, one translational component and four rotating components have been built. The assembled solid model of the two-loop mechanism shown in Figure 1 was made by assembling each part according to its movement. The functionality of the mechanism was assessed by moving the input arm and observing the movement of the other arms.

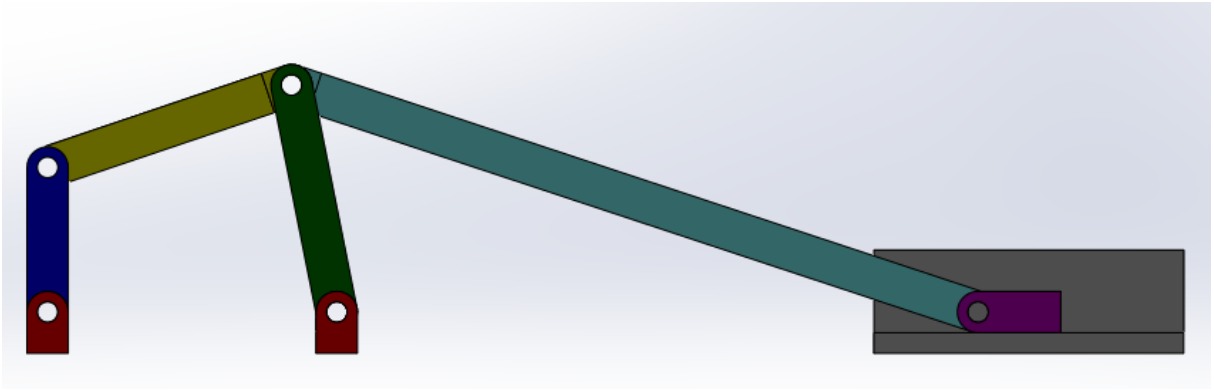


Figure 1. Solid Model of the Two-Loop Mechanism

2.2. Extracting the Two-Loop Mechanism Solid Model to Simmechanics

To transfer the solid model of the two-loop mechanism modeled in SolidWorks to Matlab/SimMechanics, the mechanism's XML file was first exported from SolidWorks. The resulting XML file and the smimport command on Matlab's main command line were used to create the mechanism's Simulink blocks. Figure 2 shows the Matlab two-loop technique. Additionally, Figure 3 shows the Simulink blocks created in Simmechanics using the solid model of the mechanism.

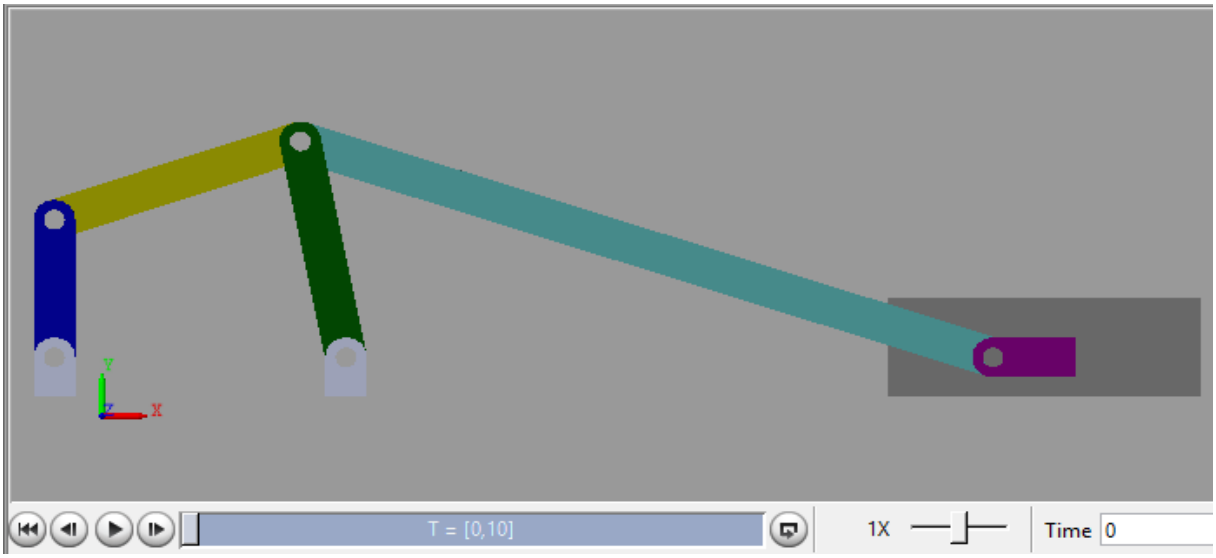


Figure 2. Two-Loop Mechanism Transferred to the Matlab

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

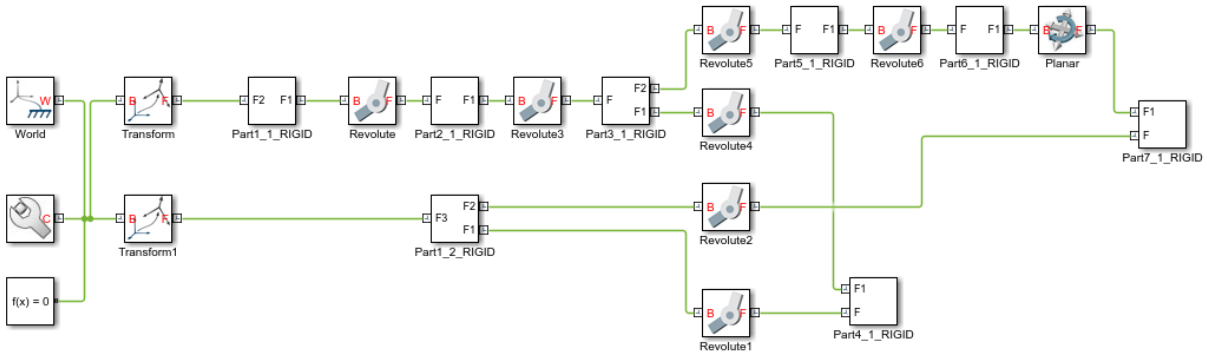


Figure 3. Simulink Blocks of Two-Loop Mechanism

2.3. PID Position Control of Two-Loop Mechanism

Before applying PID control to the two-loop mechanism, further blocks must be added to the Simmechanics blocks. These blocks are the PID control output torque applied to the input member and the feedback value taken from the mechanism's input member. This is accomplished by applying torque to the input member, producing an output that is returned to the input member with unit feedback, creating an error based on the given reference value, and sending it to the PID control block. The other mechanism components must be adjusted in order to change the position of the input element, or the area where the motor is located. Due to the mechanism's single degree of freedom, only the position control of the input arm has been implemented. Figure 4 shows the block diagrams that illustrate the use of PID control to the mechanism.

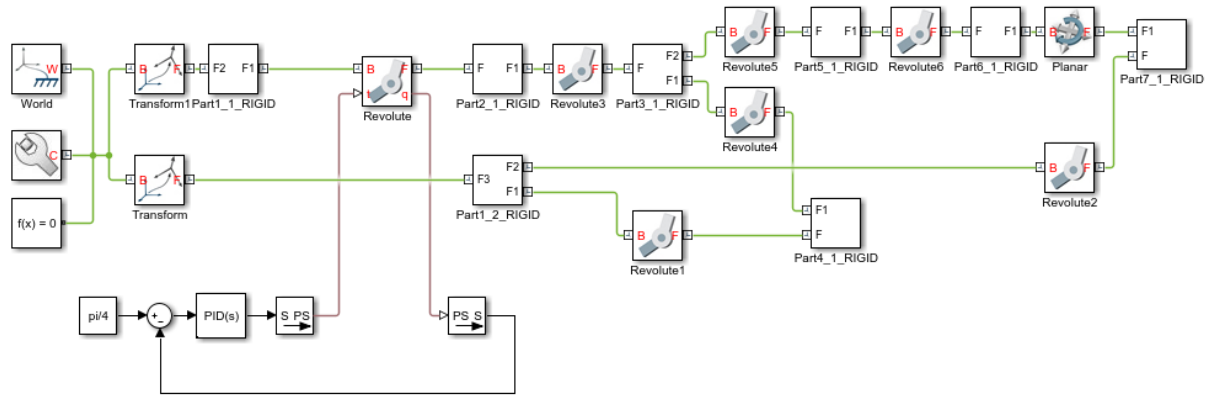


Figure 4. Block Diagram of Two-Loop Mechanism with PID

The results of using the mechanism model with PID control and using the tune button in the PID control to find the gain coefficients suitable for the model after entering the required reference value are shown in Figure 5.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

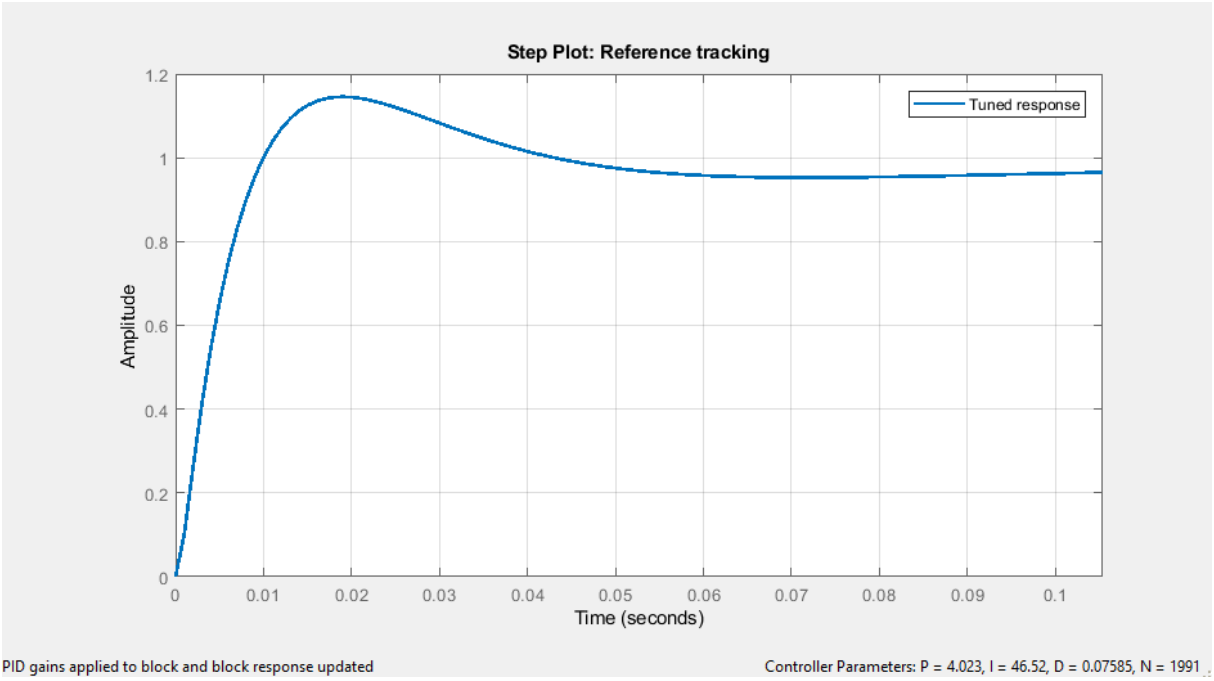


Figure 5. Automatic Calculation of the Mechanism's Gain Coefficients

Additionally, the PID gain coefficients obtained from block model calculations are shown in Figure 6.

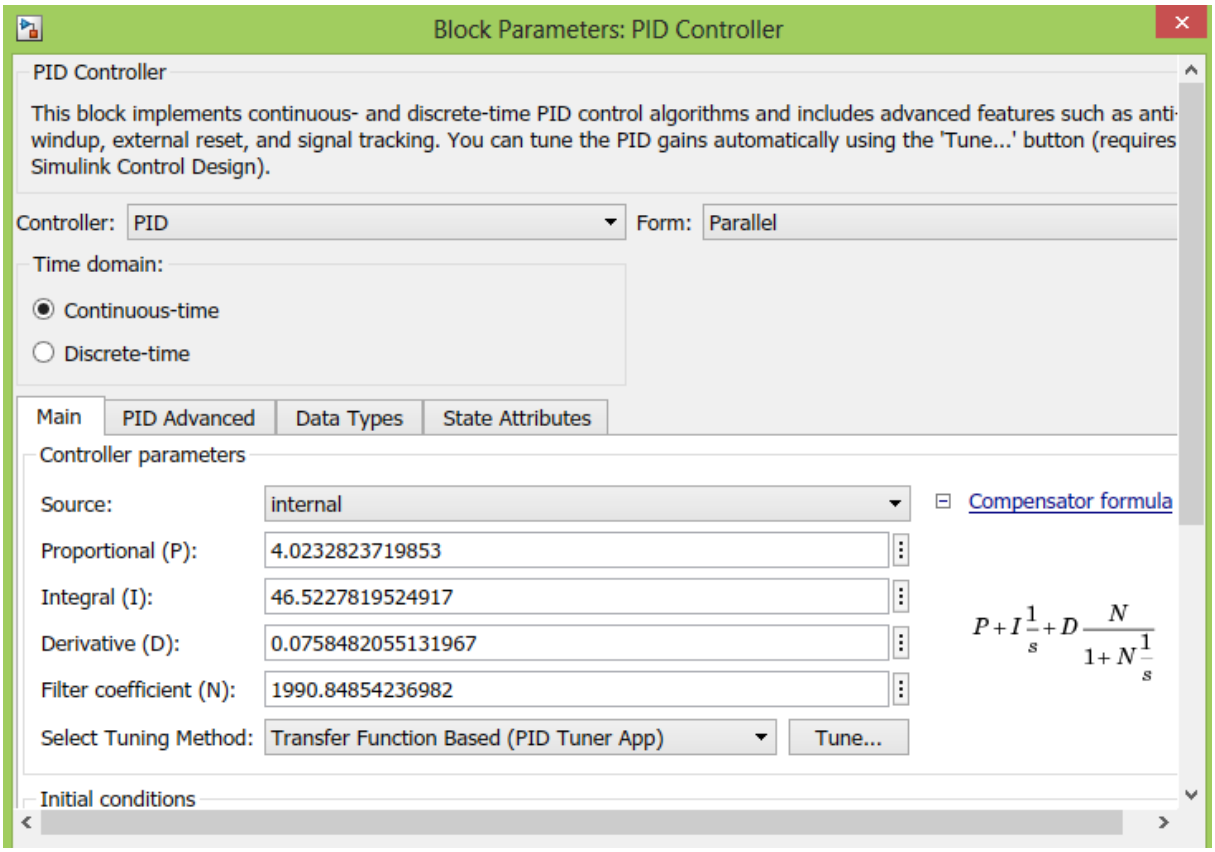


Figure 6. Display of the Mechanism's Gain Coefficients within the PID Block

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

The angle value of the input arm needs to be 45 degrees. Figure 7 illustrates how the use of PID control causes the angle of the mechanism's input arm to reach 45 degrees in the model on the Matlab main screen.

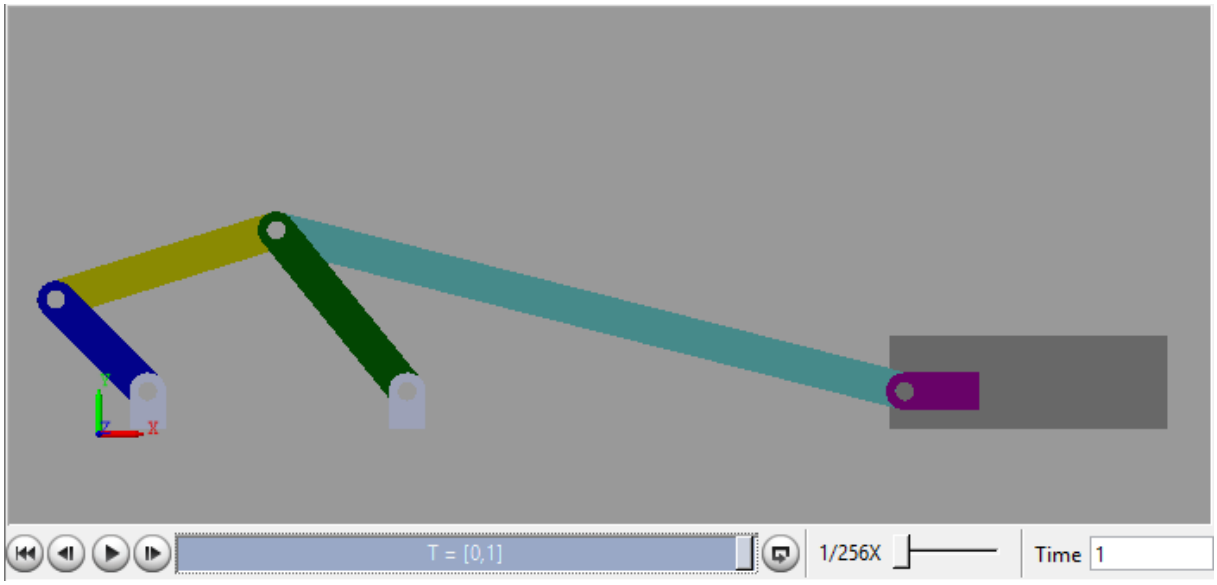


Figure 7. Two-Loop Mechanism Position in Matlab After PID Control

As shown in Figure 8 below, the two-loop mechanism reached the goal position value of 45 degrees following the implementation of PID control. The reference value was displayed as pi/4 in radians, and the output value in radians was converted to degrees and displayed on the screen. This result demonstrates that the desired reference value was reached.

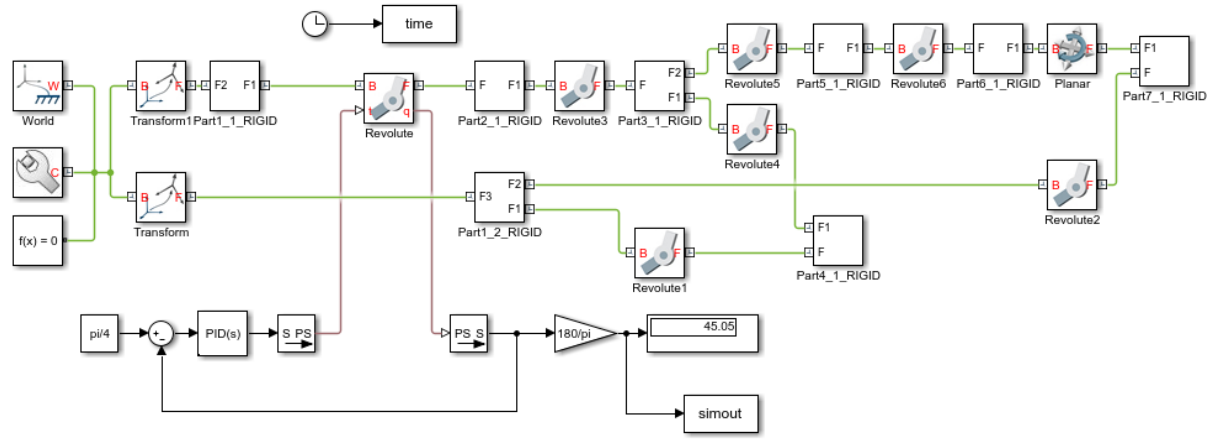


Figure 8. Block Diagrams of the Two-Loop Mechanism after PID Control is Applied

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The PID control method was required to get the input element of the two-loop mechanism to a 45-degree position. Figure 9 shows that in order to obtain the desired reference position value, a settling time of 0.1896 seconds was needed. The graph indicates that 50.5 was the maximum overshoot value. The desired reference value was attained with a maximum overshoot of 12.22%.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

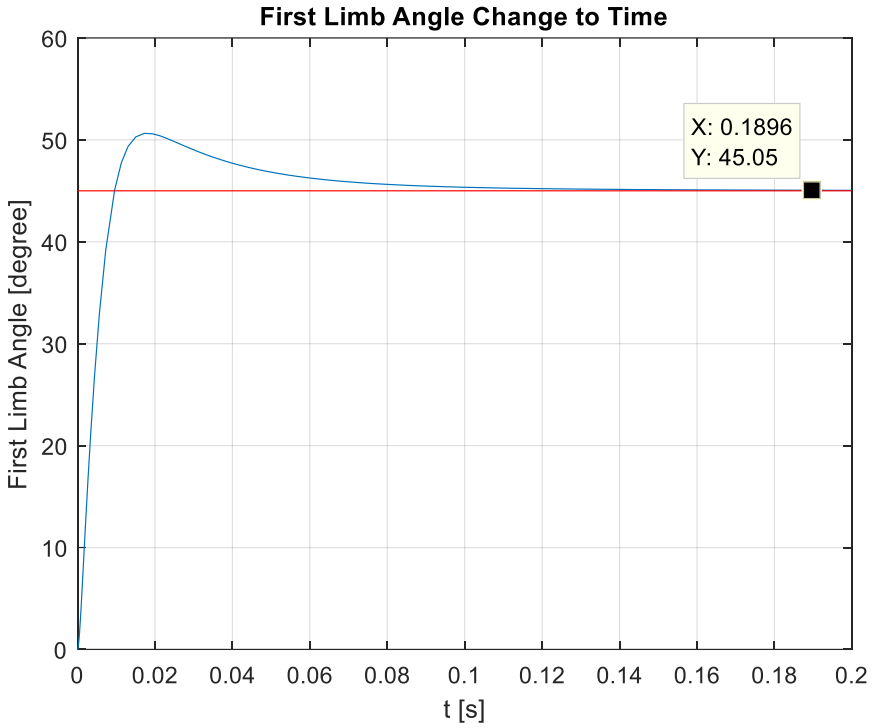
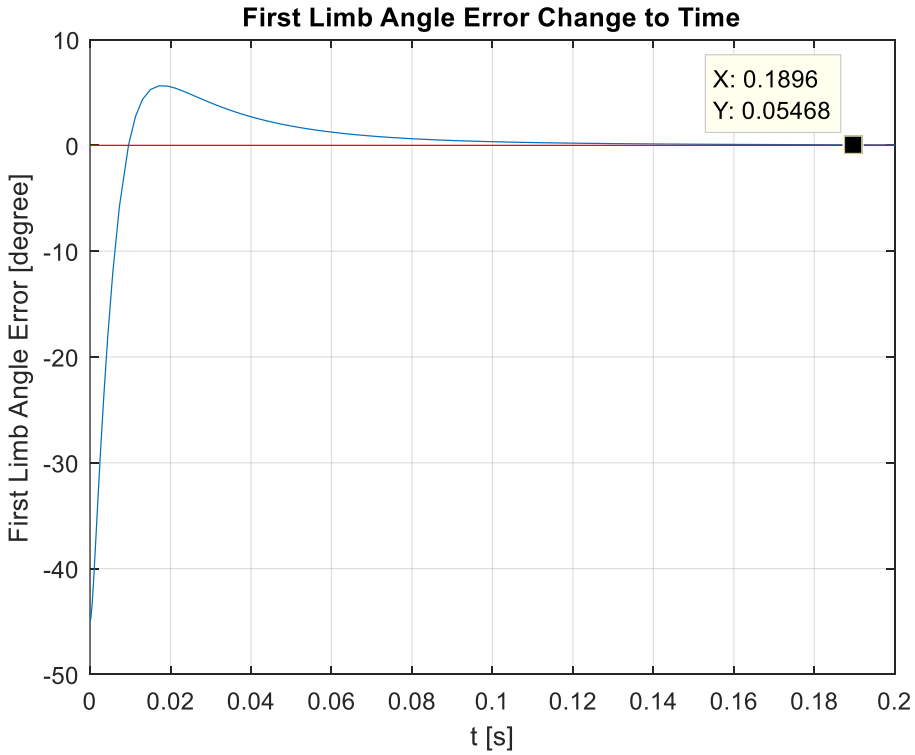


Figure 9. First Limb Angle Change to Time of Two-Loop Mechanism

Figure 10 shows the incorrect value of the mechanism's input member. When 45 degrees was reached, the error value at the point of settling was 0.05468. This error value seems to be very little and within reasonable ranges. In percentage terms, this error value is equal to 0.1215.



ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Figure 10. First Limb Angle Error Change to Time of Two-Loop Mechanism

The application developed in this study can also be used with two-loop mechanisms designed for other purposes. In a similar vein, these devices can have speed control via PID control. PID control gain coefficients can be established using blocks, and SimMechanics can import mechanisms with precisely defined dimensions and material properties. These gain coefficients will therefore aid in the control phase in real-time applications.

4. CONCLUSION

The PID control approach was used in this study to handle the position control issue of the two-loop mechanism while taking into account the mechanism's nonlinear dynamic structure. After being developed in Solidworks, the three-dimensional solid model of the mechanism was imported into Matlab/SimMechanics. As a result, a control infrastructure based on simulation was created while maintaining the mechanism's actual dynamic characteristics. The input member was guided to the intended 45° reference position, and PID control gain coefficients were automatically calculated using block diagrams made in the SimMechanics environment. The outcomes demonstrated that the highest overshoot stayed within allowable bounds and that the mechanism quickly settled to the reference position. Additionally, the extremely low error value at the settling point shows how sensitive the control mechanism that was created is.
Instead of figuring out PID control coefficients by trial and error, the approach employed in this paper allows for their automatic computation based on the real dynamic model of the mechanism. This minimizes time loss and greatly streamlines the control design process. The results show that position control of nonlinear systems, including two-loop mechanisms, may be successfully accomplished using the SimMechanics-based modeling and control approach.
PID-based position control of the two-loop mechanism was thus effectively achieved in this study; it was shown that the suggested approach provides a dependable and workable substitute for control applications in comparable planar mechanisms. In addition to speed and acceleration control, future research will compare the effectiveness of other control mechanisms (such as fuzzy logic, artificial neural networks, or adaptive control techniques).

REFERENCES

[1] Shabana, A. A., Dynamics of Multibody Systems, 4. Baskı, Cambridge University Press, 2013.

[2] *Norton, R. L.*, Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines, *McGraw-Hill, 2020.*

[3] MathWorks, Simscape Multibody User's Guide, MathWorks Inc., 2023.

[4] Tsai, L. W., Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators, Wiley, 1999.

[5] Spong, M. W., Hutchinson, S. ve Vidyasagar, M., Robot Modeling and Control, Wiley, 2020.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

[6] Khalil, W. ve Dombre, E., Modeling, Identification and Control of Robots, Butterworth-Heinemann, 2004.

[7] Åström, K. J. ve Hägglund, T., PID Controllers: Theory, Design, and Tuning, 2. Baskı, ISA, 1995.

[8] MathWorks, Simscape Multibody User's Guide, The MathWorks Inc., 2023.

[9] Rahman, M. A., Rashid, M. M. ve Ahmed, S., PID Position Control of Nonlinear Mechanical Systems, ISA Transactions, 62, 47–58, 2016.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

PID VELOCITY CONTROL OF A TWO-LOOP SINGLE-DEGREE-OF-FREEDOM MECHANISM

Assoc. Prof. Dr. Muhammet AYDIN

Firat University, muhammeta@firat.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-2746-9477

ABSTRACT

The velocity control of a two-loop single-degree mechanism in a simulation-based setting is the subject of this work. The initial step involved utilizing Solidworks software to generate a three-dimensional geometric model of the two-loop system. For usage in control and analytical studies, this 3D model was converted to XML format. The model was transferred to the Matlab/Simulink environment and Simulink blocks for the two-loop mechanism were created using the obtained xml file. To regulate the input arm's velocity, a PID control structure was created using these Simulink environment blocks. The control model was completed by integrating the required extra blocks from the Simulink library into the system in order to accomplish the designated control targets. The simulation results showed that the two-loop mechanism quickly attained the intended reference velocity of 3 rad/s. The PID control strategy can swiftly and accurately manage the mechanism's velocity with a very tiny margin of error, according to an analysis of the collected data. This approach makes it possible to reliably construct the two-loop mechanism's final design in the Solidworks environment prior to moving on to the production phase. Determining the suitable control parameters for real-time applications will be much simpler if the same procedures are repeated while taking into account the material qualities of the mechanism to be constructed. Additionally, it is possible to predict how the system will perform at the intended speed by modeling the mechanism in three dimensions and testing it in a simulation environment prior to manufacturing. In this regard, the work offers time and cost savings in the design and control process, as well as a valuable resource and time savings for upcoming real-time research.

Anahtar Kelimeler: Two-loop mechanism, velocity analysis, PID control method.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCTION

Mechanisms are collections of parts intended to transfer force or motion in order to carry out a certain function. The system's dynamic behavior is mostly determined by the mass parameters and the inertial impacts of mechanism components. Examining variations in the mechanism's reduced mass moment of inertia is critical in this situation [1,2]. Applications needing high stiffness, accuracy, and load-carrying capability frequently employ closed-loop systems. Because two-bar mechanisms have several closed kinematic loops in their structure, they display more complex dynamic behavior than standard open-chain mechanisms. Because of this intricacy, the mechanism's position and velocity control must be precisely designed [2].

These days, most people choose to simulate and control such systems using the SimMechanics (Simscape Multibody) environment, which is based on Matlab/Simulink. SimMechanics permits integrated analysis with control algorithms and the modeling of mechanical systems while maintaining their physical properties [3].

The goal of velocity control is to guarantee that the mechanism precisely, steadily, and consistently adheres to a given reference velocity profile. The motion of the other links in two-loop mechanisms is directly impacted by velocity differences in one link due to the closed-loop structure. Increased dynamic loads throughout the system, transient oscillations, and synchronization faults are possible outcomes of such linked dynamic effects [4].

Two-eyed mechanisms are modeled using a multi-body system technique in the SimMechanics environment. A realistic dynamic model of the system is obtained by physically defining joints, linkages, and mass attributes. PID, PD, and adaptive or model-based control techniques are commonly used in velocity control applications. A closed-loop control structure is created by integrating Simulink control blocks into the SimMechanics model through feedback signals [5]. The ability to immediately observe controller performance based on parameters like position inaccuracy, overshoot, and settling time is one of SimMechanics' benefits. According to the literature, the correctness of the system model and the right choice of control parameters are closely linked to the success of velocity control in two-loop and multi-loop mechanisms. When compared to analytical solutions, SimMechanics-based studies provide more adaptable and realistic outcomes [6]. Ensuring the desired position or velocity control is crucial once the two loop mechanism design is finished. However, control design is more difficult due to the nonlinear dynamic character of these systems. When applied to nonlinear systems, PID control, one of the most popular control techniques, frequently necessitates trial and error and makes it challenging to theoretically calculate control gains [7]. This method is time-consuming and frequently fails to find constants that are suitable for the system. Thus, this work used the mechanism's 3D model to establish the coefficients of the PID control method that would carry out velocity control of the two-loop mechanism [8,9]. For use in the Matlab environment, the solid model of the two-loop mechanism made in the Solidworks environment was converted to XML format. The two-loop mechanism's simulation blocks were created by activating the Simmechanics module in the Matlab environment using the xml file. The PID control coefficients were automatically extracted from the model by executing the simulation blocks. Furthermore, the simulation blocks were run to track the mechanism's movement. Consequently, PID position control of the two-loop mechanism was accomplished.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Three-Dimensional Model of Two-Loop Mechanism

The Solidworks solid modeling application has been used to produce a three-dimensional model of the two-loop mechanism that will be controlled by the PID approach. Four rotational components and one translational component have been constructed for this purpose. Each component was assembled in accordance with its movement to create the assembled solid model of the two-loop mechanism depicted in Figure 1. By shifting the input arm and watching how the other arms moved, the mechanism's functionality was evaluated.

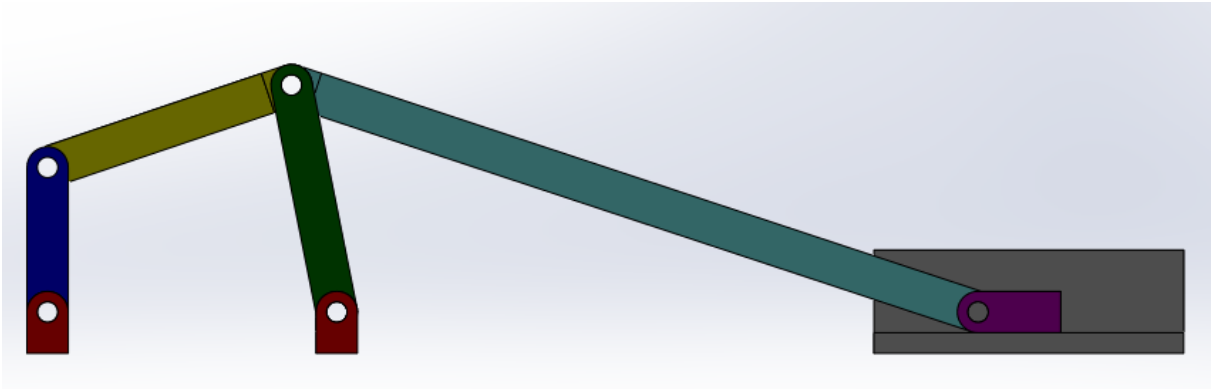


Figure 1. Solid Model of the Two-Loop Mechanism

2.2. Extracting the Two-Loop Mechanism Solid Model to Simmechanics

The mechanism's XML file was initially exported from SolidWorks in order to move the solid model of the two-loop mechanism modeled in SolidWorks to Matlab/SimMechanics. The mechanism's Simulink blocks were created using the resulting XML file and the smimport command on Matlab's main command line. The Matlab two-loop method is depicted in Figure 2. Furthermore, Figure 3 displays the Simulink blocks made with the solid model of the mechanism in Simmechanics.

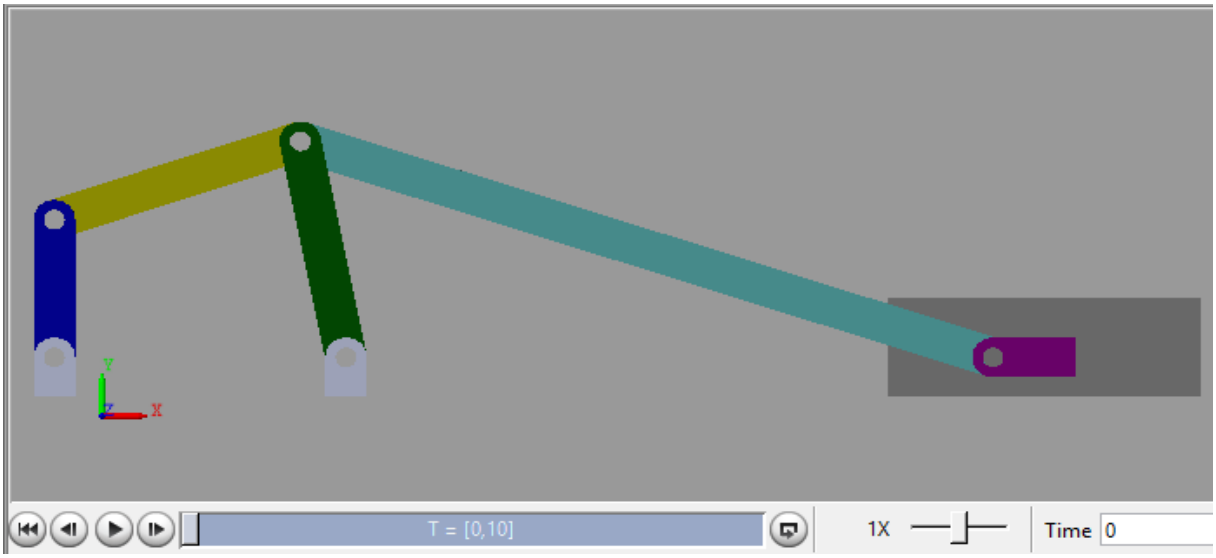


Figure 2. Two-Loop Mechanism Transferred to the Matlab

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

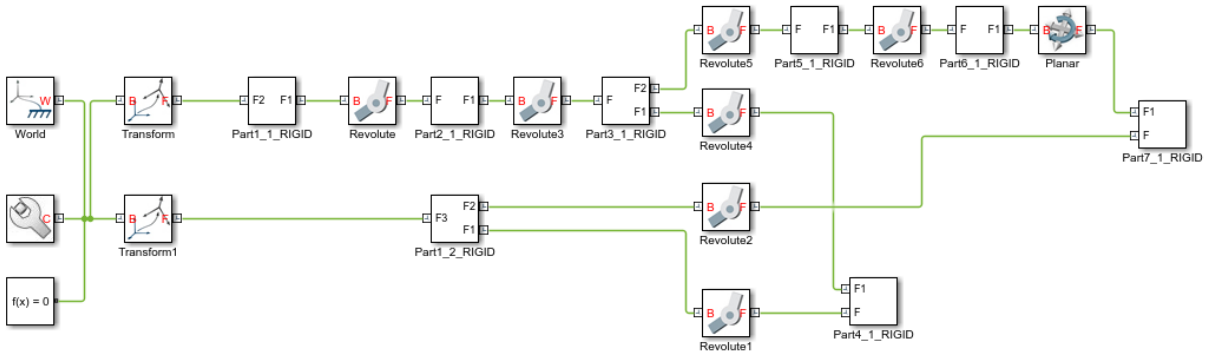


Figure 3. Simulink Blocks of Two-Loop Mechanism

2.3. PID Velocity Control of Two-Loop Mechanism

Additional blocks must be added to the Simmechanics blocks before PID control is applied to the two-loop system. These blocks are the feedback value extracted from the mechanism's input member and the PID control output torque applied to the input member. Applying torque to the input member, generating an output that is returned to the input member with unit feedback, generating an error based on the specified reference value, and transmitting it to the PID control block are the steps involved in achieving this. The velocity of the input element, or the region where the motor is placed, must be changed by adjusting the other mechanism components. Only the input arm's velocity control has been implemented because of the mechanism's single degree of freedom. The block diagrams that demonstrate how PID control is applied to the mechanism are displayed in Figure 4.

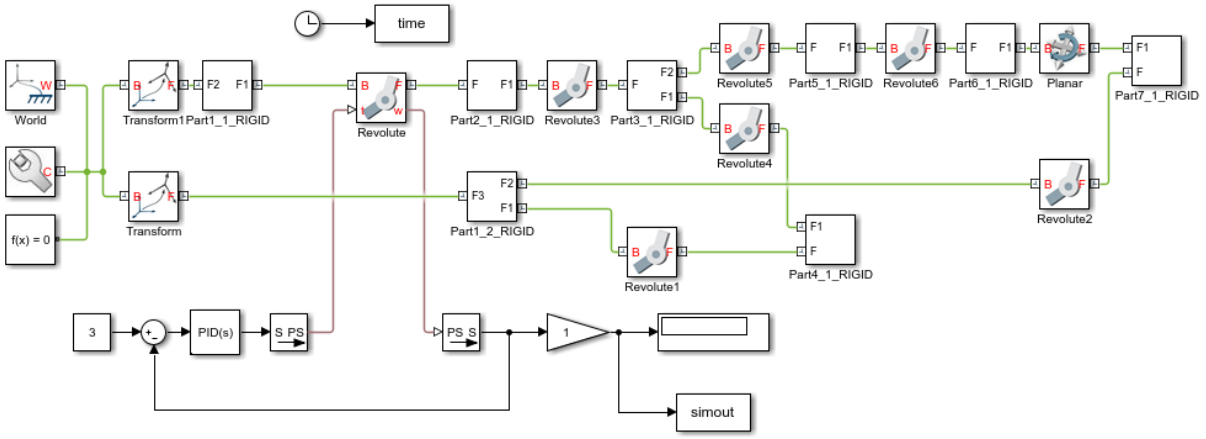


Figure 4. Block Diagram of Two-Loop Mechanism with PID

Figure 5 displays the outcomes of using the mechanism model with PID control and utilizing the tune button in the PID control to determine the gain coefficients appropriate for the model after inputting the necessary reference value.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

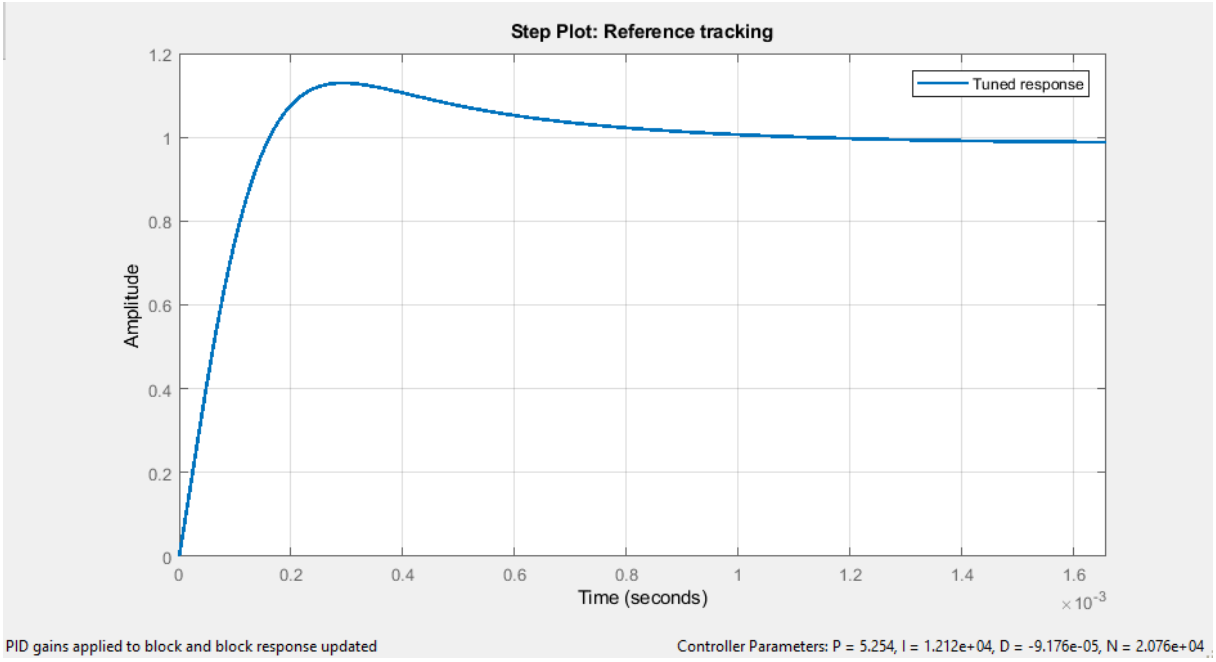


Figure 5. Automatic Calculation of the Mechanism's Gain Coefficients

Furthermore, Figure 6 displays the PID gain coefficients derived from block model computations.

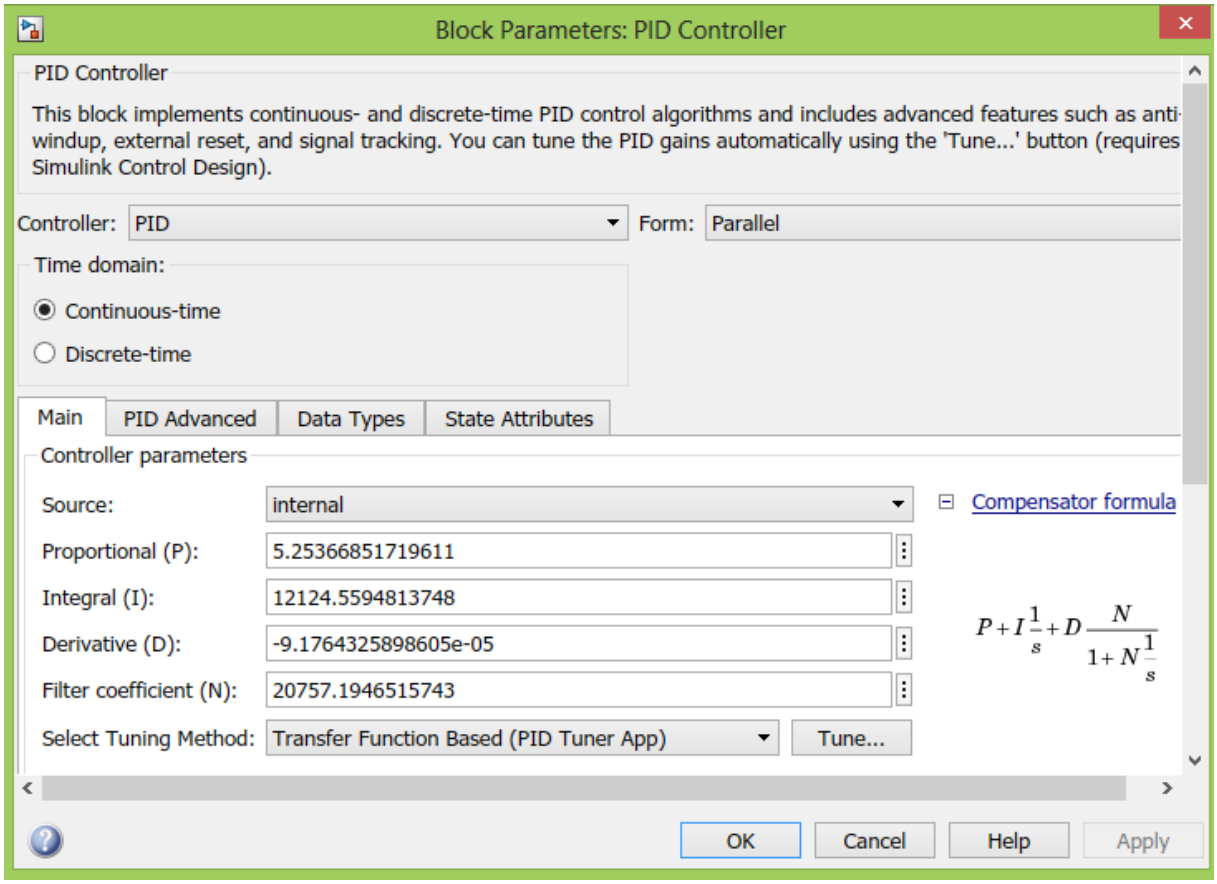


Figure 6. Display of the Mechanism's Gain Coefficients within the PID Block

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

The input arm's velocity must be 3 rad/s. PID control in the model achieves the input arm velocity of the mechanism.

After the PID controller was implemented, the two-loop mechanism reached the intended angular velocity of 3 rad/s, as shown in Figure 7. The output angular velocity, given in radians per second, was displayed on the screen with the reference input set to 3 rad/s. These results demonstrate that the system achieved the desired reference value.

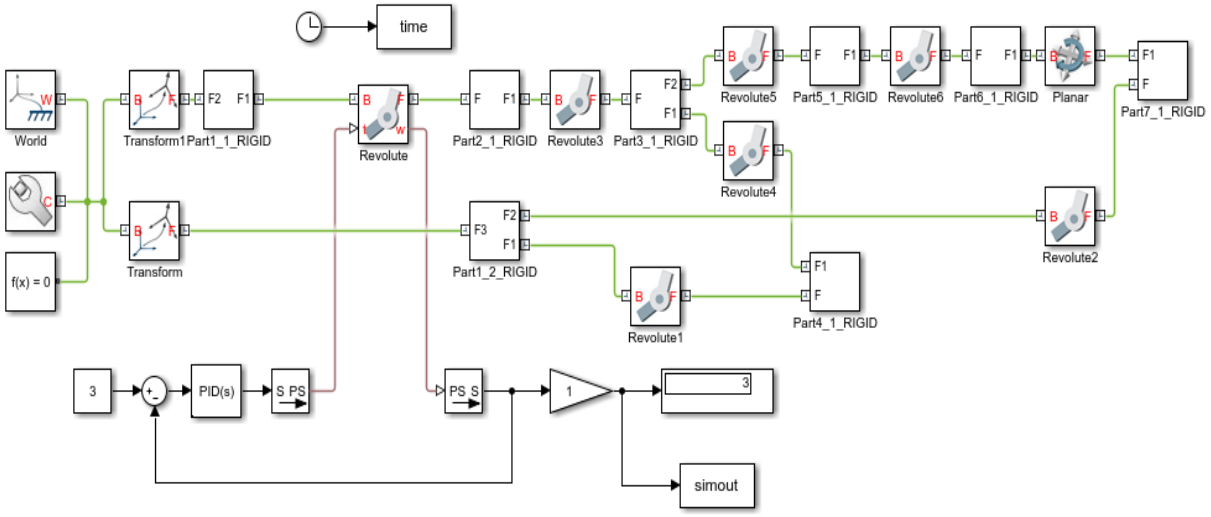


Figure 7. Block Diagrams of the Two-Loop Mechanism after PID Control is Applied

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The velocity of the two-loop mechanism was increased to 3 rad/s using a PID control approach in order to achieve a fast and stable dynamic response. As shown in Figure 8, the system reached the desired reference velocity with a settling time of 0.002923 s, indicating a rapid convergence to steady-state operation. This short settling time demonstrates the effectiveness of the selected PID parameters in suppressing transient dynamics and ensuring prompt tracking of the reference signal.

The velocity response curve reveals a maximum overshoot of 3,42, corresponding to an approximate 14% overrun relative to the reference value. Despite this overshoot, the response remains within acceptable control limits and does not compromise system stability. The presence of a limited overshoot is characteristic of PID-controlled systems and can be attributed to the proportional and derivative action required to achieve fast response characteristics. Overall, the mechanism successfully attains the intended reference velocity without sustained oscillations, confirming the stability of the closed-loop system.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

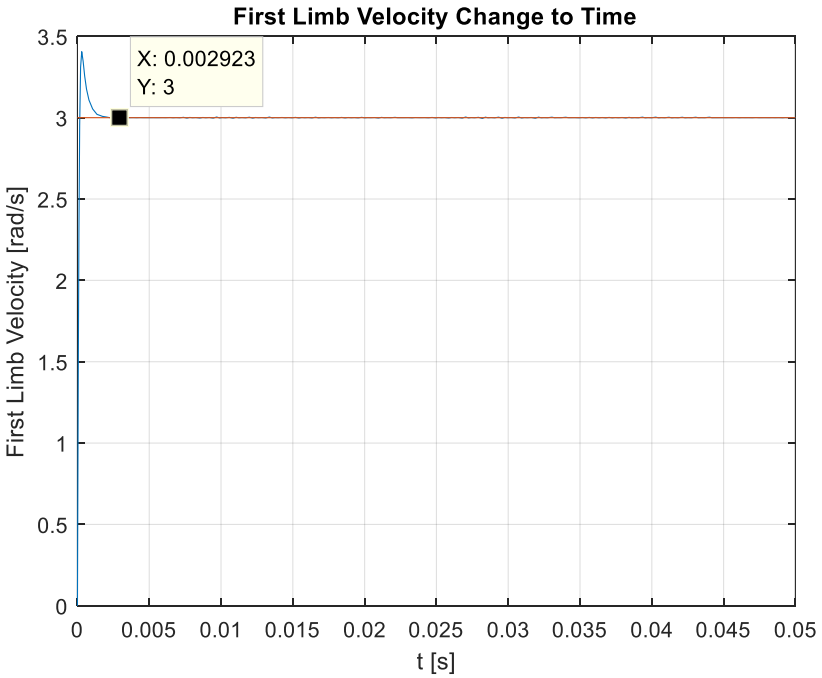


Figure 8. First Limb Angle Change to Time of Two-Loop Mechanism

The velocity error profile of the mechanism is presented in Figure 9. At the settling point, when the velocity reaches 3 rad/s, the error is measured as 0.0003669 rad/s. This value is sufficiently small and lies well within acceptable tolerance limits for precision motion control applications. When expressed in percentage terms, the error corresponds to 0.01223 %, indicating a high level of tracking accuracy. Such a low steady-state error demonstrates that the integral component of the PID controller effectively eliminates residual discrepancies between the reference and actual velocity, thereby ensuring reliable and accurate system performance.

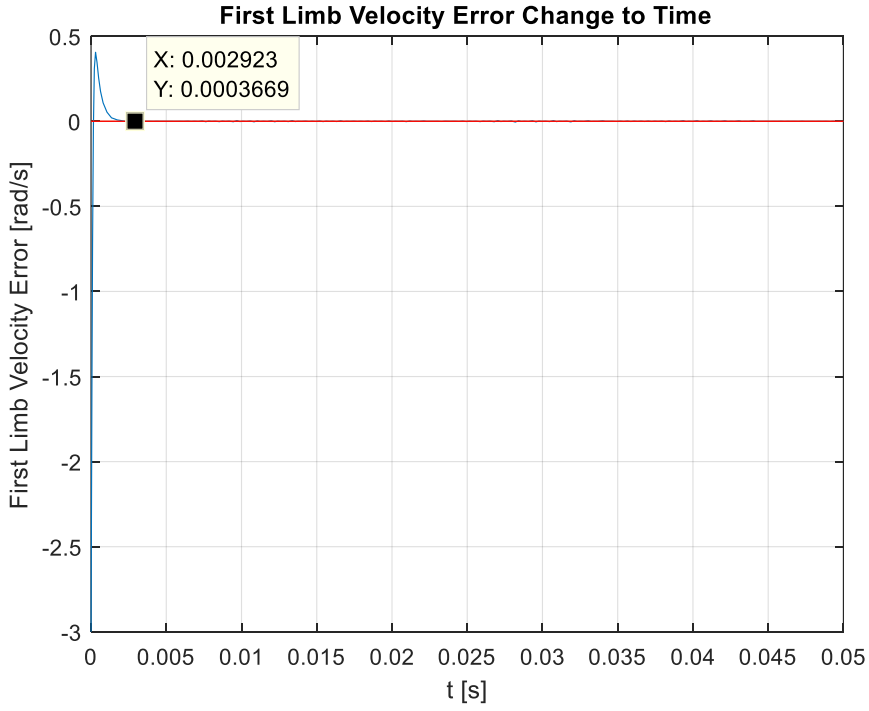


Figure 9. First Limb Angle Error Change to Time of Two-Loop Mechanism

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Two-loop mechanisms created for different uses can also be utilized with the application created in this study. SimMechanics can import mechanisms with precisely defined dimensions and material properties, and blocks can be used to build PID control gain coefficients. In real-time applications, these gain coefficients will therefore facilitate the velocity control phase.

4. CONCLUSION

The velocity control problem of the two-loop mechanism was investigated in this work, and the PID control strategy was applied while accounting for the mechanism's nonlinear dynamic nature. The mechanism's three-dimensional solid model was created in Solidworks and then imported into Matlab/SimMechanics. Consequently, a simulation-based control infrastructure was developed while preserving the real dynamic properties of the mechanism. Block diagrams created in the SimMechanics environment were used to automatically construct PID control gain coefficients and direct the input limb to the desired 3 rad/s reference velocity. The results showed that the mechanism swiftly achieved the reference velocity and that the maximum overshoot remained within permitted ranges. Furthermore, the incredibly low error value at the settling point demonstrates the sensitivity of the developed control system.

The method used in this study enables the automatic determination of PID control coefficients based on the actual dynamic model of the mechanism, as opposed to determining them by trial and error. As a result, the control design process is significantly streamlined and time loss is reduced. The findings demonstrate that the SimMechanics-based modeling and control approach can effectively achieve velocity control of nonlinear systems, including two-loop mechanisms.

Thus, PID-based velocity control of the two-loop mechanism was successfully accomplished in this study; it was demonstrated that the proposed method offers a reliable and practical replacement for control applications in similar planar mechanisms. Future studies will examine the efficacy of various control mechanisms (such as fuzzy logic, artificial neural networks, or adaptive control techniques) in addition to velocity and acceleration control.

REFERENCES

[1] Shabana, A. A., Dynamics of Multibody Systems, 4. Baskı, Cambridge University Press, 2013.

[2] *Norton, R. L.*, Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines, *McGraw-Hill, 2020.*

[3] MathWorks, Simscape Multibody User’s Guide, MathWorks Inc., 2023.

[4] Tsai, L. W., Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators, Wiley, 1999.

[5] Spong, M. W., Hutchinson, S. ve Vidyasagar, M., Robot Modeling and Control, Wiley, 2020.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

[6] Khalil, W. ve Dombre, E., Modeling, Identification and Control of Robots, Butterworth-Heinemann, 2004.

[7] Åström, K. J. ve Hägglund, T., PID Controllers: Theory, Design, and Tuning, 2. Baskı, ISA, 1995.

[8] MathWorks, Simscape Multibody User's Guide, The MathWorks Inc., 2023.

[9] Rahman, M. A., Rashid, M. M. ve Ahmed, S., PID Position Control of Nonlinear Mechanical Systems, ISA Transactions, 62, 47–58, 2016.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

THE RELATIONSHIP BETWEEN LIGHTNING EVENTS AND PRECIPITABLE WATER VAPOR(PWV)

ZEYNEP GÜLER BİRDEN

Bülent Ecevit Üniversitesi, gulerzynp@outlook.com – 0000-0001-6857-0569

Doç. Dr. GÖKHAN GÜRBÜZ

Bülent Ecevit Üniversitesi, gokhan.gurbuz@beun.edu.tr – 0000-0001-5491-4623

ÖZET

Küresel Konumlandırma Uydu Sistemleri (GNSS), konum, hız ve zaman belirlemede yaygın olarak kullanılan uydu tabanlı sistemlerdir. Bununla birlikte GNSS atmosferin alt katmanlarının izlenmesinde de yaygın olarak kullanılan önemli bir uzaktan algılama tekniğidir. GNSS sinyalleri atmosferden geçerken iyonosferik ve troposferik gecikmelere maruz kalmakta olup, özellikle troposferdeki su buharı miktarı bu gecikmelerin zamansal olarak en değişken bileşenini oluşturmaktadır. GNSS gözlemlerinden elde edilen toplam zenit gecikmesi (Toplam Zenit Gecikme – ZTD) parametresi, uygun modelleme yaklaşımları kullanılarak yağışa dönüşebilir (yoğuşabilir) su buharı (Precipitable Water Vapor – PWV) değerlerine dönüştürülebilmektedir. Bu özellik, GNSS sistemlerini sürekli ve yüksek zamansal çözünürlükte su buharı gözlemi sağlayan önemli bir meteorolojik veri kaynağı haline getirmektedir.

Bu bilgiler doğrultusunda atmosferdeki su buharının zamansal ve mekânsal dağılımı, konvektif fırtınaların gelişimi ve yıldırım , şimşek oluşum süreçleri ile yakından ilişkilidir. Troposferde artan su buharı yoğunluğu, atmosferik kararsızlığı artırarak dikey hava hareketlerini güçlendirmekte, bulut oluşumunu desteklemekte ve atmosferde elektriksel yük birikimini tetiklemektedir. Bu süreçler, özellikle konvektif sistemlerde yıldırım aktivitesinin artmasına neden olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, GNSS istasyonlarından elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan PWV değerleri ile yıldırım ve şimşek olayları arasındaki ilişki incelenmiştir. Belirli bir zaman aralığına ait GNSS gözlem verileri kullanılmıştır, PWV zaman serileri oluşturulmuş ve bu seriler yıldırım gözlem kayıtları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, yıldırım olaylarının öncesinde yoğuşabilir su buharı değerlerinde belirgin artışların meydana geldiğini göstermektedir. Bu durum, GNSS tabanlı su buharı gözlemlerinin konvektif fırtınaların ve yıldırım oluşumlarının izlenmesinde tamamlayıcı bir araç olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Çalışma, GNSS-Meteoroloji uygulamalarının atmosferik gözlemlerde süreçlerin anlaşılmasına katkı sağladığını ve yıldırım oluşumlarının değerlendirilmesinde tamamlayıcı bir veri kaynağı olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler : Yoğuşabilir su buharı , GNSS , troposferik gecikme

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

THE RELATIONSHIP BETWEEN LIGHTNING EVENTS AND PRECIPITABLE WATER VAPOR(PWV)

ZEYNEP GÜLER BİRDEN

Bülent Ecevit University, gulerzynp@outlook.com – 0000-0001-6857-0569

Doç. Dr. GÖKHAN GÜRBÜZ

Bülent Ecevit University, gokhan.gurbuz@beun.edu.tr – 0000-0001-5491-4623

ABSTRACT

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) are widely used not only for positioning, navigation, and timing purposes but also as an effective remote sensing technique for monitoring the lower atmosphere. During signal propagation from satellites to ground-based receivers, GNSS signals are affected by atmospheric delays, mainly caused by the ionosphere and the troposphere. Among these effects, tropospheric delay is the most variable component and is strongly influenced by the amount of atmospheric water vapor. The zenith total delay (ZTD) parameter derived from GNSS observations can be converted into precipitable water vapor (Precipitable Water Vapor - PWV) values using appropriate modeling approaches. This capability makes GNSS an important meteorological data source for continuous and high temporal resolution monitoring of PWV. The temporal and spatial distribution of PWV plays a significant role in the development of thunderstorm systems and lightning activity. Increased water vapor content in the troposphere increases atmospheric instability, strengthens vertical air motions, supports cloud formation processes, and contributes to the accumulation and separation of electrical charges within clouds. These processes are essential to the formation of lightning and thunderstorm events. This study investigates the relationship between GNSS-derived PWV values and lightning events. GNSS observations obtained from selected stations were analyzed for a specific time period, and PWV time series were generated from the estimated tropospheric delay parameters. These PWV variations were then compared with recorded lightning and thunderstorm observations. The analysis results indicate that noticeable and consistent increases in PWV values occur prior to lightning events. This study suggests that PWV variations derived from GNSS data may act as an important indicator of thunderstorm development. The results of this study demonstrate that GNSS-based water vapor monitoring can be used as a complementary tool for tracking thunderstorm evolution and lightning activity, particularly in short-term meteorological assessments.

Keywords : GNSS, Precipitable Water Vapor (PWV) , Tropospheric Delay

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KARMA SPİN (3/2, 7/2) BLUME-CAPEL ISING SİSTEMİNİN DİNAMİK MANYETİK HİSTEREZİS EĞRİLERİNİN YOL İHTİMALİYET YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Beyza Taş

Erciyes Üniversitesi, 42beyzatas42@gmail.com - ORCID: 0009-0003-6795-2081

Prof. Dr. Mustafa Gençaslan

Erciyes Üniversitesi, gaslan@erciyes.edu.tr - ORCID: 0000-0002-5726-1733

ÖZET

Bu çalışmada, moleküler tabanlı manyetik malzemelerin zamana bağlı manyetik davranışlarını tanımlamak amacıyla, kare örgü üzerinde tanımlı karma spinli (3/2, 7/2) Blume–Capel Ising modeli kullanılarak dinamik manyetik histerezis özellikleri sistematik olarak incelenmiştir. Sistem, zamana göre sinüzoidal olarak değişen bir dış manyetik alan altında ele alınmış ve dinamik süreçler Yol Olasılık Yöntemi (Path Probability Method, PPM) çerçevesinde analiz edilmiştir. Bu yaklaşım, denge dışı kinetik rejimde alt örgü mıknatıslanma dinamiklerini ve bunların makroskopik manyetik özelliklere yansımalarını ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır.

Çalışmada, özellikle dinamik manyetik histerezis döngülerinin şekli, alan-genliği ve sıcaklığa bağlı evrimi; zorlayıcı alan (CF) ve kalıcı mıknatıslanma (RM) gibi teknolojik açıdan önemli büyüklükler üzerindeki etkileri tartışılacaktır. Hesaplamalar, sıcaklık, kristal alan parametresi ve dış alan frekansı gibi temel kontrol parametrelerinin yanı sıra, sistemin kinetik yanıtını belirleyen hız sabiti k_2'nin rolüne odaklanmaktadır. k_2 parametresi, deneysel bağlamda hızlı katılaştırma süreçlerinde tekerlek hızına karşılık gelen bir kinetik ölçüt olarak yorumlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar, düşük sıcaklık ve yüksek frekans rejimlerinde geniş ve belirgin histerezis döngülerinin ortaya çıktığını, artan sıcaklık veya kinetik hızla birlikte döngü alanının daraldığını göstermektedir. Ayrıca, zorlayıcı alan ve kalıcı mıknatıslanmanın k_2'ye duyarlı olduğu ve belirli parametre aralıklarında ani değişimler sergileyebildiği gözlenmiştir. Bu davranışlar, sistemdeki kinetik etkileşimlerin doğrudan bir sonucudur. Elde edilen bulguların, moleküler manyetik malzemelerde dinamik histerezis kontrolü ve fonksiyonel manyetik özelliklerin tasarımı açısından yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dinamik manyetik histerezis, zorlayıcı alan, kalıcı mıknatıslanma, karma spin Blume–Capel Ising modeli, kare örgü, yol olasılık yöntemi.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

PREPROCESSİNG STRATEGİES FOR TLS AND ALS POİNT CLOUDS: A USE-CASE-BASED REVİEW

Lect. Dr. Zümrüt KURTULGU
Muğla Sıtkı Koçman University, zumrutkurtulgu@mu.edu.tr
ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-2192-4264

ABSTRACT

Terrestrial Laser Scanning (TLS) and Airborne Laser Scanning (ALS) systems are widely used for the generation of three-dimensional point clouds; however, they exhibit significant differences in terms of measurement geometry and data characteristics. These differences indicate that filtering and noise removal strategies applied during the point cloud preprocessing stage cannot always be treated identically for TLS and ALS data. In particular, the high point density, irregular point distribution, and occlusion effects inherent in TLS datasets may lead to distortions in surface geometry when inappropriate or excessive filtering is applied. In contrast, the wide-area coverage and top-down acquisition geometry of ALS systems make ground–non-ground separation a central preprocessing challenge.

Rather than proposing a novel filtering algorithm, this study aims to examine preprocessing approaches used for TLS and ALS point clouds from an application-oriented perspective. The literature review reveals that preprocessing steps such as noise removal, outlier elimination, and ground classification are often considered “standard” procedures in many studies; however, methodological details and parameter selection strategies are frequently reported only to a limited extent. Furthermore, while ground–non-ground separation is typically addressed as a direct classification problem in ALS-based studies, it is generally treated indirectly and in an application-dependent manner in TLS-based analyses.

In conclusion, this study emphasizes that the filtering process should be regarded not merely as an algorithmic operation, but rather as a decision-making stage strongly dependent on sensor geometry and the target application. This is particularly critical in studies integrating both TLS and ALS data, where transparent reporting of preprocessing choices and a clear definition of sensor–application compatibility are essential for reliable and reproducible results.

Keywords: Terrestrial and airborne LiDAR systems, filtering, sensor geometry

1. INTRODUCTION

Terrestrial Laser Scanning (TLS) and Airborne Laser Scanning (ALS) systems are widely used for the generation of three-dimensional point clouds; however, they exhibit substantial differences in terms of measurement geometry and point cloud characteristics. While ALS systems acquire data over large areas using a top-down scanning geometry, TLS systems operate from ground level, producing extremely high point densities and being more susceptible to occlusion effects (Muralikrishnan, 2021; Kushwaha et al., 2023). These differences indicate that filtering strategies applied during the preprocessing stage cannot always be treated in the same manner for TLS and ALS datasets.

Filtering constitutes a fundamental step in point cloud preprocessing and aims to remove noise and application-irrelevant points. However, particularly in TLS data, irregular point density and scanning-geometry-dependent effects may lead to distortions in surface geometry when inappropriate or

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
excessive filtering is applied (di Filippo et al., 2024). Studies conducted in forested environments have demonstrated that ground filtering algorithms originally developed for ALS data do not always yield reliable results when directly applied to TLS point clouds (Bailey et al., 2022). Furthermore, in studies integrating both TLS and ALS datasets, filtering and noise removal procedures are often reported with limited methodological detail, which may hinder reproducibility and result interpretation (Ghorbani et al., 2024).

The structural characteristics of point clouds generated by LiDAR systems vary significantly depending on the acquisition platform and measurement geometry. TLS data, acquired from ground level, are characterized by extremely high point density, irregular spatial distribution, and complex geometric structures, enabling detailed representation of objects such as leaves, branches, and tree trunks at high spatial resolution. In contrast, ALS data provide broader spatial coverage from a top-down perspective but typically exhibit lower point density and limited representation of understory features (Kushwaha et al., 2023; Ferrara et al., 2023). These differing data characteristics indicate that applying identical filtering approaches directly to both TLS and ALS datasets is often inappropriate, particularly in studies focused on vegetation structure, terrain surface modeling, and the estimation of individual tree parameters. Indeed, in TLS-based analyses, leaf and noise filtering directly influence surface reconstruction and classification outcomes, whereas ALS data tend to rely on more generalized and scale-oriented filtering strategies (Kermarrec et al., 2022; Ali et al., 2024). Therefore, considering data-type-specific characteristics is essential, and the filtering process should be addressed in an application-dependent manner to ensure meaningful and reliable results (Zhou et al., 2023; Xi et al., 2024).

This study aims to evaluate preprocessing and filtering approaches applied to TLS and ALS point clouds from an application-oriented perspective, rather than proposing a novel algorithm, and to emphasize the impact of filtering choices on the resulting analyses.

2. FILTERING PROCESSING STEPS

Noise removal and outlier elimination constitute fundamental components of the preprocessing workflow for both TLS and ALS point clouds and have a direct impact on overall data quality. In TLS datasets, noise is more pronounced due to the presence of leaves, fine branch structures, multiple-return effects, and complex scanning geometry. Consequently, noise handling is a critical issue, particularly in studies aiming to derive individual tree attributes and understory density.

Integrated measurement and denoising approaches have demonstrated that excessive or insufficient noise removal may distort surface geometry and lead to the loss of physically meaningful details (di Filippo et al., 2024). In forested-area studies that combine TLS and ALS data, it has been emphasized that the direct application of a common denoising strategy is often inappropriate, as the two datasets exhibit distinct noise characteristics (Kushwaha et al., 2023; Ferrara et al., 2023). In ALS datasets, noise and outliers are primarily addressed in relation to lower point density and ground–object separation, and methods such as supervoxel-based approaches have been shown to be particularly effective in removing ground-related outliers (Fan et al., 2024).

Furthermore, in advanced studies where TLS and ALS data are jointly analyzed, the influence of noise removal on model calibration and attribute estimation processes has been explicitly

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
demonstrated, emphasizing the indirect yet critical contribution of preprocessing steps to overall accuracy (Xi et al., 2024).

In ALS point clouds, ground–non-ground separation is considered a fundamental preprocessing task, particularly in applications involving forested and urban environments, and is predominantly addressed through ground-oriented filtering approaches. In recent years, deep learning–based methods, attention mechanisms that incorporate contextual ground features, and supervoxel-based filtering strategies have been developed to improve ground classification performance in ALS datasets. In particular, ground-aware attention architectures jointly exploit local and global structural information to enhance the discrimination between ground and above-ground objects in complex urban scenes (Jiang et al., 2022). Supervoxel-based ground saliency approaches have also demonstrated effective performance in isolating ground-related outliers in ALS point clouds (Fan et al., 2024).

Moreover, studies supported by full-waveform LiDAR data and hyperspectral information indicate that ground detection, especially in forested areas, is highly sensor-dependent, and that different filtering strategies are required according to the data type and acquisition characteristics (Luo et al., 2023; Kurtulgu & Pırtı, 2025).

In TLS-based studies, ground–non-ground separation is often not treated as a primary objective, but is instead considered indirectly within the context of tasks such as tree segmentation, estimation of individual tree parameters, or TLS–ALS data integration. The extremely high point density and complex geometric structure of TLS datasets complicate the clear delineation of ground surfaces, leading to the adoption of alternative preprocessing strategies. Studies focusing on TLS–ALS registration and integration in forested environments often aim to achieve data alignment by exploiting structural features such as tree locations and gap geometries rather than explicitly identifying ground points (Zhou et al., 2023; Ghorbani et al., 2024). Moreover, the TLS-based literature emphasizes that the ground problem is frequently addressed implicitly, depending on application requirements, and that preprocessing steps are not always reported in sufficient methodological detail (Demol et al., 2022).

The separation of ground and above-ground points constitutes the foundation of all derived analyses based on both TLS and ALS point clouds. Nevertheless, the definition and implementation of this separation vary considerably depending on the sensor's measurement geometry, data density, and the intended application. In ALS-based studies, ground separation is typically addressed as a direct and central classification problem, with particular emphasis on methods designed to identify ground points in forested and urban environments (Jiang et al., 2022; Fan et al., 2024; Kurtulgu & Pırtı, 2025). In contrast, in TLS-based analyses, the ground concept is rarely treated as an explicit target; instead, it is handled indirectly within structure- or tree-oriented analyses, individual tree parameter estimation, and TLS–ALS data integration workflows (Demol et al., 2022; Zhou et al., 2023; Ghorbani et al., 2024). This highlights that ground–non-ground separation should not be regarded as a universal and uniform classification problem, but rather as a sensor- and application-dependent preprocessing decision.

TLS and ALS point clouds do not offer the same level of suitability and accuracy for all applications due to their differing measurement geometries and data characteristics. Consequently, data selection constitutes a fundamental decision that should be made in accordance with the study objectives and spatial scale, independently of the specific

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

preprocessing steps applied. Owing to their wide-area coverage, top-down acquisition geometry, and relatively homogeneous data structure, ALS datasets tend to produce more consistent and meaningful results in regional-scale forestry analyses, terrain modeling, and area-based assessments. In contrast, TLS data stand out in applications requiring high precision at local scales, such as the estimation of individual tree parameters, structural analyses, and detailed geometric characterization, due to their extremely high point density and capability to capture fine-scale details (Demol et al., 2022; Zhou et al., 2023).

When selecting data in an application-dependent manner, it should be recognized that the targeted accuracy depends not only on sensor precision but also on the suitability of the data structure for the intended analysis. Studies focusing on the integration and registration of TLS and ALS datasets have demonstrated that the two data types possess complementary strengths, and that these differences can only be effectively leveraged through an application-oriented data selection strategy (Ghorbani et al., 2024). In this context, the question of "which filter is used" should be preceded by an assessment of which sensor provides more reliable and meaningful information for the target application. Therefore, the choice between TLS and ALS should be regarded not as a universal accuracy comparison, but as a decision-making process based on sensor–application compatibility.

3. FINDINGS FROM THE LITERATURE

A review of the literature on TLS and ALS point clouds indicates that preprocessing stages are commonly treated under the umbrella of "standard preprocessing" in many studies. Within this framework, noise removal, outlier elimination, and basic filtering steps are typically mentioned briefly in the methodology sections; however, detailed descriptions of the applied methods, parameter settings, and processing sequences are often not explicitly reported. Particularly in TLS-based studies, while data quality issues related to scanning geometry and sensor performance are frequently discussed, the impact of filtering procedures on analytical outcomes is addressed only to a limited extent (Muralikrishnan, 2021). This suggests that, despite its decisive role in influencing results, preprocessing is often considered a secondary step in the literature.

When sensor-specific differences are examined, it becomes evident that ground–non-ground separation is addressed as a more explicit and well-defined problem in the ALS literature. In ALS datasets, the classification of ground points is treated as a central analytical task, especially in forested-area studies, and methodologies are developed with this objective in mind (Kurtulgu & Pırtı, 2025). In contrast, filtering in TLS-based studies is largely shaped by application-specific requirements; for example, operations such as leaf filtering are directly linked to the target analysis, yet the preprocessing workflow is rarely discussed within a comprehensive framework (Ali et al., 2024). These findings indicate that, although a common preprocessing approach is often implied in the literature, differences arising from sensor geometry and data structure significantly influence filtering decisions, and these differences frequently remain implicit rather than explicitly addressed.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

The literature reviewed in this study indicates that filtering in TLS and ALS point clouds is frequently treated as an algorithm-driven problem; however, in practical applications, the dominant determining factors are sensor geometry and the intended application. In ALS-based studies, ground–non-ground separation is commonly addressed as a direct classification task, and approaches based on deep learning, attention mechanisms, or ground saliency have been developed for this purpose. Nevertheless, the performance of these methods is strongly influenced by characteristics of the study area, such as whether the environment is forested or urban, as well as by data density and sensor-specific properties (Jiang et al., 2022; Dai et al., 2023; Kurtulgu & Pırtı, 2025). Similarly, studies relying on full-waveform LiDAR and multi-source data integration clearly demonstrate the sensor-dependent nature of filtering accuracy (Luo et al., 2023).

In TLS-based studies, filtering is rarely treated as an explicit objective; instead, it is commonly addressed indirectly as part of application-driven tasks such as individual tree segmentation, volume estimation, and biomass assessment. Comparative analyses conducted on high-density TLS datasets have shown that filtering choices directly influence tree volume estimates and leaf-related analytical outcomes (Bailey et al., 2022; Ali et al., 2024). However, the TLS literature frequently lacks detailed reporting of preprocessing workflows, and filtering decisions often remain implicit. This limitation poses challenges for result interpretation, particularly in studies focusing on TLS–ALS integration and the estimation of individual tree attributes (Demol et al., 2022; Xi et al., 2024).

Therefore, future studies should not only support the development of novel filtering and classification algorithms, but also clearly define the sensor geometries and application scenarios for which these methods are designed, transparently report preprocessing workflows, and provide comparable evaluation frameworks across different data types. In particular, in studies integrating TLS and ALS datasets, the filtering process should be regarded not merely as a technical preprocessing step, but as a fundamental, application-driven decision stage that directly influences analytical outcomes.

REFERENCES

Kushwaha, S., Singh, A., Jain, K., Cabo, C., & Mokros, M. (2023). Integrating Airborne and Terrestrial Laser Scanning for Complete 3D Model Generation in Dense Forest. *IGARSS 2023 - 2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1109/IGARSS52108.2023.10283032" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1109/IGARSS52108.2023.10283032

Ali, M., Lohani, B., Hollaus, M., & Pfeifer, N. (2024). Benchmarking Geometry-Based Leaf-Filtering Algorithms for Tree Volume Estimation Using Terrestrial LiDAR Scanners. *Remote Sensing*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs16061021" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs16061021

Bailey, G., Li, Y., McKinney, N., Yoder, D., Wright, W., & Herrero, H. (2022). Comparison of Ground Point Filtering Algorithms for High-Density Point Clouds Collected by Terrestrial LiDAR. *Remote Sensing*. HYPERLINK

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

"https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs14194776" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs14194776

Dai, H., Hu, X., Shu, Z., Qin, N., & Zhang, J. (2023). Deep Ground Filtering of Large-Scale ALS Point Clouds via Iterative Sequential Ground Prediction. *Remote Sensing*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs15040961" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs15040961

Demol, M., Verbeeck, H., Gielen, B., Armston, J., Burt, A., Disney, M., Duncanson, L., Hackenberg, J., Kükenbrink, D., Lau, A., Ploton, P., Sewdien, A., Stovall, A., Takoudjou, S., Volkova, L., Weston, C., Wortel, V., & Calders, K. (2022). Estimating forest above-ground biomass with terrestrial laser scanning: Current status and future directions. *Methods in Ecology and Evolution*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1111/2041-210X.13906" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1111/2041-210X.13906

di Filippo, A., Antinozzi, S., Limongiello, M., & Messina, B. (2024). AN EFFECTIVE APPROACH FOR POINT CLOUD DENOISING IN INTEGRATED SURVEYS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-181-2024" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-181-2024

Fan, W., Liu, X., Zhang, Y., Yue, D., Wang, S., & Zhong, J. (2024). Airborne LiDAR Point Cloud Filtering Algorithm Based on Supervoxel Ground Saliency. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.* HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-2-2024-73-2024" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-2-2024-73-2024

Ferrara, C., Puletti, N., Guasti, M., & Scotti, R. (2023). Mapping Understory Vegetation Density in Mediterranean Forests: Insights from Airborne and Terrestrial Laser Scanning Integration. *Sensors*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s23010511" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s23010511

Ghorbani, F., Chen, Y.-C., Hollaus, M., & Pfeifer, N. (2024). A Robust and Automatic Algorithm for TLS–ALS Point Cloud Registration in Forest Environments Based on Tree Locations. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1109/JSTARS.2024.3355173" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1109/JSTARS.2024.3355173

Jiang, T., Wang, Y., Liu, S., Cong, Y., Dai, L., & Sun, J. (2022). Local and Global Structure for Urban ALS Point Cloud Semantic Segmentation with Ground-Aware Attention. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TGRS.2022.3158362" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TGRS.2022.3158362

Kermarrec, G., Yang, Z., & Czerwonka-Schröder, D. (2022). Classification of Terrestrial Laser Scanner Point Clouds: A Comparison of Methods for Landslide Monitoring from Mathematical Surface Approximation. *Remote Sensing*. HYPERLINK

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
"https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs14205099" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs14205099

Kurtulgu, Z., & Pırtı, A. (2025). A New Approach for Classification of Ground Points from Airborne Lidar Data in Forested Areas. *Šumarski list*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.31298/sl.149.1-2.4" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.31298/sl.149.1-2.4

Luo, W., Ma, H., Yuan, J., Zhang, L., Ma, H., Cai, Z., & Zhou, W. (2023). High-Accuracy Filtering of Forest Scenes Based on Full-Waveform LiDAR Data and Hyperspectral Images. *Remote Sensing*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs15143499" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs15143499

Muralikrishnan, B. (2021). Performance Evaluation of Terrestrial Laser Scanners — A Review. *Measurement Science and Technology*. HYPERLINK "https://doi.org/DOI: 10.1088/1361-6501/abdae3" \t "_blank" https://doi.org/DOI: 10.1088/1361-6501/abdae3

Xi, Z., Hopkinson, C., & Chasmer, L. (2024). Supervised terrestrial to airborne laser scanner model calibration for 3D individual-tree attribute mapping using deep neural networks. *https://www.sciencedirect.com/journal/isprs-journal-of-photogrammetry-and-remote-sensing*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2024.02.010" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2024.02.010

Zhou, R., Sun, H., Ma, K., Tang, J., Chen, S., Fu, L., & Lİu, Q. (2023). Improving Estimation of Tree Parameters by Fusing ALS and TLS Point Cloud Data Based on Canopy Gap Shape Feature Points. *Drones*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.3390/drones7080524" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.3390/drones7080524

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

EVALUATION OF AIRBORNE LİDAR ACCURACY USING GNSS L-BAND SIGNALS

Lect. Dr. Zümrüt KURTULGU
Muğla Sıtkı Koçman University, zumrutkurtulgu@mu.edu.tr
ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-2192-4264

ABSTRACT

Airborne LiDAR systems are widely used active remote sensing technologies for producing high-accuracy three-dimensional spatial data. The geometric accuracy of LiDAR point clouds largely depends on the quality of the GNSS/INS-based trajectory solution, which provides the position and orientation of the sensing platform. In particular, factors such as GNSS signal outages, atmospheric effects, and multipath propagation can lead to strip misalignments and height inconsistencies in LiDAR data. This makes maintaining positioning accuracy in airborne LiDAR applications especially critical under challenging environmental conditions.
In this study, the impact of GNSS-based positioning accuracy on airborne LiDAR data quality has been examined based on a comprehensive review of the literature. GNSS/INS/LiDAR integration approaches were analyzed, and the main error sources affecting trajectory accuracy, as well as the limitations encountered in GNSS-challenged environments, were evaluated. Particular emphasis was placed on multi-frequency GNSS solutions operating in the L-band (L1/L2/L5), which contribute to improved atmospheric modeling, enhanced signal continuity, and increased stability of positioning solutions. Furthermore, the role of tightly coupled integration strategies in improving system robustness against GNSS interruptions was discussed. When literature findings are considered together with current industrial practices, it becomes evident that L-band-supported multi-frequency GNSS solutions play a critical role in airborne LiDAR systems by improving trajectory accuracy, point cloud geometric consistency, and operational reliability, while also reducing re-survey requirements and overall operational costs. In this context, the study provides a holistic evaluation of the contribution of L-band frequency structures to positioning continuity in airborne LiDAR applications

Keywords: Airborne LiDAR, GNSS L-Band, Trajectory

1. INTRODUCTION

Airborne LiDAR is an active remote sensing technology that enables the acquisition of high-density, high-accuracy three-dimensional geometric information of the Earth's surface and objects on it through a laser scanner mounted on a platform. These systems operate based on the principle of emitting laser pulses and measuring the signals reflected from surfaces. When combined with the platform's positioning and orientation data, they allow the generation of detailed and continuous surface models. Airborne LiDAR systems are widely applied in numerous engineering and geoscience fields, including topographic mapping, forestry, urban modeling, cadastral surveys, infrastructure monitoring, disaster management, and transportation planning. With the advancement of unmanned aerial vehicles (UAVs) and mobile platforms, LiDAR systems have become more flexible, cost-effective, and capable of

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

producing data at various scales. However, the increasing diversity of platforms necessitates a more precise evaluation of the geometric accuracy of LiDAR data (Romero et al., 2025; Pilarska et al., 2016).

The absolute accuracy of LiDAR data is directly dependent on the accuracy of the platform's positioning and orientation information. Therefore, airborne LiDAR systems are typically operated in conjunction with Global Navigation Satellite Systems (GNSS) and Inertial Measurement Units (INS/IMU); laser measurements are transformed into the global coordinate system through the integration of GNSS and INS data. While GNSS provides the instantaneous position of the platform, INS sensors generate orientation parameters (roll, pitch, yaw). Errors in the integration of these components can lead to horizontal and vertical accuracy losses in the LiDAR point Cloud (Paijitprapaporn et al., 2021; Li S. et al., 2022). In particular, GNSS-derived positioning errors are among the key factors determining the overall accuracy of LiDAR data. Factors such as GNSS signal outages, multipath propagation, and atmospheric effects can lead to incorrect platform positioning, adversely affecting the spatial accuracy of LiDAR points. These effects become especially pronounced in GNSS-challenging environments, such as urban areas, narrow passages, regions with high building density, and forested areas (Wen et al., 2020; Paijitprapaporn et al., 2021)

Conventional GNSS solutions, commonly utilizing single- or dual-frequency signals (e.g., L1 or L1/L2), may fail to provide sufficient continuity and accuracy under challenging environmental conditions. In scenarios where GNSS signals are obstructed or attenuated, the positioning accuracy of LiDAR systems rapidly decreases, leading to systematic errors in the point cloud. These limitations are particularly pronounced in platforms equipped with low-cost GNSS receivers (Hodgson, 2020; Li X. et al., 2021). This highlights the necessity for alternative integration and correction approaches to enhance GNSS accuracy in airborne LiDAR systems.

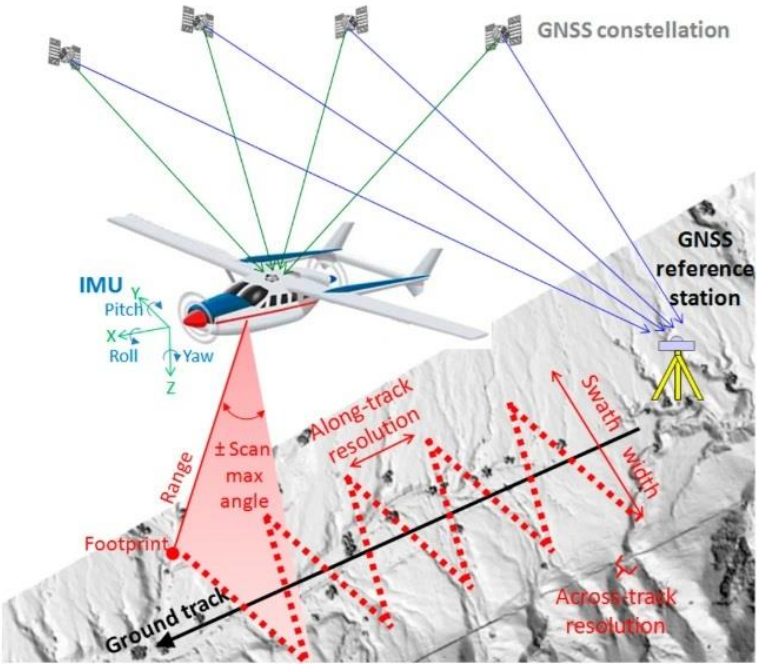


Figure 1. Schematic diagram showing the components of ALS technology (Fernandez-Diaz et al., 2014)

Recent studies have demonstrated that tightly coupled integration of GNSS, INS, and LiDAR sensors can mitigate the adverse effects of GNSS outages and improve positioning accuracy.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Evaluating GNSS measurements together with LiDAR data and applying post-processing correction approaches contributes to improved LiDAR elevation accuracy, especially in urban environments (Li S. et al., 2022; Salehi-Dorcheabedi et al., 2024). In this context, it is crucial to thoroughly investigate the impact of novel GNSS enhancement methods and signal configurations on airborne LiDAR system performance.

This study addresses the dependence of LiDAR data accuracy on GNSS-based trajectory quality and aims to examine GNSS-based approaches for improving LiDAR accuracy by evaluating the limitations of conventional GNSS frequency solutions in light of the literature.

2. AIRBORNE LiDAR TRAJECTORY AND IMPACT ON ACCURACY

In airborne LiDAR systems, the trajectory represents the time-varying position and orientation of the platform and is derived through the integration of GNSS and Inertial Measurement Unit (IMU) data. The world-coordinate position of each laser pulse emitted by the LiDAR sensor is calculated using the instantaneous position (x, y, z) and orientation (roll, pitch, yaw) of the platform. Therefore, trajectory accuracy is a fundamental factor directly influencing the geometric accuracy of the LiDAR point cloud (Pilarska et al., 2016; Romero et al., 2025).

GNSS provides the absolute position of the platform, while the IMU generates high-frequency orientation and motion information. The integration of these two sensors combines the long-term accuracy of GNSS with the short-term stability of the IMU. However, errors originating from GNSS and IMU can propagate directly into the LiDAR measurements (Paijitprapaporn et al., 2021). Trajectory errors are generally categorized into two main types: position errors and orientation errors. GNSS-based position errors can cause systematic shifts in the horizontal and vertical accuracy of LiDAR points, while IMU-based orientation errors are particularly pronounced over sloped surfaces and areas with significant elevation differences. Orientation errors can misdirect the LiDAR beam in space, resulting in tilting and rotational effects in the point cloud (Paijitprapaporn et al., 2021; Romero et al., 2025). Even small orientation errors in aerial platforms can translate into centimeter- or decimeter-level positioning errors on the ground (Pilarska et al., 2016).

Airborne LiDAR data are typically collected in multiple flight strips. The geometric consistency between these strips is considered an important indicator of trajectory accuracy. GNSS- and IMU-related trajectory errors can cause horizontal and vertical misalignments between adjacent strips, particularly evident at building edges, road surfaces, and sharp topographic transitions (Paijitprapaporn et al., 2021; Romero et al., 2025). Minor inconsistencies in GNSS measurements or IMU calibration errors can result in nonlinear distortions across strips, compromising the overall geometric integrity of the point cloud (Pilarska et al., 2016).

Interruptions in GNSS signals and reductions in measurement quality significantly affect trajectory accuracy. In environments such as urban areas, narrow valleys, or locations with obstructive structures, GNSS signals are subject to blockage and multipath effects. In such cases, the continuity of GNSS measurements is disrupted, and integration with IMU data may become insufficient due to accumulated errors over time (Paijitprapaporn et al., 2021; Wen et al., 2025). Trajectory errors during GNSS outages manifest in the LiDAR point cloud as local distortions, elevation inconsistencies, and systematic differences between strips. Recent studies have shown that layered trajectory-based integration approaches enable more reliable modeling of these errors by jointly evaluating GNSS and IMU data (Wen et al., 2025).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

The error sources and limitations described above indicate that trajectory accuracy in airborne LiDAR systems largely depends on the continuity and quality of GNSS measurements. Signal interruptions and accuracy losses in conventional GNSS solutions reduce the reliability of LiDAR data, particularly in challenging environments. This highlights the necessity of evaluating alternative signal configurations and correction approaches to enhance GNSS measurement continuity and accuracy. In this context, L-band GNSS solutions emerge as a promising research area for airborne LiDAR systems due to their potential to improve trajectory accuracy.

3. GNSS L-BAND FREQUENCIES

GNSS systems are satellite-based positioning technologies that operate using L-band signals within the approximate frequency range of 1–2 GHz. This frequency range provides favorable signal propagation characteristics and resilience to atmospheric effects, making it suitable for positioning applications. L-band frequencies play a particularly important role in GNSS-based positioning by supporting signal continuity and enabling effective modeling of atmospheric delays. Experimental studies conducted on airborne platforms have shown that different L-band components can significantly influence measurement accuracy and solution stability (Munoz-Martin et al., 2021).

In airborne LiDAR systems, GNSS serves as a primary component for determining the absolute position of the platform. Errors in GNSS measurements propagate directly to LiDAR laser measurements, affecting both the horizontal and vertical accuracy of the point cloud. Therefore, GNSS signal quality, frequency structure, and integration methodology are critical factors determining the overall accuracy of airborne LiDAR systems (Li S. et al., 2022; Romero et al., 2025).

The influence of GNSS frequencies on accuracy is particularly assessed in the context of atmospheric delays and signal degradation. L-band signals are affected by ionospheric and tropospheric conditions, and insufficient modeling of these effects can result in positioning errors. Airborne GNSS measurements have demonstrated that different L-band components exhibit distinct behaviors in terms of accuracy and continuity (Munoz-Martin et al., 2021). In LiDAR systems, such GNSS-induced errors can weaken trajectory accuracy, leading to strip misalignments and height inconsistencies. This highlights the indirect yet significant effect of GNSS frequency structure on LiDAR accuracy (Pilarska et al., 2016; Romero et al., 2025).

In recent years, multi-frequency GNSS solutions have increasingly been used alongside LiDAR and other sensors. The combined evaluation of multiple GNSS frequencies allows for more effective modeling of atmospheric effects and improved positioning accuracy. This approach is particularly advantageous when GNSS, INS, and LiDAR sensors are tightly integrated (Li S. et al., 2022; Li et al., 2023).

Multi-sensor and multi-frequency integration approaches also enable position solutions to be supported by other sensors when GNSS measurement continuity is compromised. Consequently, the impact of GNSS errors on the LiDAR point cloud is reduced, yielding more stable trajectory solutions (Imani et al., 2023; Ila et al., 2025).

Urban areas, narrow corridors, and regions with high building density present challenging environments for GNSS signals. In such environments, GNSS signals frequently experience blockage, multipath propagation, and attenuation. Decreased GNSS performance in these

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
contexts leads to reduced positioning accuracy and localized distortions in LiDAR point clouds (Li S. et al., 2022; Ila et al., 2025). Multi-sensor integration studies conducted under challenging conditions have shown that GNSS frequency diversity and signal structure significantly affect the reliability of position solutions. The signal continuity and atmospheric modeling potential provided by L-band frequencies contribute to supporting positioning solutions when GNSS measurements are limited (Li et al., 2023).

GNSS solutions utilizing L-band frequencies, when combined with multi-frequency and multi-sensor integration approaches, offer significant advantages for airborne LiDAR systems. These advantages include more stable position solutions, increased resilience to GNSS outages, and improved trajectory accuracy. In tightly coupled integration approaches, the diversity of GNSS frequency measurements emerges as a supportive factor in maintaining LiDAR accuracy (Li S. et al., 2022; Li et al., 2023; Ila et al., 2025).

These studies demonstrate that the continuity and frequency structure of GNSS measurements are critical for trajectory accuracy in airborne LiDAR systems. Particularly in challenging environmental conditions, reductions in GNSS signal quality directly impact the accuracy of LiDAR point clouds. Accordingly, evaluating GNSS frequency structure and supportive positioning approaches is essential for maintaining LiDAR accuracy. L-band-based GNSS solutions stand out as a promising research area for airborne LiDAR applications due to their potential to support continuous positioning solutions.

4. IMPACT OF GNSS L-BAND ON AIRBORNE LiDAR

The effect of GNSS-based positioning accuracy on LiDAR data quality in airborne systems has been extensively investigated in the literature across various scales and application scenarios. Studies based on GNSS/INS/LiDAR integration have shown that trajectory accuracy plays a decisive role in both the geometric consistency and absolute accuracy of LiDAR point clouds (Pilarska et al., 2016; Paijitprapaporn et al., 2021; Romero et al., 2025).

In large-scale airborne LiDAR applications, the impact of GNSS accuracy on LiDAR strip alignment is clearly observable. Bedkowski et al. (2021) demonstrated in a continental-scale study involving millions of kilometers of LiDAR data that GNSS-induced positioning errors lead to misalignments between strips and systematic calibration issues. These findings highlight that trajectory accuracy is a fundamental quality indicator for LiDAR data integrity.

Similarly, many studies emphasize that discontinuities and accuracy losses in GNSS measurements in both airborne and mobile LiDAR systems result in local distortions and height inconsistencies in the LiDAR point cloud (Paijitprapaporn et al., 2021; Salehi-Dorcheabedi et al., 2024). Such errors become particularly prominent in areas with complex topography or high building density.

The literature defines challenging GNSS environments as urban areas, forested regions, and enclosed or semi-enclosed spaces. In these environments, GNSS signals frequently experience blockage, multipath propagation, and signal attenuation. Elamin et al. (2022) demonstrated that in UAV-based scenarios with limited GNSS signals, GNSS/INS/LiDAR integration significantly enhances the continuity of position solutions.

The supportive use of LiDAR sensors to augment GNSS performance is especially critical under non-line-of-sight (NLOS) conditions. Hassan et al. (2022) and Wen et al. (2020) showed that using LiDAR data to model environmental obstacles can indirectly improve the quality of GNSS measurements. This

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

approach enables a better understanding of the relationship between GNSS signal structure and environmental conditions.

The advantages of L-band frequencies become particularly evident in airborne GNSS-based studies. GNSS-R airborne experiments have shown that the L1 and L5 bands exhibit different behaviors regarding signal stability and surface interactions (Munoz-Martin et al., 2021a; Munoz-Martin et al., 2021b). Although these studies do not directly focus on LiDAR integration, they highlight the importance of L-band frequencies for measurement continuity on airborne platforms.

In LiDAR-supported precision positioning studies, the effect of GNSS frequency structure on trajectory accuracy is mostly addressed indirectly. Research on low-cost and multi-frequency GNSS receivers indicates that frequency diversity is a key factor for positioning accuracy and solution stability (Hodgson, 2020; Miletiev et al., 2024).

Recent tightly coupled integration approaches aim to jointly evaluate raw measurements from GNSS, INS, and LiDAR sensors. Methods such as GIL, GLIO, LIGO, and TL-GILNS emphasize the contributions of LiDAR and inertial sensors when GNSS measurements are limited in frequency diversity or continuity, thereby enhancing the stability of the position solution (Li X. et al., 2021; Liu et al., 2024; He et al., 2025; Wen et al., 2025).

These studies demonstrate that GNSS frequency structure and measurement continuity are critical for trajectory accuracy, especially during long-duration and challenging operations. L-band GNSS solutions are considered a vital component for supporting continuous position solutions within such integration approaches (Li S. et al., 2022; Li S. et al., 2023).

When evaluated collectively, the literature clearly indicates that the accuracy of airborne LiDAR systems largely depends on GNSS-based trajectory quality. Scenarios with reduced GNSS signal continuity or degraded measurement quality result in geometric distortions and strip alignment problems in LiDAR data. In this context, the continuity potential offered by GNSS frequency structure, particularly L-band frequencies, emerges as a significant research area for maintaining airborne LiDAR system performance in challenging environments.

Table 1. Summary of literature on the impact of GNSS L-band–supported integration on airborne and mobile LiDAR accuracy

Study	**Platform / Application**	**Integration Strategy**	**GNSS Conditions**	**Key Findings Related to LiDAR Accuracy and L-band**
Bedkowski et al. (2021)	Large-scale mobile LiDAR (continental scale)	GNSS/INS/LiDAR alignment analysis	Variable GNSS availability	Demonstrated that GNSS positioning accuracy is critical for long-term LiDAR strip alignment and trajectory consistency, particularly under degraded GNSS conditions.
Elamin et al. (2022)	UAV-based LiDAR navigation	Tightly coupled GNSS/INS/LiDAR	GNSS-challenging environments	Showed that integrated solutions significantly improve trajectory robustness when GNSS

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

				signals are partially obstructed or degraded.
Paijitprapaporn et al. (2021)	Urban mobile mapping	GNSS + LiDAR data integration	Urban GNSS degradation	Identified strong correlations between GNSS positioning errors and LiDAR point cloud accuracy in dense urban areas.
Salehi-Dorcheabedi et al. (2024)	Airborne LiDAR (urban)	GNSS-supported post-mission enhancement	Multipath and signal blockage	Demonstrated that GNSS-supported corrections significantly improve LiDAR height precision in urban environments.
Liu et al. (2024) – GLIO	Urban autonomous navigation	GNSS/LiDAR/IMU tightly coupled	Intermittent GNSS	Achieved drift-free state estimation by compensating GNSS outages with LiDAR and inertial data.
He et al. (2025) – LIGO	Real-time mapping and localization	Hierarchical GNSS/INS/LiDAR fusion	GNSS interruptions	Demonstrated improved global localization stability during GNSS signal loss.
Wen et al. (2025) – TL-GILNS	Integrated positioning systems	Trajectory-layer-enhanced GNSS/INS/LiDAR	Degraded GNSS environments	Showed that enhanced trajectory modeling improves accuracy quantification under limited GNSS conditions.
Lee et al. (2023)	Forest airborne LiDAR	GNSS error propagation analysis	Canopy-induced signal degradation	Demonstrated that GNSS positional errors directly propagate into airborne LiDAR-derived forest metrics.
Miletiev et al. (2024)	Unmanned vehicles	GNSS receiver performance analysis	Variable environments	Highlighted the importance of GNSS signal quality and frequency support for navigation accuracy.
Munoz-Martin et al. (2021)	Airborne GNSS-R (L1/L5)	L-band signal exploitation	Vegetation and soil scenarios	Demonstrated the robustness of L-band signals under vegetation cover
Hodgson (2020)	GNSS reference networks	Dual-frequency GNSS analysis	Varying signal quality	Demonstrated that dual-frequency GNSS significantly improves

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

				positional reliability, which directly impacts LiDAR georeferencing accuracy.
Ng et al. (2021)	Urban GNSS positioning	Dual-frequency GNSS with 3D mapping	Urban canyon	Showed that frequency diversity improves GNSS robustness in dense urban environments, supporting LiDAR-based mapping applications.
Qian et al. (2016)	Forest LiDAR mapping	GNSS/INS/LiDAR-SLAM	Canopy obstruction	Showed that LiDAR-based positioning compensates for GNSS degradation in forested environments.
Wen et al. (2020)	Intelligent transportation systems	Object-detection-aided GNSS/LiDAR	Severe NLOS	Demonstrated that LiDAR-assisted GNSS improves positioning reliability under severe signal blockage conditions.

5. INDUSTRIAL APPLICATIONS AND RECOMMENDATIONS

The significance of L-band-enabled multi-frequency GNSS receivers (particularly L1/L2/L5) in industrial applications is directly linked to growth trends in the global GNSS receiver market. According to sector reports, the L1/L2/L5 GNSS receiver market reached approximately USD 2.3 billion in 2024 and is expected to grow at an average annual rate of 8.1% between 2025 and 2033, reaching an estimated USD 4.6 billion. Key drivers of this growth include increasing requirements for high positioning accuracy, signal reliability, and multi-frequency signal processing (Reports, 2025).

Compared to single-frequency solutions, L1/L2/L5 GNSS receivers provide more effective suppression of ionospheric delays, faster convergence times, and higher resilience against interference. In particular, triple-frequency GNSS receivers, which simultaneously utilize L1, L2, and L5 bands, offer more stable and reliable positioning solutions in complex and challenging environments. This performance enhancement impacts trajectory computation and point cloud accuracy in LiDAR applications. As highlighted in the reports, the technical advantages provided by L1/L2/L5 GNSS receivers are increasingly important for LiDAR systems deployed on airborne platforms across a wide range of applications. Surveying and mapping remain the primary application areas, where growing demands for high positioning accuracy directly drive the adoption of multi-frequency GNSS receivers (Reports, 2025).

Triple-frequency L1/L2/L5 GNSS receivers offer higher signal stability and stronger interference mitigation compared to single- or dual-frequency systems. These technical features provide significant benefits for:

1. Synchronous positioning and trajectory computation in LiDAR systems,

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

2. More effective modeling of atmospheric delays, and
3. Maintaining GNSS signal continuity during high-altitude flights (Reports, 2025).

In this regard, L-band-enabled multi-frequency GNSS solutions have the potential to improve critical quality indicators in airborne LiDAR applications, including trajectory integrity, point cloud accuracy, and data reproducibility. The growing industrial demand for GNSS receivers demonstrates that these technologies have strategic importance not only in academic research but also in operational and commercial contexts.

In conclusion, the growth of the L1/L2/L5 GNSS receiver market is directly associated with increasing demand for GNSS technologies capable of processing multi-frequency and L-band signals. These solutions provide a comprehensive approach to meeting positioning accuracy, signal robustness, and operational reliability requirements in airborne LiDAR systems. L-band-enabled GNSS receivers have become a key component for enhancing positioning and trajectory quality in LiDAR measurements, and the use of triple-frequency GNSS is advancing toward becoming an industry standard in high-accuracy, high-continuity airborne LiDAR applications (Reports, 2025).

Table 2. L1/L2/L5 GNSS Receiver Manufacturers and Their Relevance in Airborne LiDAR Applications

GNSS Receiver Manufacturer	Product Highlights	Potential Relevance to Airborne LiDAR
Trimble Inc.	Broad GNSS product portfolio (multi-frequency L1/L2/L5)	Provides GNSS positioning infrastructure supporting high accuracy and stability in airborne LiDAR systems.
Topcon Corporation	Precision positioning and automation technologies	Supplies reliable positioning data for LiDAR trajectory determination.
Leica Geosystems (Hexagon AB)	Advanced GNSS/INS solutions	Offers critical GNSS support for position and orientation systems (POS) used in airborne LiDAR platforms.
Septentrio NV	High-precision multi-frequency GNSS receivers	Improves the positional accuracy of LiDAR data in complex or signal-challenged environments.
Hemisphere GNSS	Multi-frequency GNSS receivers	Enables high-performance positioning solutions when integrated with LiDAR systems.
JAVAD GNSS	Innovative GNSS receiver technologies	Provides precise positioning through multi-frequency support, including L-band signals.
u-blox AG	Multi-frequency GNSS solutions	Supplies GNSS positioning suitable for lightweight platforms (e.g., UAV-based LiDAR applications).
NovAtel (Hexagon AB)	High-accuracy GNSS modules	Delivers stable and reliable GNSS signals for LiDAR-oriented positioning systems.

In conclusion, the growth of the L1/L2/L5 GNSS receiver market clearly indicates an increasing demand for GNSS technologies capable of processing multi-frequency and L-band signals. This trend directly aligns with the requirements for positioning accuracy, signal continuity, and operational reliability in airborne LiDAR systems. Industrial adoption of these technologies highlights their role as a complementary factor in enhancing trajectory accuracy and point cloud

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

quality in airborne LiDAR applications, thereby reinforcing the practical relevance of the technical assessments discussed in this study.

6. GENERAL ASSESSMENT AND CONCLUSIONS

This study reviewed the relationship between accuracy in airborne LiDAR systems and GNSS-based trajectory quality, as well as the potential contributions of GNSS L-band frequencies within this context. The examined academic studies indicate that LiDAR point cloud accuracy is largely dependent on the positional and orientation precision provided by GNSS/INS integration. In particular, conventional GNSS solutions show limitations in challenging environments such as urban areas, forested regions, and locations where signal continuity is disrupted.

From an industrial perspective, multi-frequency and L-band-enabled GNSS solutions are positioned not merely as direct accuracy enhancers but as complementary components that support operational continuity, stability, and data reliability in airborne LiDAR systems. In scenarios where GNSS signal interruptions are frequent, L-band-capable GNSS infrastructures, when combined with tightly coupled integration approaches, contribute to maintaining trajectory integrity and reducing the need for repeated data acquisitions on preferred industrial airborne LiDAR platforms.

REFERENCES

Bedkowski, J., Nowak, H., Kubiak, B., Studzinski, W., Janeczek, M., Karas, S., Kopaczewski, A., Makosiej, P., Koszuk, J., Pec, M., & Miksa, K. (2021). A Novel Approach to Global Positioning System Accuracy Assessment, Verified on LiDAR Alignment of One Million Kilometers at a Continent Scale, as a Foundation for Autonomous DRIVING Safety Analysis. *Sensors*, *21*(17). HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s21175691" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s21175691

Elamin, A., Abdelaziz, N., & El-Rabbany, A. (2022). A GNSS/INS/LiDAR Integration Scheme for UAV-Based Navigation in GNSS-Challenging Environments. *Sensors*, *22*(24). HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s22249908" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s22249908

Fernandez-Diaz, J., Carter, W., Shrestha, R., & Glennie, C. (2014). Now You See It… Now You Don't: Understanding Airborne Mapping LiDAR Collection and Data Product Generation for Archaeological Research in Mesoamerica. *Remote Sensing*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs6109951" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs6109951

Hassan, T., Fath-Allah, T., Elhabiby, M., Awad, A., & El-Tokhey, M. (2022). Detection of GNSS no-line of sight signals using LiDAR sensors for intelligent transportation systems. *Survey Review*, *54*(385), s. 301-309. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00396265.2021.1937458" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00396265.2021.1937458

He, D., Li, H., & Yin, J. (2025). LIGO: A Tightly Coupled LiDAR-Inertial-GNSS Odometry Based on a Hierarchy Fusion Framework for Global Localization With Real-Time

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Mapping. *IEEE Transactions on Robotics*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TRO.2025.3530298" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TRO.2025.3530298

Hodgson, M. (2020). On the accuracy of low-cost dual-frequency GNSS network receivers and reference data. *GIScience & Remote Sensing, 57*(7), s. 907-923. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1822588" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1822588

Ila, Q., Cahyadi, M., Asfihani, T., Suhandri, H., & Taufany, F. (2025). Analysis of GNSS-IMU Lidar Integration for Indoor Positioning Using Unscented Kalman Filter. *Civil Engineering Journal*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.28991/CEJ-2025-011-08-06" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.28991/CEJ-2025-011-08-06

Imani, D., Cahyadi, M., Farid, I., & Mardianto, R. (2023). INTEGRATION ANALYSIS OF DRONE MULTI SENSOR-GNSS-LIDAR-CAMERA FOR 3D MAPPING. *Journal of Marine-Earth Science Technology*. HYPERLINK "https://doi.org/DOI: 10.12962/j27745449.v4i1.699" \t "_blank" https://doi.org/DOI: 10.12962/j27745449.v4i1.699

Lee, T., Peduzzi, A., Vatandaşlar, C., & Bettinger, P. (2023). The effect of inherent positional error of GNSS receiver on the accuracy of models for estimating forest variables using airborne LiDAR. HYPERLINK "https://www.researchgate.net/publication/377079162_The_effect_of_inherent_positional_error_of_GNSS_receiver_on_the_accuracy_of_models_for_estimating_forest_variables_using_airborne_LiDAR" \t "_blank" https://www.researchgate.net/publication/377079162_The_effect_of_inherent_positional_error_of_GNSS_receiver_on_the_accuracy_of_models_for_estimating_forest_variables_using_airborne_LiDAR

Li, S., Li, X., Wang, H., Zhou, Y., & Shen, Z. (2023). Multi GNSS PPP/INS/Vision/LiDAR tightly integrated system for precise navigation in urban environments. *Information Fusion*, s. 218-232. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.inffus.2022.09.018" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.inffus.2022.09.018

Li, S., Wang, S., Zhou, Y., Shen, Z., & Li, X. (2022). Tightly Coupled Integration of GNSS, INS, and LiDAR for Vehicle Navigation in Urban Environments. *IEEE Internet of Things Journal, 9*(24). HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3194544" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3194544

Li, X., Wang, H., Li, S., Feng, S., Wang, X., & Liao, J. (2021). GIL: a tightly coupled GNSS PPP/INS/LiDAR method for precise vehicle navigation. *Satellite Navigation, 2*.

Liu, X., Wen, W., & Hsu, L. (2024). GLIO: Tightly-Coupled GNSS/LiDAR/IMU Integration for Continuous and Drift-Free State Estimation of Intelligent Vehicles in Urban Areas. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 9*(1). HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TIV.2023.3323648" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TIV.2023.3323648

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Miletiev, R., Petkov, P., Yordanov, R., & Brusev, T. (2024). Study of Global Navigation Satellite System Receivers' Accuracy for Unmanned Vehicles. *Sensors, 24*(18). HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s24185909" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s24185909

Munoz-Martin, J., Onrubia, R., Pascual, D., Park, H., Pablos, M., Camps, A., Rüdiger, C., Walker, J., & Monerris, A. (2021). Single-Pass Soil Moisture Retrieval Using GNSS-R at L1 and L5 Bands: Results from Airborne Experiment. *13*(4). HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs13040797" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs13040797

Munoz-Martin, J., Pascual, D., Onrubia, R., Park, H., Camps, A., Rüdiger, C., Walker, J., & Monerris, A. (2021). Vegetation Canopy Height Retrieval Using L1 and L5 Airborne GNSS-R. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1109/LGRS.2021.3131263" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1109/LGRS.2021.3131263

Ng, H.-F., Zhang, G., Luo, Y., & Hsu, L. (2021). Urban positioning: 3D mapping-aided GNSS using dual-frequency pseudorange measurements from smartphones. *NAVIGATION*, s. 727-749. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1002/navi.448" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1002/navi.448

Paijitprapaporn, C., Thongtan, T., & Satirapod, C. (2021). Accuracy assessment of integrated GNSS measurements with LIDAR mobile mapping data in urban environments. *Measurement: Sensors*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100078" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100078

Pilarska, M., Ostrowski, W., Bakuła, K., Górski, K., & Kurczyński, Z. (2016). THE POTENTIAL OF LIGHT LASER SCANNERS DEVELOPED FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES – THE REVIEW AND ACCURACY. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.* HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W2-87-2016" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W2-87-2016

Qian, C., Liu, H., Tang, J., Chen, Y., Kaartinen, H., Kukko, A., Zhu, L., Liang, X., Chen, L., & Hyyppä, J. (2016). An Integrated GNSS/INS/LiDAR-SLAM Positioning Method for Highly Accurate Forest Stem Mapping. *Remote Sensing, 9*(1). HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs9010003" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs9010003

Reports, G. M. (2025). L1/L2/L5 GNSS Receiver Market Research Report 2033. *Growth Market Reports*. Ontario. HYPERLINK "https://growthmarketreports.com/report/l1l2l5-gnss-receiver-market" \t "_blank" https://growthmarketreports.com/report/l1l2l5-gnss-receiver-market

Romero, K., Castillo, Y., Quesada, M., Zumbado, Y., & Jiménez, J. (2025). Development of a Testing Method for the Accuracy and Precision of GNSS and LiDAR Technology. *AgriEngineering, 7*(9). HYPERLINK

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
"https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agriengineering7090310" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agriengineering7090310

Salehi-Dorcheabedi, M., Asgari , J., Amiri-Simkooei, A., & Nasrabadi, S. (2024). Improving LiDAR Height Precision in Urban Environment: Low-Cost GNSS Ranging Prototype for Post-Mission Airborne Laser Scanning Enhancement. *Remote Sensing Applications: Society and Environment , 35*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101251" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101251

Wen, W., Zhang, G., & Hsu, L. (2020). Object-Detection-Aided GNSS and Its Integration With Lidar in Highly Urbanized Areas. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, 12*(3). HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1109/MITS.2020.2994131" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1109/MITS.2020.2994131

Wen, Z., Guo, X., Zheng, Z., Liu, S., Zhang, T., & Xia, X. (2025). TL-GILNS: A Trajectory-Layer-Enhanced GNSS/INS/LiDAR Integrated Approach Toward Reliable Positioning and Accurate Accuracy Quantification. *IEEE Internet of Things Journal, 12*(5). HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3488352" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3488352

Zhang, J., Khodabandeh, A., & Khoshelham, K. (2023b). On the role of lidar measurements in speeding up precise point positioning convergence. *GPS Solutions*. HYPERLINK "https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10291-023-01497-3" \t "_blank" https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10291-023-01497-3

Zhang, J., Khoshelham, K., & Khodabandeh, A. (2023a). FAST CONVERGING LIDAR-AIDED PRECISE POINT POSITIONING: A CASE STUDY WITH LOW-COST GNSS. HYPERLINK "https://doi.org/https://www.doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-W1-2023-687-2023" \t "_blank" https://doi.org/https://www.doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-W1-2023-687-2023

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

18CRNİMO7-6 ÇELİĞİNE UYGULANAN FARKLI YÜZEY SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİNİN(KARBÜRLEME, KARBONİTRÜRLEME VE NİTRÜRLEME) MİKROYAPI, SERTLİK VE AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİ

Muzaffer KAŞİFOĞLU[1,2,3]

Sakarya Üniversitesi,muzaffer.kasifoglu1@ogr.sakarya.edu.tr , muzafferk@baykal.com.tr - 0009-0002-1906-1834

Erhan DURU[2,3]

Sakarya Üniversitesi, erhanduru@sakarya.edu.tr - 0000-0002-6205-6566

Sezer TAN[2,3]

Sakarya Üniversitesi, sezertan@sakarya.edu.tr - 0000-0002-1265-6897

Tuğrul ÇETİNKAYA[2,3]

Sakarya Üniversitesi, tcetinkaya@sakarya.edu.tr - 0000-0001-7509-8856

[1]Baykal Makina San. ve Tic. A.Ş., Işıktepe OSB Mah. Turkuaz Cad. No:59, Bursa,Türkiye

[2]Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü, 54050, Sakarya, Türkiye

[3]Sakarya Üniversitesi, Araştırma, Geliştirme ve Uygulama Merkezi (SARGEM), Esentepe Kampüsü, 54050, Sakarya, Türkiye

[*]muzaffer.kasifoglu1@ogr.sakarya.edu.tr

ÖZET

Yapılan çalışmada, 18CrNiMO7-6 sementasyon çeliğine yüzey sertleştirme yöntemlerinden olan; karbürleme, karbonitrürleme ve nitrürleme olmak üzere üç farklı sertleştirme prosesi uygulanmıştır. Her bir proses kendi optimum sıcaklıkları altında yapılmış olup; karbürleme 2 saat, karbonitrürleme 2 saat ve nitrürleme işlemi 6 saat olarak uygulanmıştır. Nitrürleme prosesinin 6 saat olarak seçilme sebebi diğer işlemlere göre daha düşük sıcaklıklar altında gerçekleşmesidir. Deneysel çalışmalar için 18CrNiMo7-6 çeliğinden ⌀50 × 100mm numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler küçük eş parçalara kesilerek zımparalama işlemlerine tabi tutulmuştur. Sonrasında yüzeydeki çiziklerin giderilmesi için elmas suyu solüsyonu kullanılarak parlatılmıştır. Ayrıca optik mikroskop incelemelerinde temiz bir görüntü elde etmek için nital dağlama yapılmıştır.

Isıl işlem ve deneysel testler için numune hazırlığı tamamlanan çelik parçaların optik mikroskop altında mikroyapı analizleri yapılmıştır. Sertlik ölçme cihazı ile numunelerin yüzey sertlikleri Rockwell cinsinden karbürleme için 55 HRC, karbonitrürleme için 57 HRC ve nitrürleme işleminde 59,7 HRC olarak ölçülmüştür. Çekirdek sertlik değerleri Vickers cinsinden 2 saat karbürleme için 453 HV, 2 saat karbonitrürleme için 438 HV ve 6 saat nitrürleme yapılan numunenin çekirdek sertliği 222 HV olarak ölçülmüştür. Mikrosertlik testlerine tabi tutulan numunelerin difüzyon derinliğine göre sertlik değerleri ölçülmüştür. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi ile farklı büyütmeler altında görüntüler elde edilmiştir. Üç nokta tayin edilerek yüzey, difüzyon geçişi ve çekirdek bölgelerinde EDS analizleri yapılmıştır. Numunelerin aşınma testleri CSM Instruments marka, ileri geri salınım

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
(Reciprocating) hareketi yapan aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Testler oda sıcaklığında 5 N yük altında, 500 m mesafede 10 cm/s kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Her numune için test süresi 1 saat sürmüş olup, iki kez tekrarlanmıştır. Aşındırıcı uç olarak 10 mm çapında Alümina bilya kullanılmıştır. Aşınma testi sonucunda oluşan yüzeyler SEM ve EDS analizleri yapılarak aşınma türleri incelenmiştir. Sürtünme katsayısı 0,50-0,55 aralığında ve en düşük sürtünme katsayısına sahip olan numunenin nitrürlemeye ait olduğu belirlenmiştir. Karbürlenmiş numunenin sürtünme katsayısı 0,79-0,83 aralığında ve karbonitrürlenmiş numunenin 0,81-0,84 aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu verilere göre sürtünme katsayıları en yüksek olan numuneler karbürlenmiş ve karbonitrürlenmiş parçalara ait olup, yakın değerlere sahiptir. Aşınma oranı sonuçları ise karbürlemenin 5,95 × 10^{-6} $mm^3/N·m$, karbonitrürlemenin 5,82 × 10^{-6} $mm^3/N·m$ ve nitrürlemenin 5,8 × 10^{-6} $mm^3/N·m$ olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 18CrNiMo7-6 Çeliği, Karbürleme, Karbonitrürleme, Nitrürleme, Sertlik, Mikroyapı

1. GİRİŞ

18CrNiMo7-6 çeliği, malzeme numarası 1.6587 olan; krom, nikel ve molibden gibi çeşitli alaşımlar içeren bir sementasyon çeliğidir [1]. Bu alaşım elementlerinden nikelin çekirdekte tokluğu arttırırken darbelere karşı direnç sağlaması, kromun sertlik derinliği ve aşınma direncini arttırması, molibdenin gevrekliği azaltarak yüksek sıcaklıklara dayanım sağlaması gibi çeşitli özelliklerine önemli katkılar sağlar [2]. Özellikle çeşitli yüzey sertleştirme yöntemleri ile yüksek yüzey sertliği ve çekirdek tokluğunun bir araya gelmesi ile aşınmaya maruz kalan dayanım gerektiren güç aktarma elemanları için kullanılan bir çelik türüdür.

Bu çalışmada ele alınan düşük alaşımlı 18CrNiMo7-6 sementasyon çeliği yüksek tokluk istenilen dişli ve mil uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Ayrıca çeşitli yüzey sertleştirme işlemlerine elverişli olmasıyla endüstride önemli bir yere sahiptir [3-4]. Literatür çalışmalarında 18CrNiMo7-6 çeliğinin yüzeyde sergilediği mikroyapı, sertlik dağılımı ve artık gerilmelerin dişli performansına etkisi farklı ısıl işlemler ile karşılaştırılmış olup özellikle ısıl işlem sonrası elde edilen yüzey tabakasının karakterizasyonu ve elde edilen sonuçlar vurgulanmıştır.

Endüstride kullanılan birçok farklı ısıl işlem türü mevcuttur. Deneysel çalışmalar kimyasal kompozisyonda değişikliğe maruz bırakılarak yüzey sertleştirme yöntemlerinden olan karbürleme, karbonitrürleme ve nitrürleme işlemlerinden oluşmaktadır. Karbürleme işleminde yüzeye karbon difüzyonu sayesinde karbonca zenginleştirilmiş martenzitik tabakanın oluşumu ile yüksek sertlik elde edilir. Sonrasında uygulanan soğutma işlemleriyle yüzeyinde oluşan kalıntı östenit miktarı ve martenzitik tabakanın özellikleri sertlik dağılımı üzerinde önemli rol oynar. Karbonitrürlemede östenitik bölgede karbon ve azotun difüzyonu sayesinde yüzeyde daha yoğun martenzitik yapıların oluşması ve kalıntı östenit miktarının artışı ile farklı gerilme profilleri oluşmaktadır. 18CrNiMo7-6 çeliği üzerine yapılan çalışmalarda karbon ve azotun potansiyeli ile sertleştirilmiş tabakada belirleyici rol oynar [5]. Nitrürleme işlemi karbürleme ve karbonitrürleme işlemlerine göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşir. Ferritik bölgede gerçekleştirilen bu işlem boyutsal stabilite avantajı sağlar. Nitrürleme sonucu sert bir yüzey ile

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

birlikte çekirdeğe doğru bir sertlik gradyenti oluşturur. Bu çelik üzerinde oluşan sertlik gradyenti ve mikroyapı üzerine çeşitli çalışmalar mevcuttur [6].

Çeliklerin aşınma davranışları; kalıntı östenit miktarı, martenzitik yapı, karbür ve nitrür dağılımı, mikroyapı, tabaka sürekliliği gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu nedenle uygulanan aşınma testleri sonrası SEM ve EDS analizleri aşınma türleri hakkında yön göstermektedir [7].

Literatür kapsamında, 18CrNiMo7-6 çeliği üzerine farklı çalışmalar mevcuttur. Fakat karbürleme, karbonitrürleme ve nitrürleme gibi üç farklı yüzey sertleştirme işlemine ait önemli bulgular tek bir çalışma kapsamında sınırlıdır. Bu çalışmada 18CrNiMo7-6 çeliğine 2 saat karbürleme, 2 saat karbonitrürleme ve 6 saat nitrürleme işlemleri uygulanmıştır. Bu işlemler sonrası elde edilen yüzey tabakalarının sertlik dağılımı, mikroyapı, aşınma davranışı ve SEM-EDS analizleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar 18CrNiMo7-6 çeliği için uygun yüzey sertleştirme prosesinin seçimine yönelik karşılaştırmalı bir değerlendirme sunmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, sementasyon grubu olan 18CrNiMo7-6 alaşımlı çeliği seçilmiştir. Çelik numune 50mm çapında 2 metrelik boy numuneden küçük parçalara kesilmiştir.100 mm boyunda kesilen numuneler farklı ısıl işlem proseslerine hazırlık için yüzeyinden universal torna ile kabuk alma işlemi yapılmıştır. Temin edilen çelik numunenin kimyasal bileşim dağılımı **Çizelge 2.1'de** verilmiştir [1].

Çizelge 2.1.18CrNiMo7-6 Çeliğinin Kimyasal Bileşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,17	0,04	0,9	0,035	0,04	1,8	0,35	1,7

Bu çalışmada yüzey sertleştirme yöntemlerinden olan karbürleme, karbonitrürleme ve nitrürleme ısıl işlemleri uygulanacaktır. Her bir ısıl işlem için 3'er adet çelik numune hazırlanmıştır. Isıl işlem süreleri sırasıyla; 2 saat karbürleme, 2 saat karbonitrürleme ve 6 saat nitrürleme olarak ayarlanmıştır. Nitrürleme prosesinde 6 saatlik ısıl işlem yapılmasının sebebi diğer yöntemlere göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesidir. Ferritik bölgede uygulanan bu işlemin deney kapsamında gerçekçi ve doğru sonuç vermesi için nitrürleme 6 saat olarak uygulanmıştır.

Karbürleme işleminde numune 2 saat boyunca 870°C'de ve 1 saat boyunca bekleme rampasında ısıl işleme tabii tutulmuştur. Karbonitrürleme işleminde 810°C'de ve 1 saat boyunca bekleme rampasında gerçekleştirilmiştir. Nitrürleme işleminde ise 560°C'de 6 saat ısıl işleme tabii tutularak yavaş soğutma ile 1 saat soğutmada bekletilmiştir. Isıl işlem prosesi tamamlanan çelik numunelerin her birinden deneysel testler için 20mm kalınlığında küçük parçalar kesilmiştir. Numunelerin kesiti alınarak mikroyapı ve sertlik testleri için metalografik numune hazırlama işlemleri uygulanmıştır.

Kesiti alınan çelik numuneler, sıcak bakalite alma cihazında kalıplanarak zımparalama aşamasına hazırlanmıştır. Bakalite alınarak kalıplanan çelik parça kesme esnasında

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

oluşabilecek yüzey çiziklerinin giderilmesi için otomatik zımparalama cihazına bağlanmıştır. Zımparalama işlemi kalından inceye sırasıyla 100-280-800-1500 kumla zımparalanmıştır. Kum olarak belirtilen ifade zımpara kâğıdının kum (grit) numarasıdır. Bu işlemin kabadan inceye doğru yapılmasının sebebi bir önceki kumun yüzeyde bırakabileceği çizikleri bir sonraki kum işleminde yok edilebilmesidir. Zımparalama sırasında malzemenin üzerine su püskürtülerek aşınan metal parçaların uzaklaştırılması ve numunenin soğuk kalması sağlanmaktadır.

Zımparalama işlemi tamamlandıktan sonra çizik kalmaması ve yüzeyin ayna gibi parlaması için parlatma işlemi yapılır. Parlatma işlemi zımparalama yapılan cihazda, parlatma çuhaları kullanılarak gerçekleştirilir. Bu işlem kaba ve ince olarak iki aşamada gerçekleşir. Parlatma işleminde ilk olarak 6µ çuha ve 6µ elmas suyu solüsyonu içerisinde parlatılır. Daha sonra ikinci aşama olarak 3µ çuha ve 3µ elmas suyu ile parlatma işlemi tamamlanmaktadır. Parlatılan numuneler yıkanıp kurutulduktan sonra %3 nital dağlama ile pürüzsüz ve temiz bir yüzey elde edilmiştir. Bu işlemler sonucu çelik numuneler optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi, enerji dağılımlı spektroskopi (EDS) analizi ve sertlik deneyleri için hazır hale getirilmiştir.

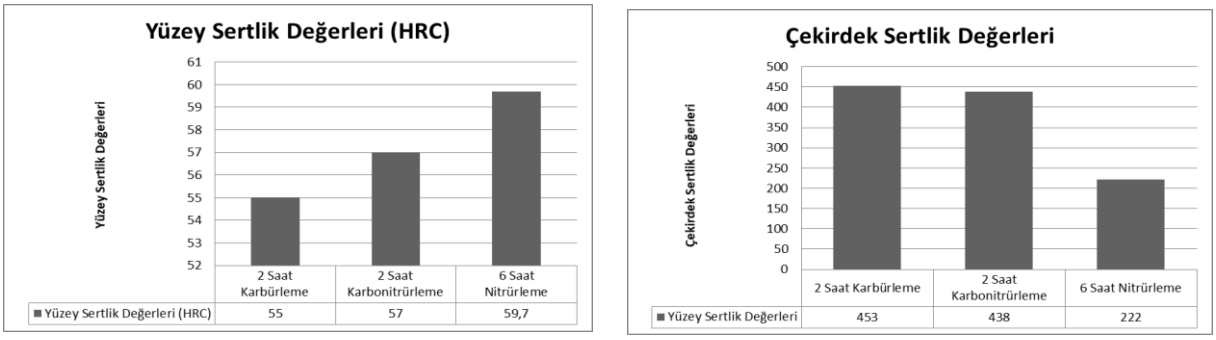
Numunelerin yüzey ve çekirdek sertlikleri ölçülmüştür. Karbürleme ve karbonitrürleme için sertlik Rockwell(HRC) cinsinden ölçülmüştür. Nitrürleme sonrası sertlik değeri Rockwell cinsinden ölçülememektedir. Bunun sebebi; HRC ölçümünde kullanılan yük ve derin batma, nitrürlenmiş sert tabakayı delme riski taşıdığı için yüzey sertliğinde doğru sonuç vermemesidir. Daha sonra sertlik dönüşüm tablosunda karşılık gelen HRC değerlerine çevirilmiştir[8]. Ayrıca numunelerin sertlik taraması yapılarak yüzeyden çekirdeğe doğru sertlik dağılımı tespit edilmiştir.

Çelik numunelere yapılan aşınma testleri ileri geri salınım hareketli tribometre cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Deneylerde aşındırıcı uç olarak Alümina bilya tercih edilmiş olup, 5 Newton yük altında her bir numuneye iki defa uygulanarak deneyde sapma olup olmadığı karşılaştırılmıştır. Bir numunenin aşınma test süresi 1 saat sürmüştür.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Sertlik Değerleri Karşılaştırılması

Yapılan çalışmalar sonucu 2 saat karbürleme, 2 saat karbonitrürleme ve 6 saat nitrürleme yapılan deney numunelerinin yüzey ve çekirdek sertlikleri **Görsel 3.1**'de verilmiştir.



Görsel 3.1.Yüzey ve Çekirdek sertlik değerleri.

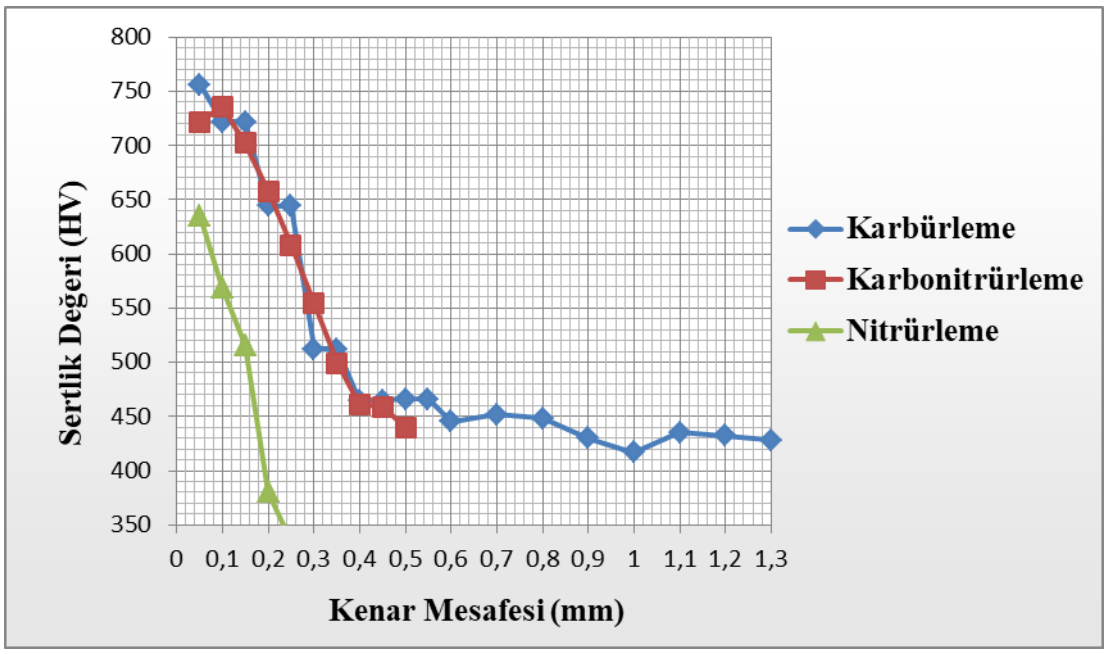
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Görsel 3.1'de gösterildiği gibi; karbürleme işlemi sonucu yüzey sertliği Rockwell cinsinden 55 HRC, karbonitrürleme işlemi için 57 HRC'dir. Nitrürleme işlemi için Vickers cinsinden sertlik değeri 696 HV'dir. Sertlik dönüşüm tablosunda karşılık gelen HRC cinsinden sertlik değeri 59,7'dir [8].

Çekirdek sertlik değerlerini karşılaştıracak olursak; çekirdek sertliği Vickers cinsinden en yüksek tespit edilen numune karbürleme işlemine ait olan 453 HV'dir. İkinci olarak tespit edilen sertlik değeri 438 HV ile karbonitrürleme işlemine aittir. Son olarak tespit edilen sertlik değeri 222 HV ile nitrürleme işlemidir.

Elde edilen bu sonuçlar karbürleme ve karbonitrürleme de kullanılan proses koşullarının ve yüksek sıcaklık değerlerinin çekirdekte yüksek sertlik elde etmek için elverişli olduğu gözükmektedir. Nitrürleme işlemi için gerçekleşen proses koşulları, Ferritik bölgede ve daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Faz dönüşümü bölgesinde olmadığından dolayı çekirdek sertliği diğer işlemlere göre düşük kalmıştır.

Karbürleme, karbonitrürleme ve nitrürleme işlemleri sonucu bakalite alınan çelik numunelerin yüzeyden çekirdeğe doğru sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri Vickers cinsinden tespit edilmiştir. Yüzeyden çekirdeğe doğru en az 10 farklı referans noktasından sertlik ölçümü yapılarak difüzyon derinliği belirlenmiştir. Difüzyon derinliğine göre sertlik değerleri **Görsel 3.2**'de karşılaştırılmıştır.



Görsel 3.2. Difüzyon derinliklerinin karşılaştırılması.

Karbürleme sonucu yüzeyde yüksek karbon tabakasına bağlı olarak yüksek sertlik elde edilmiş fakat bu sertlik seviyesini 0,25-0,30mm derinliğine kadar koruyabilmiştir. Sertliğin çekirdeğe doğru kademeli olarak azalması, yüzeyde oluşan martenzitik yapının çekirdeğe yaklaştıkça etkisini kaybettiği optik mikroskop altında da belirtilmiştir. Literatür araştırmalarında karbürleme işleminde uzun difüzyon süreleri ile yüksek sertlik tabakaları oluşturulabileceği belirtilmektedir.

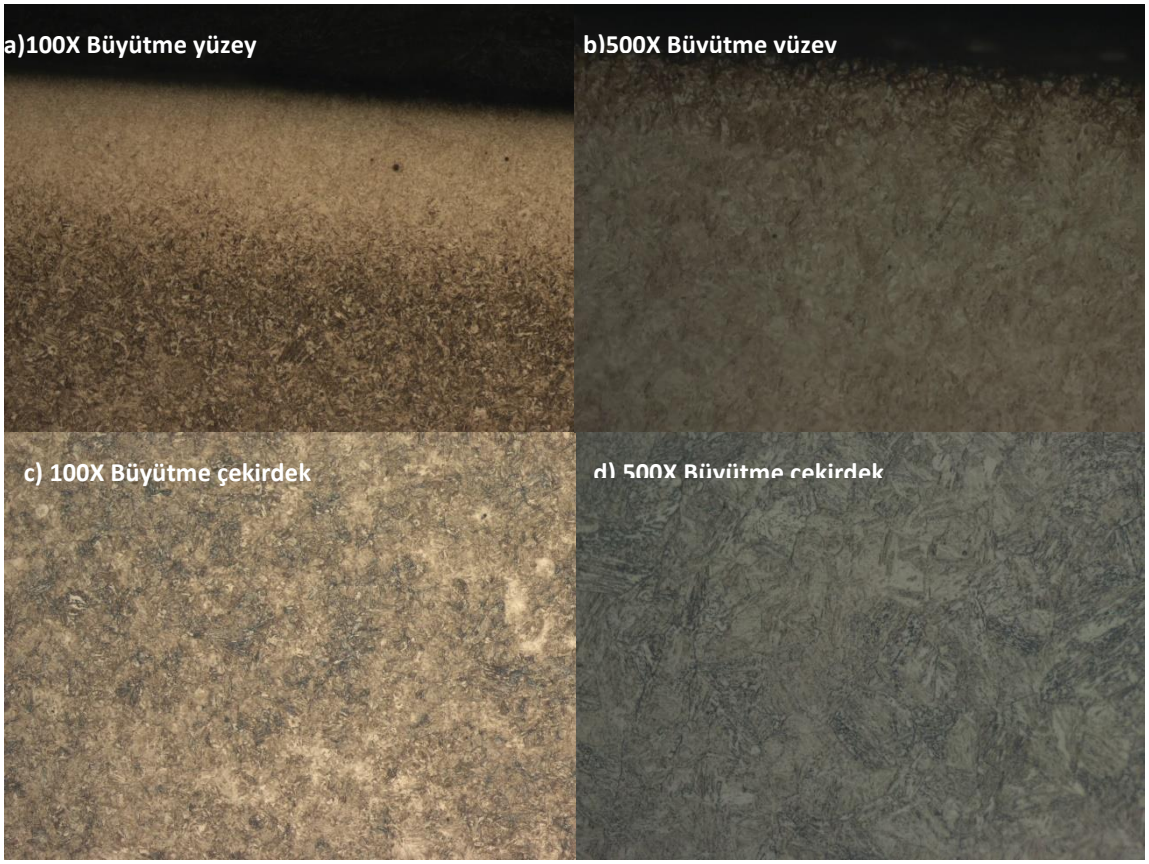
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Karbonitrürleme işlemine ait sertlik tabaka derinliği incelendiğinde karbürleme işlemine yakın sertlik değerleri elde edildiği grafikten okunabilmektedir. Fakat karbonitrürlemede sertlik derinliği daha dengeli azaldığı görülmektedir. Karbon ve azot difüzyonu, yüzeydeki yüksek sertliğini 0,30mm derinliğine kadar koruyabilmiştir. Azotun ortamda varlığı yüzey sertliğini dengelediği bilinmektedir [9]. Karbonitrürleme işlemi yeterli difüzyon derinliği ve yüksek yüzey sertliğini dengeli olarak koruyabilmektedir.

Nitrürleme işlemine ait sertlik tabakası değerleri, diğer yöntemlere göre sınırlı bir difüzyon derinliği sağladığı grafikte gözükmektedir. Yüzeyde yüksek sertlik elde edilmiştir. Fakat sertlik değerindeki düşüş 0,10-0,15mm derinlikte azalmaya başlamıştır. Bu yapı, nitrürlenmiş tabakada bulunan Ɛ-($Fe_{2-3}N$) ve ɣ'-(Fe_4N) fazlarının varlığı ve sınırlı kalınlıkta oluşan difüzyon bölgesiyle açıklanmaktadır.

3.2.Mikroyapı Karşılaştırılması

Isıl işlem sonrası metalografik işlemleri tamamlanan numuneler optik mikroskop altında incelenmiştir. Her bir numuneye 100X ve 500X büyütme yapılarak yüzey ve çekirdek mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir. Karbürleme yapılmış numunenin mikroyapı görüntüleri **Görsel 3.3**'te verilmiştir.



Görsel 3.3. Karbürleme a)100x yüzey, b)500x yüzey, c)100x çekirdek d)500x çekirdek

100x büyütme ile mikroyapı da sementasyon işlemi sonucu karbonca zenginleştirilerek sertlik sağlayan tabaka açıkça gözükmektedir. Yüzey mikroyapısı çekirdeğe göre daha koyu ve yoğun

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

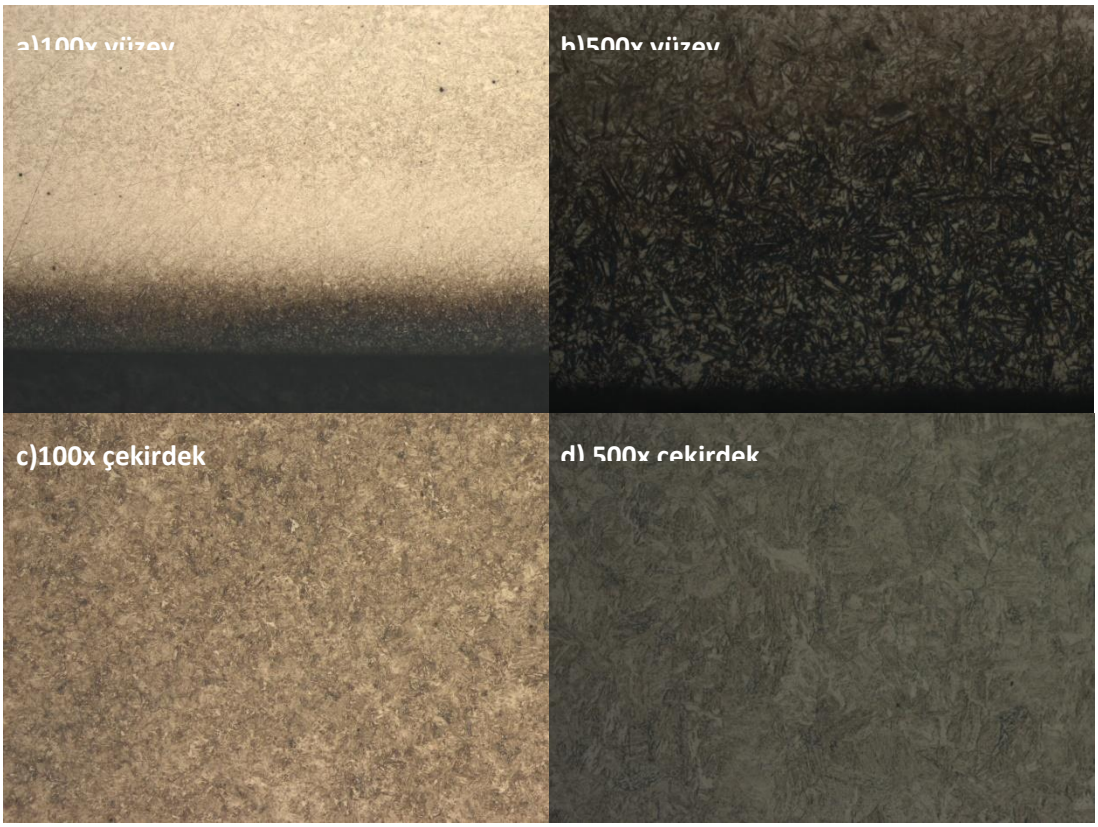
bir görünüm sağlamaktadır. Yüzeyden çekirdeğe doğru karbon difüzyonunun kontrollü bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.

500x büyütme ile gözlenen yüzey mikroyapısının ağırlıklı olarak homojen ince iğnesel martenzitik yapılar oluştuğu görülmektedir. Aralıklı olarak daha açık tonlu bölgeler kalıntı östenitin olduğunu göstermektedir. Yüzeyde karbür çökeltilerine rastlanılmamaktadır.

100x büyütme ile gözlenen çekirdek mikroyapısının, yüzey tabakasına göre daha açık renkli ve kaba bir mikroyapı gözlenmiştir. Karbon içeriğinin düşük olması sebebiyle yüzeydeki gibi martenzitik yapılar gözükmemektedir. Mikroyapının temperlenmiş martenzitik ve beynitik morfolojisi çekirdekte tokluk sağladığını gösterir. 500x büyütme ile gözlenen çekirdek mikroyapısında açıkça görülen martenzitik iğnesel yapılar yüzey bölgesine göre daha kaba ve seyrek olduğu görülmektedir.

Mikroyapı sonuçlarına göre 2 saatlik karbürleme işlemi uygulanan çelik numunenin mikroyapısı genel olarak homojen dağılım göstermiş olup, belirgin bir yapı bozukluğu içermemektedir. 18CrNiMo7-6 çeliğine ısıl işlem sonucu beklenen yüksek karbon difüzyonu ile yüzeyde martenzitik bir tabaka oluştuğu gözlenmektedir. Sonuç olarak karbürleme işlemi sonrası yüksek yüzey sertliği, iyi aşınma direnci ve çekirdekte tokluk sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre karbürleme işleminin dişli ve mil gibi mekanik yüklere maruz kalan makine elemanları için uygun bir sertlik tokluk dengesi sağlandığı görülmektedir.

Görsel 3.4. Karbonitrürleme a)100x yüzey b)500x yüzey, c)100x çekirdek d)500x çekirdek



Karbonitrürleme yapılmış çelik numuneye ait yüzey ve çekirdek mikroyapıları **Görsel 3.4**'te verilmiştir.100x büyütme ile elde edilen mikroyapıda, karbonitrürleme işlemi sonucu karbon ve azotça zenginleştirilerek sertleştirilen yüzey tabakası gözükmektedir. Yüzeyden çekirdeğe

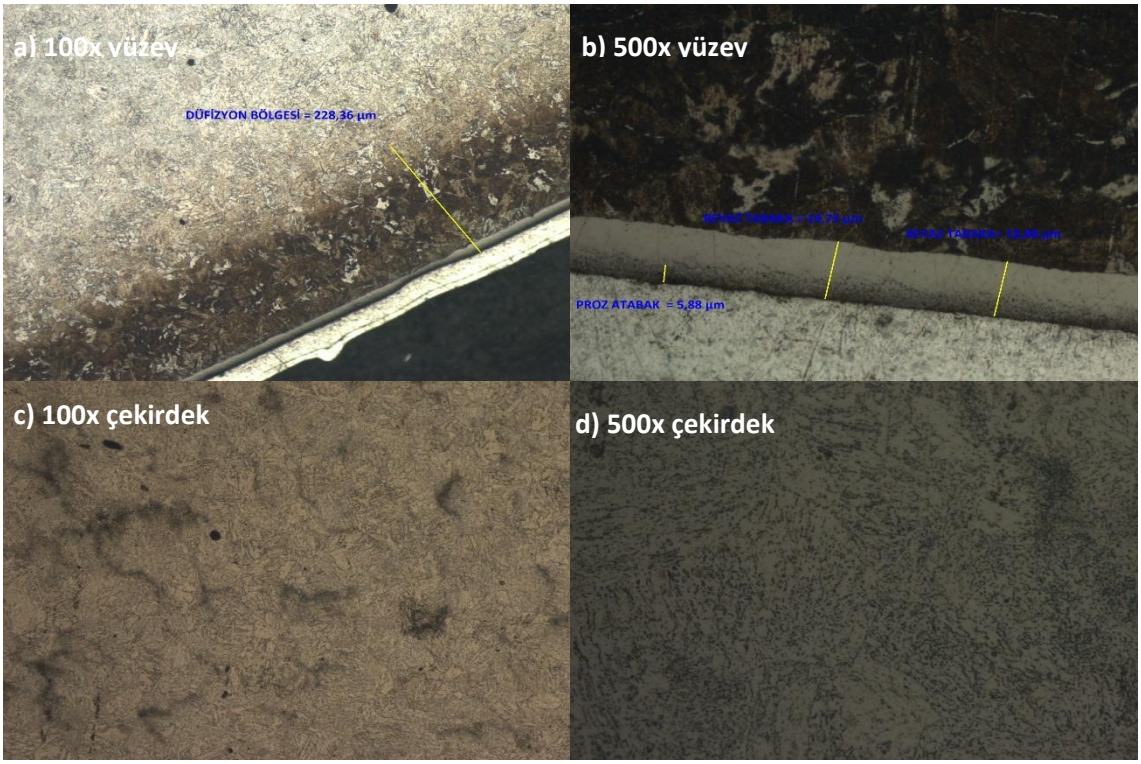
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

doğru belirgin bir mikroyapı gradyenti mevcut olup karbon ve azotun difüzyonunun kontrollü bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Bu tür gradyent yapı karbonitrürleme işlemine tabii tutulmuş düşük alaşımlı çelikler için literatür de örnek çalışmaları vardır [10].

500x büyütme ile elde edilen yüzey mikroyapısının ağırlıklı olarak ince ve yoğun iğnesel martenzit yapılardan oluştuğu gözükmektedir. Karbonitrürleme işlemiyle elde edilen martenzitlerin karbürlemeye kıyasla daha belirgin ve incedir. Bunun sebebi azotun varlığıdır. Düşük karbonlu çeliklerde karbonitrürleme sonrası yüzey mikroyapısında martenzitik yapıların oluşumu literatür çalışmalarında gözükmektedir[11].

Yüzey mikroyapıların da açık renkli bölgelerin varlığı, kalıntı östenit fazını işaret etmektedir. Karbonitrürleme işlemi esnasında azotun varlığı östeniti stabilize etmesinden dolayı yüzeyde bir miktar kalıntı östenit bulunması beklenen bir durumdur. Bu durum 18CrNiMo7-6 çelikleri üzerine yapılan farklı çalışmalarda da belirtilmiştir[9]. Karbonitrürleme işlemi sonucu yüzey görüntülerinde martenzitik matris içerisinde ince ve homojen dağılmış karbonitrür ve nitrür çökelmeleri malzemenin sertliğini arttırdığı çalışmalar literatürde yer almaktadır[10]. 100x ve 500x büyütme ile elde edilen çekirdek mikroyapısında, martenzit iğneleri yüzeye göre daha kaba ve seyrek olduğu görülmüştür.

Mikroyapı sonuçlarına göre 2 saat karbonitrürleme işlemi uygulanan çelik numune, yüzey bölgesinde kalıntı östenit içeren ince taneli bir yapı elde edilirken; çekirdekte tokluk sağlanan bir yapı oluşmuştur. Literatürde benzer çalışmalara uyumlu sonuçlar elde edilmiştir[10,11].



Görsel 3.5. Nitrürleme a)100x yüzey, b)500x yüzey, c)100x çekirdek, d)500x çekirdek

100x büyütme ile elde edilen yüzey mikroyapısında nitrürleme işlemi sonucu oluşan tabakalı yapı açıkça görülmektedir. Dış yüzeyde süreklilik gösteren beyaz tabaka belirgin şekilde gözükmektedir. Yapılan ölçümler sonucu tabakanın kalınlığı 18-20 µm civarıdır. Literatür

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

çalışmalarında nitrürlenmiş bu tabakanın Ɛ- (Fe_{2-3}-N) ve γ- (Fe_4N) fazlarından oluştuğu belirtilmektedir[9]. Beyaz tabakanın altındaki kısım difüzyon tabakası olarak adlandırılmaktadır. Difüzyon tabakası, 228 µm kalınlığa sahip olup nitrürleme işleminde mekanik dayanıma en çok etki eden bölgedir. Bu bölgede azotun Ferritik matris içerisine difüze olarak, Cr ve Mo alaşımlarıyla etkileşime girerek alaşım nitrürlerini oluşturmaktadır [12]. Difüzyon tabakasının belirgin ve homojen yapıda olması 6 saatlik nitrürleme işleminin başarılı bir şekilde yapıldığını gösterir.

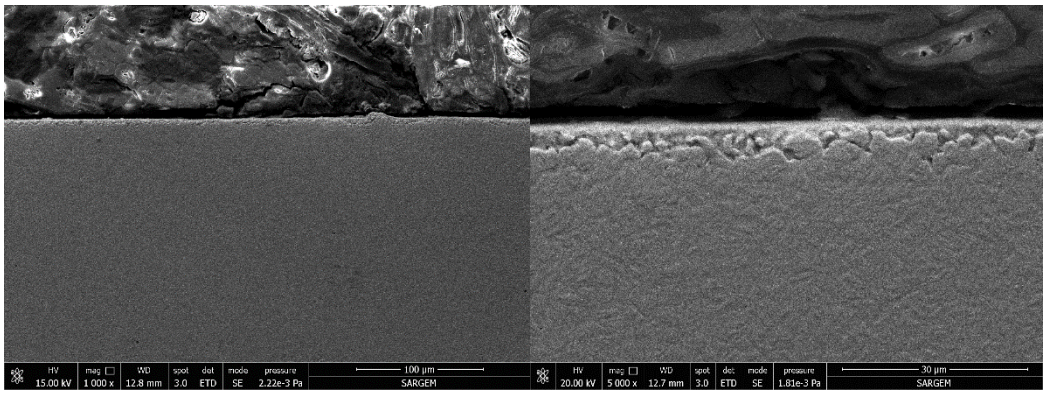
500x büyütme ile elde edilen yüzey mikroyapısında, beyaz tabakanın düzgün ve çatlak içermeyen bir morfoloji oluşturduğu görülmektedir. Literatürde kontrollü şekilde oluşturulan beyaz tabaka, aşınma direncine doğrudan etki gösterdiği için kalın ve düzensiz beyaz tabaka oluşumu gevrekliğe yol açacağı belirtilmiştir[6]. Difüzyon tabakasında gözüken ince koyu bölgeler nitrür çökelmelerini göstermektedir. Bu çökeltiler yüzey sertliği ve yorulma dayanımının artmasında etkilidir.

100x büyütme ile elde edilen çekirdek mikroyapısında, nitrürleme Ferritik sıcaklıklarda faz dönüşümü oluşmadan gerçekleştiği için çekirdek bölgesinde ön ısıl işlemle kazandırılmış yapıyı koruduğu gözükmektedir. 500x büyütme ile elde edilen mikroyapı da beynitik yapı sergilenmektedir. Çekirdekte nitrür çökeltilerine rastlanılmaması, azot difüzyonunun yüzeyde gerçekleştiğini gösterir. Nitrürleme işlemi çekirdeğin tokluk ve sünekliğini korumaktadır [6].

Mikroyapı sonuçlarına göre yaklaşın 20 µm kalınlığında beyaz tabaka ile 225 µm difüzyon tabakası oluşmuştur. Bu tabakalar yüzeyde sertlik ve aşınma direnci sağlarken, çekirdekte tokluk sergileyen bir yapı oluşturmuştur.

3.3. SEM Analizi Sonuçları

Karbürleme, karbonitrürleme ve nitrürleme uygulanan numunelere yüksek ölçekli ve farklı büyütmelerde SEM cihazı kullanılarak farklı görüntüler elde edilmiştir. Karbürleme numunesine ait SEM görüntüleri **Görsel 3.6**'da verilmiştir.



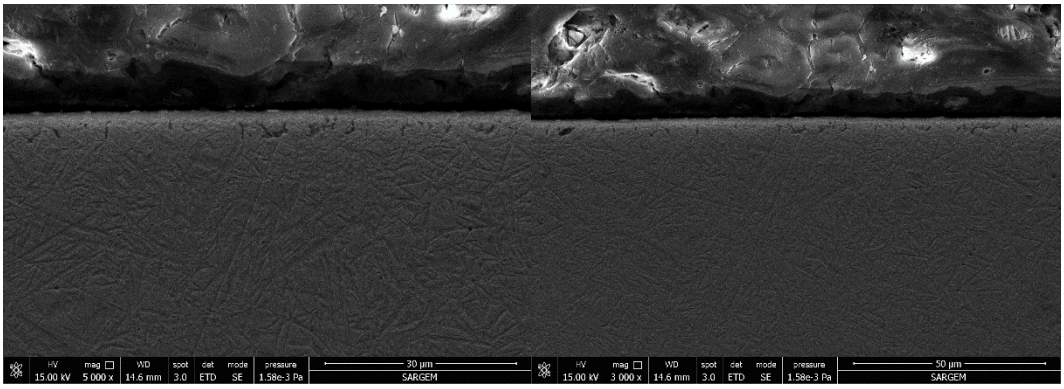
Görsel 3.6 Karbürleme işlemi sonucu elde edilen SEM görüntüleri.

SEM analizi sonucu numunenin yüzeyinde oluşan karbürlenmiş tabaka ile çekirdek bölgesinin açıkça ayrıştığı gözükmektedir. Yüzey bölgesinde ince ve düzensiz görünümlü bölgeler karbür çökelmeleri veya alaşım karbürlerini işaret eder.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Farklı büyütmelerde incelenen görüntülerde, yüzey ve çekirdek arasında net bir geçiş bölgesi ortaya koymaktadır. Bu bölgede gözlenen pürüzlü ve dalgalı ara yüzeyler, karbon difüzyonunun yüzeyden çekirdeğe doğru kademeli olarak azaldığı belirtir.

2 saat karbonitrürleme numunesine aite farklı büyütmelerde SEM görüntüleri **Görsel 3.7**'de verilmiştir.

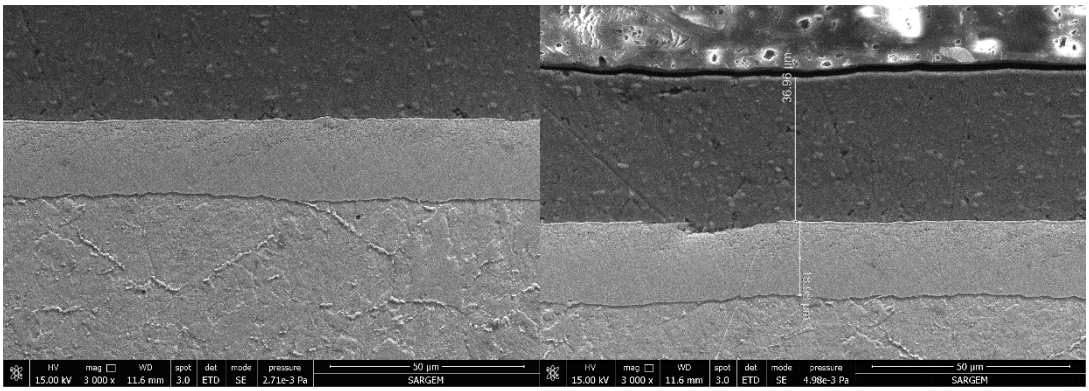


Görsel 3.7. Karbonitrürleme işlemi sonucu elde edilen SEM görüntüleri.

SEM analizi sonucu numunenin yüzeyinde karbon ve azotun difüzyonu sonucu oluşan sertleştirilmiş tabaka açıkça görülmektedir. Farklı büyütmelerde ortaya çıkan difüzyon bölgesinde iğnesel martenzitik yapı görülmektedir. Optik mikroskop görüntülerinde incelenen martenzitik yapıyı SEM analizi sonuçları desteklemektedir.

Çekirdeğe yakın bölgeye doğru mikroyapının homojenleştiği karbonitrürlemenin etkisinin azaldığı görülmektedir. Karbonitrürlemede çekirdekte tokluğun korunarak yüzeyin sertleştirilmesi başarılı bir şekilde sonuçlanmıştır.

2 Saat nitrürleme numunesine ait farklı büyütmelerde SEM görüntüleri **Görsel 3.8**'de verilmiştir.



Görsel 3.8. Nitrürleme işlemi sonucu elde edilen SEM görüntüleri.

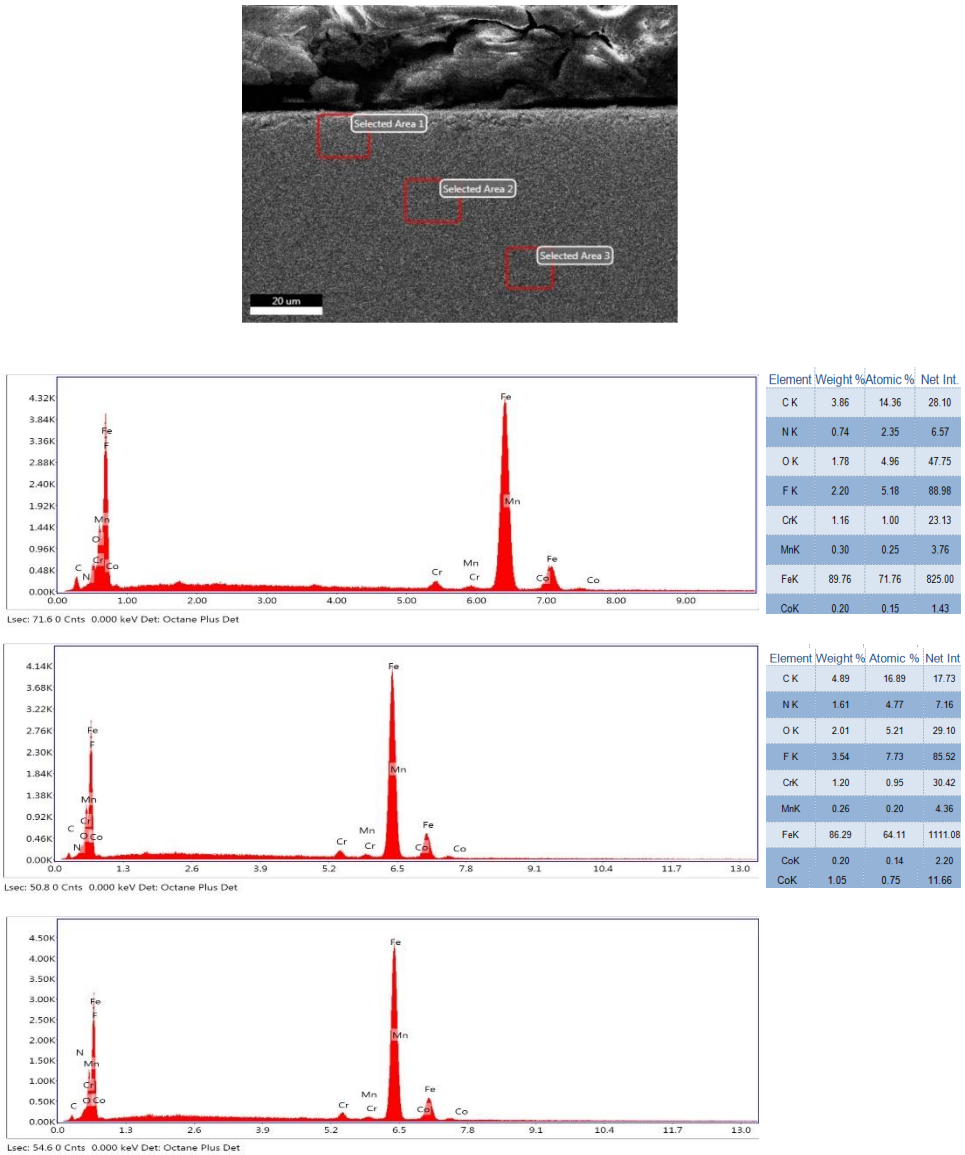
SEM analizi sonucu nitrürleme işlemi uygulanmış çelik numunenin yüzeyinde 36,96µm kalınlığında belirlenen bir tabaka kalınlığı oluşmuştur. Bu tabaka yüksek azot konsantrasyonu ve alaşım nitrür çökeltilerinden oluşmaktadır. Optik mikroskop altında görüntülenen ve ölçülen

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

228 µm'lik difüzyon derinliği azotun matrise kademeli olarak yayıldığını ve etki ettiği difüzyon bölgesinin tümünü ifade etmektedir. Ayrıca 18-20µm kalınlığında beyaz tabaka oluşumu görülmüştür. Etkin bir faz dönüşümü görülmediği için çekirdek yapısını korumaktadır.

3.4.EDS Analizi ve Yorumlanması

Farklı yüzey sertleştirme işlemleri uygulanan çelik numunelere, 3 farklı nokta atanarak bu noktalardan EDS analizleri alınmıştır. Karbürleme işlemine ait EDS analizi **Görsel 3.9**'da verilmiştir.



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
C K	3.86	14.36	28.10
N K	0.74	2.35	6.57
O K	1.78	4.96	47.75
F K	2.20	5.18	88.98
CrK	1.16	1.00	23.13
MnK	0.30	0.25	3.76
FeK	89.76	71.76	825.00
CoK	0.20	0.15	1.43

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
C K	4.89	16.89	17.73
N K	1.61	4.77	7.16
O K	2.01	5.21	29.10
F K	3.54	7.73	85.52
CrK	1.20	0.95	30.42
MnK	0.26	0.20	4.36
FeK	86.29	64.11	1111.08
CoK	0.20	0.14	2.20
CoK	1.05	0.75	11.66

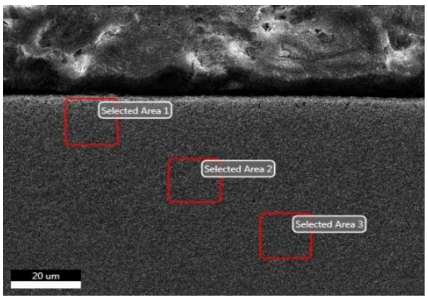
Görsel 3.9. EDS analizi noktaları ve sonuçları

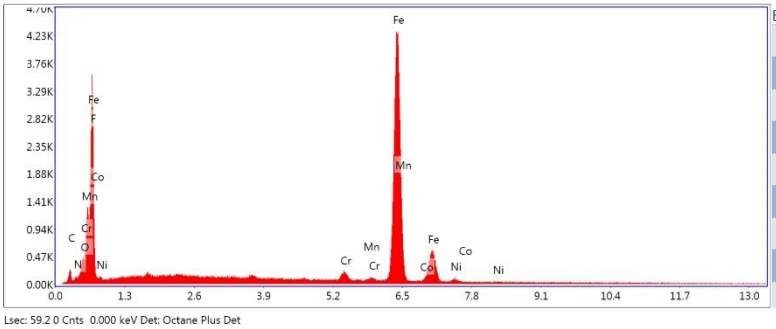
Belirlenen noktalarda yapılan EDS analizi sonuçlarına göre yüzeyden çekirdeğe doğru gidildikçe %C oranının arttığı görülmektedir. Karbonun düşük X ışını enerjisi, numune hazırlamada kaynaklı kontaminasyon ya da karbürlenmiş tabakadaki karbonun bağlı fazlar

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

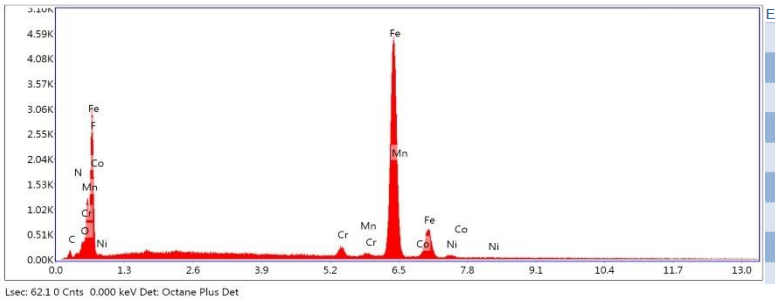
halinde bulunması yüzey bölgesinde karbonun olduğundan düşük ölçülmesine sebep olmuş olabilir.

Karbonitrürleme işlemine ait EDS analizi noktaları ve sonuçları **Görsel 3.10'**da verilmiştir.

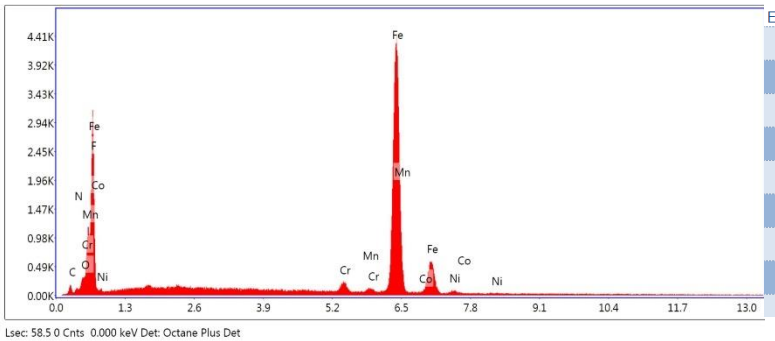




Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
C K	6.50	20.70	24.71
N K	2.45	6.70	10.77
O K	2.92	6.97	40.73
F K	3.95	7.95	88.95
CrK	1.38	1.02	34.32
MnK	0.56	0.39	9.13
FeK	80.61	55.21	1024.50
CoK	0.39	0.25	4.12
NiK	1.24	0.81	11.04



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
C K	5.04	16.98	17.98
N K	2.31	6.69	10.08
O K	2.09	5.30	28.77
F K	3.81	8.11	87.18
CrK	1.25	0.97	29.86
MnK	0.26	0.19	4.02
FeK	84.86	61.50	1027.82
CoK	0.00	0.00	0.02
NiK	0.37	0.26	3.13



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
C K	4.98	16.86	18.12
N K	2.31	6.71	10.29
O K	2.09	5.31	29.34
F K	3.59	7.68	81.26
CrK	1.64	1.28	39.44
MnK	0.70	0.52	11.06
FeK	83.08	60.53	1029.65
CoK	0.41	0.28	4.23
NiK	1.21	0.84	10.49

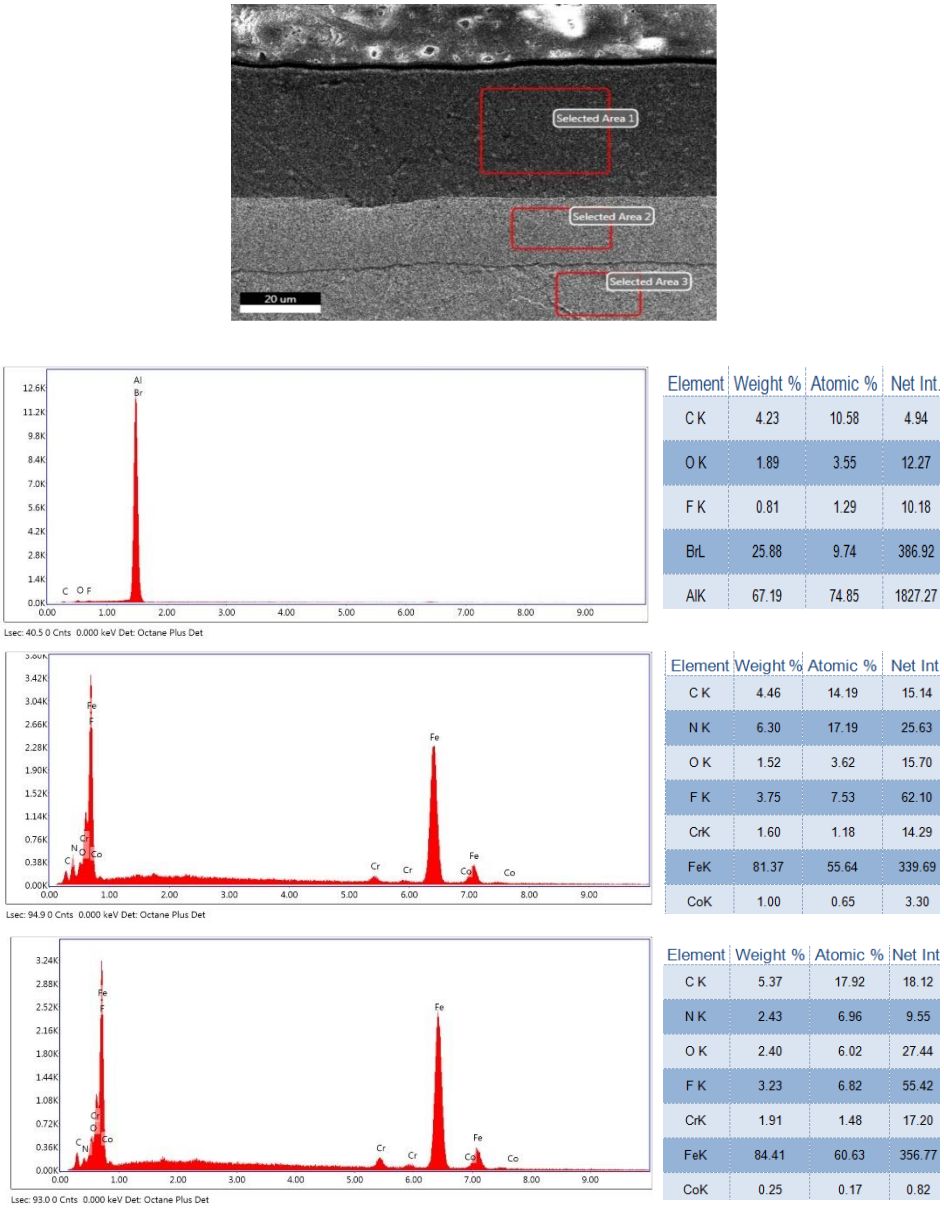
Görsel 3.10. EDS analizi noktaları ve sonuçları

EDS analizi sonucu ana matrisi demir oluşturmaktadır. Karbonitrürleme işlemi etkisiyle C ve N elementlerinin yüzeye biriktirildiği gözükmektedir. Ayrıca Cr, Mn ve Ni gibi elementlerin varlığı da tespit edilmiştir. Yüzeye en yakın bölgede C oranı ağırlıkça %6,50 oranındayken çekirdeğe en yakın bölgede %4,98 oranına kadar düştüğü görülmektedir. Azot oranı %2,45

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

oranındayken çekirdeğe doğru %2.31 seviyelerine gerileyerek bu oranı koruduğu gözükmektedir.

Nitrürleme işlemine ait EDS analizi ve sonuçları **Görsel 3.11**'de verilmiştir.



Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
C K	4.23	10.58	4.94
O K	1.89	3.55	12.27
F K	0.81	1.29	10.18
BrL	25.88	9.74	386.92
AlK	67.19	74.85	1827.27

Element	Weight %	Atomic %	Net Int
C K	4.46	14.19	15.14
N K	6.30	17.19	25.63
O K	1.52	3.62	15.70
F K	3.75	7.53	62.10
CrK	1.60	1.18	14.29
FeK	81.37	55.64	339.69
CoK	1.00	0.65	3.30

Element	Weight %	Atomic %	Net Int
C K	5.37	17.92	18.12
N K	2.43	6.96	9.55
O K	2.40	6.02	27.44
F K	3.23	6.82	55.42
CrK	1.91	1.48	17.20
FeK	84.41	60.63	356.77
CoK	0.25	0.17	0.82

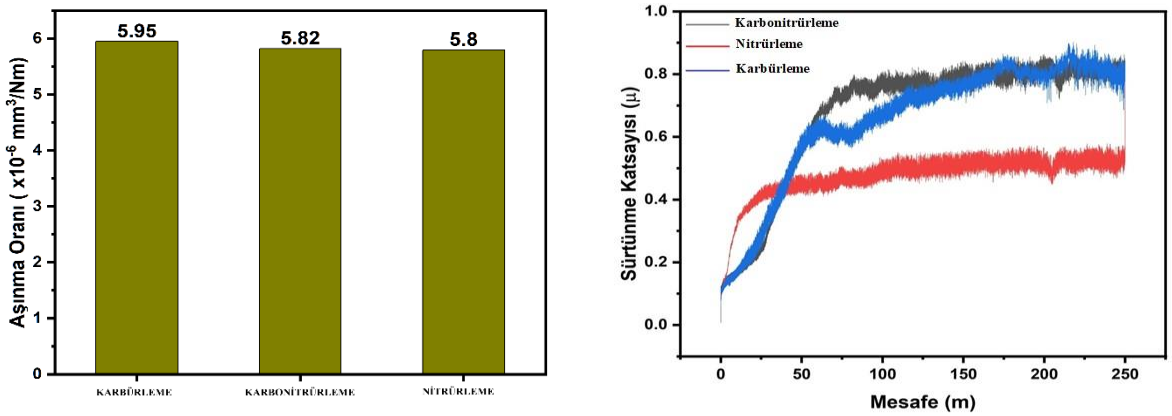
Görsel 3.10. EDS analizi noktaları ve sonuçları

Nitrürlenmiş numunenin EDS sonuçlarına göre, yüzeye en yakın bölgede alüminyum ve brom elementine rastlanılmıştır. Ayrıca Fe elementinin gözükmemesi numunenin EDS analizine hazırlık esnasında tutucu ya da kalıplama kalıntılarından kaynaklandığı düşünülmektedir. İkinci bölgede ağırlıkça N (%6,30) oranında tespit edilmiştir. Bu bölgede Fe ve N birlikte bulunması demir nitrür fazlarının var olabileceği anlamına gelmektedir. Çekirdeğe yakın bölgede ise azot miktarı düşerek (%2,43) seviyelerine gerilemiştir. Elde edilen veriler yüzeyde sert bir azot tabakası ve çekirdeğe doğru azalan bir difüzyon bölgesini oluşturur.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

3.5. Aşınma Deneyi Sonuçları

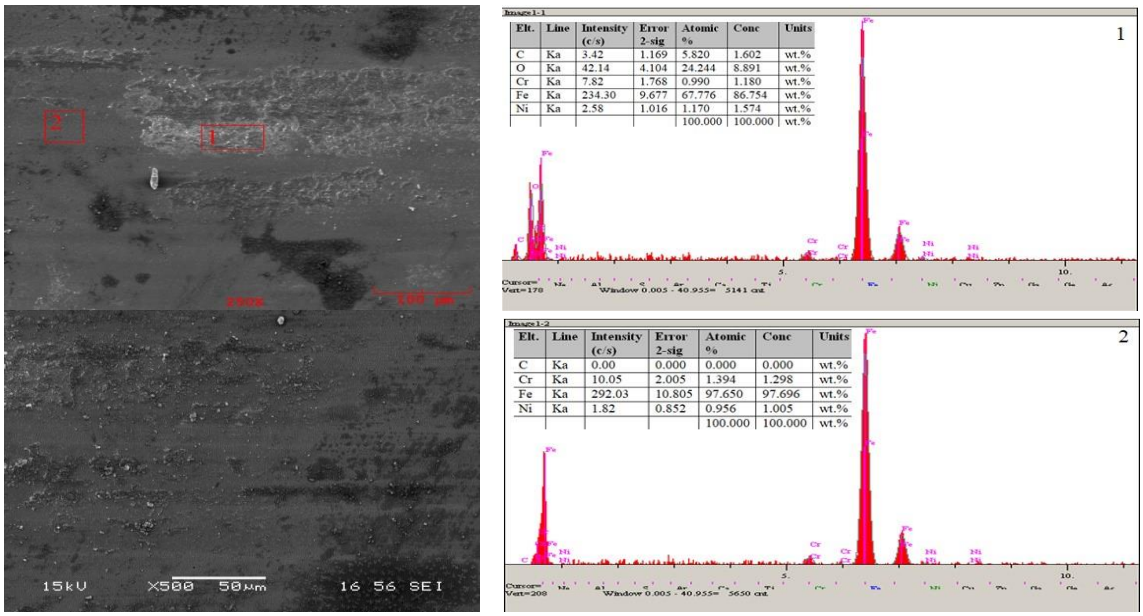
Aşınma deneyleri 5 N yük altında, 500 m mesafede 10 cm/s kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Üç farklı yüzey sertleştirme işlemi uygulanan numunelerin aşınma oranları ve sürtünme katsayılarının karşılaştırıldığı grafik **Görsel 3.11**'de verilmiştir.



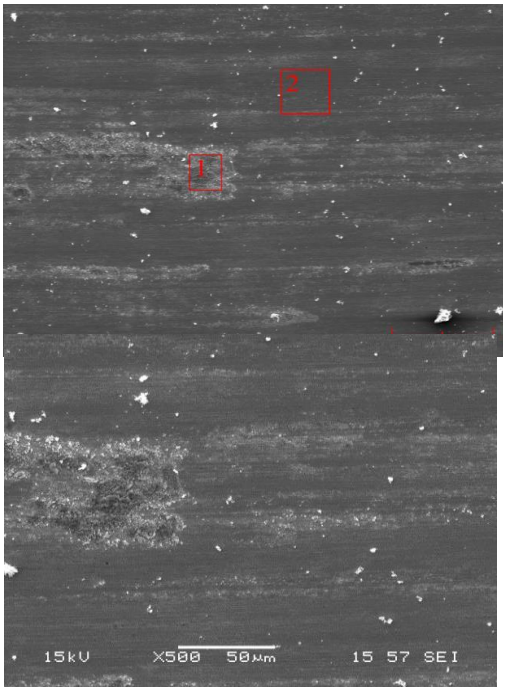
Görsel 3.11. Numunelere ait aşınma oranı ve sürtünme katsayı değerleri.

Aşınma oranı grafiği sonuçlarına göre karbürleme işlemine ait aşınma oranı 5,95 × 10^{-6} $mm^3/N \cdot m$ ile en yüksek değere sahiptir. Karbonitrürleme işlemi sonucu aşınma oranı 5,82 × 10^{-6} $mm^3/N \cdot m$ ile ikinci sırada yer almaktadır. En düşük aşınma oranı ise 5,80 × 10^{-6} $mm^3/N \cdot m$ değeriyle nitrürleme işlemi yapılmış numuneye aittir. Sürtünme katsayıları grafiğinden okunan değerler karşılaştırıldığında en düşük sürtünme katsayısı ile 0,50-0,55 aralığında nitrürlenmiş numuneye aittir. Karbürlenmiş numunenin 0,79-0,83 aralığında ve karbonitrürlenmiş numunenin 0,81-0,84 aralığındadır. Bu verilere göre sürtünme katsayıları en yüksek olan numuneler karbürlenmiş ve karbonitrürlenmiş numunelere ait olup yakın değerlere sahiptir.

Görsel 3.12. Karbürlenmiş numunenin aşınma sonrası SEM ve EDS analizleri.



ISBN NR: 978-625-5694-69-0



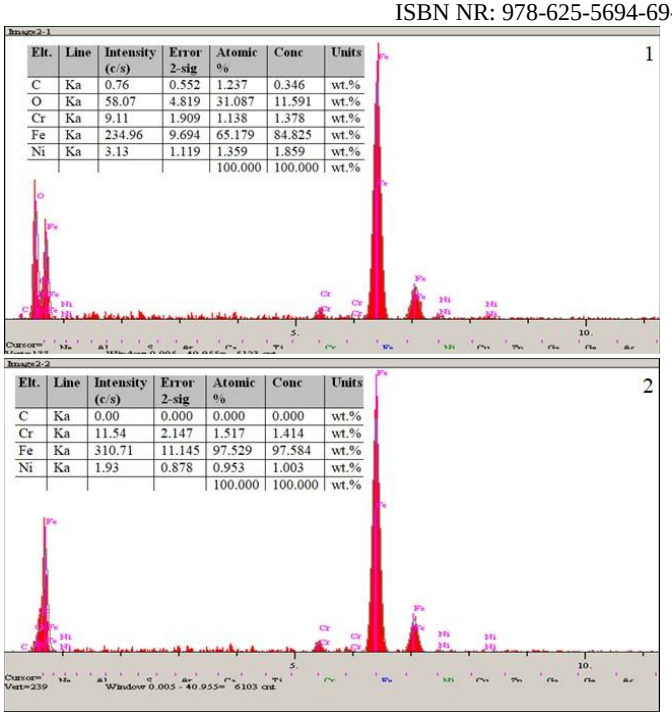


Image2-1

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Atomic %	Conc	Units
C	Ka	0.76	0.552	1.237	0.346	wt.%
O	Ka	58.07	4.819	31.087	11.591	wt.%
Cr	Ka	9.11	1.909	1.138	1.378	wt.%
Fe	Ka	234.96	9.694	65.179	84.825	wt.%
Ni	Ka	3.13	1.119	1.359	1.859	wt.%
				100.000	100.000	wt.%

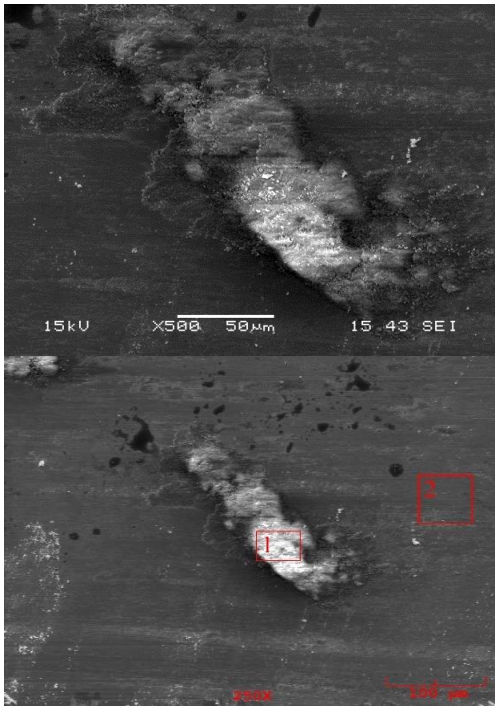
1

Image2-2

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Atomic %	Conc	Units
C	Ka	0.00	0.000	0.000	0.000	wt.%
Cr	Ka	11.54	2.147	1.517	1.414	wt.%
Fe	Ka	310.71	11.145	97.529	97.584	wt.%
Ni	Ka	1.93	0.878	0.953	1.003	wt.%
				100.000	100.000	wt.%

2

Görsel 3.13. Karbonitrürlenmiş numunenin aşınma sonrası SEM ve EDS analizleri.



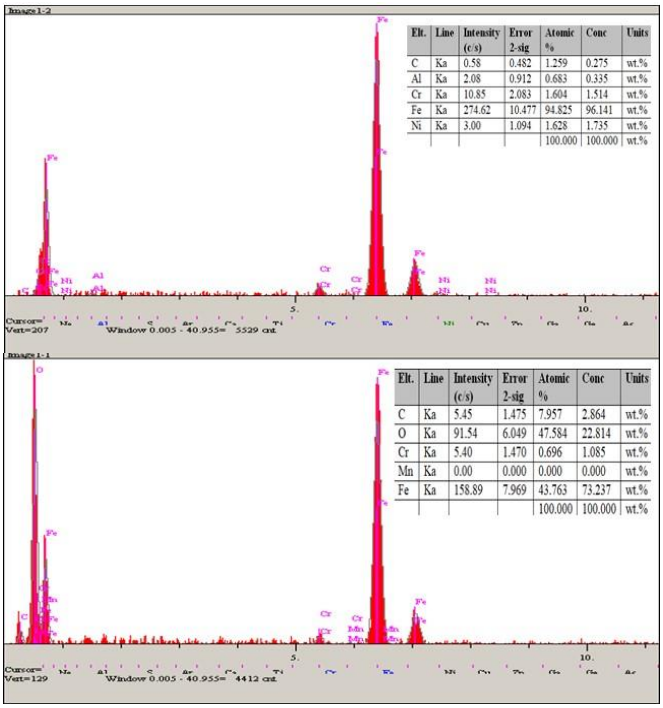


Image1-2

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Atomic %	Conc	Units
C	Ka	0.58	0.482	1.259	0.275	wt.%
Al	Ka	2.08	0.912	0.683	0.335	wt.%
Cr	Ka	10.85	2.083	1.604	1.514	wt.%
Fe	Ka	274.62	10.477	94.825	96.141	wt.%
Ni	Ka	3.00	1.094	1.628	1.735	wt.%
				100.000	100.000	wt.%

Image1-1

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Atomic %	Conc	Units
C	Ka	5.45	1.475	7.957	2.864	wt.%
O	Ka	91.54	6.049	47.584	22.814	wt.%
Cr	Ka	5.40	1.470	0.696	1.085	wt.%
Mn	Ka	0.00	0.000	0.000	0.000	wt.%
Fe	Ka	158.89	7.969	43.763	73.237	wt.%
				100.000	100.000	wt.%

Görsel 3.14. Nitrürlenmiş numunenin aşınma sonrası SEM ve EDS analizleri.

Görsel 3.12'deki karbürlenmiş numunenin aşınma izi yük yönüne paralel oluklardan oluşmaktadır. Bu izler abrasiv aşınma mekanizmasının baskın olduğunu gösterir. EDS analizi sonuçları, sertleştirilmiş tabakanın çalıştığını fakat aşınmaya maruz kalan bölgede bölgesel yüzey bozulmalarının meydana geldiğini gösterir. Düşük miktarda oksijenin tespit edilmesi oksidatif ikincil bir aşınma mekanizmasının olduğunu işaret eder. **Görsel 3.13**'deki

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

karbonitrürlenmiş numunenin aşınma izleri ince ve sürekliliği yüksek oluklardan meydana gelmektedir. Olukların düzgün ve kısmi olması karbon ve azotça zengin tabakanın daha homojen aşınma sergilediğini gösterir. Aşınma mekanizması büyük ölçekte abrasiv aşınmadır. İkincil olarak kısmi adhesiv karakter sergilediğini gösterir. Aşınma izlerine göre mekanik aşınmanın ön planda olduğu görülmektedir. **Görsel 3.14**'deki nitrürlenmiş numunenin aşınma izleri, yüzeyden kopmuş parçacıklar ve yerel yapışma alanları belirgin olarak görülmektedir. Yüzeyde yoğun malzeme transferi ve pullanmalar meydana gelmiştir. Nitrürlenmiş parçanın yüksek sertliğe rağmen kırılgan ve bölgesel kopmalar sergilediği görülmektedir. Adhesiv karakterde aşınma mekanizmasının yoğun olduğu görülmektedir. Tespit edilen oksijenin varlığıyla bu mekanizmada oksidatif aşınma türü de meydana gelmiştir.

Genel olarak sem ve eds analizleri göz önüne alınarak aşınma performansları açısından karbonitrürleme işlemi yapılan numune en kararlı yüzey davranışı sergilemiştir. Karbürleme orta seviyeli bir direnç sağlarken, nitrürleme işleminde ise yüksek sertliğe rağmen kırılgan ve yüzey hasarlı olumsuz bir aşınma davranışı sergilemiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında üç farklı yüzey sertleştirme işlemi sonucu elde edilen sertlik değerleri mikroyapı bulguları ve numunelerin aşınma davranışları karşılaştırılmıştır.

- ✓ Elde edilen yüzey sertlik değerleri karşılaştırıldığında Rockwell cinsinden en yüksek sertlik değeri 59,7 HRC ile nitrürleme işlemine aittir. Karbonitrürleme işlemine ait 57 HRC sertlik değeri ikinci olarak ve karbürleme işlemine ait 55 HRC sertlik değeri son olarak sıralanmıştır.
- ✓ Çekirdek sertlik değerleri Vickers cinsinden karşılaştırıldığında; çekirdek sertliği en yüksek olan numune 453 HV ile karbürlemeye aittir. İkinci olarak tespit edilen 438 HV ile karbonitrürleme işlemine aittir. Son olarak 222 HV sertlik değeri ile nitrürleme işlemine aittir.
- ✓ Mikrosertlik sonuçlarına göre, karbürleme yapılan numune sertlik derinliğini 0,25-0,30mm derinliğe kadar koruyabilmiştir. Karbonitrürleme işlemi yapılan numunenin sertlik derinliği daha dengeli olarak azaldığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi karbon ile birlikte azotun varlığının sertliği dengelemesidir. Karbonitrürlenmiş numune karbürlemeye yakın olsada 0,30mm derinliğine kadar sertliğini koruyabilmiştir. Ancak nitrürlenmiş numune sertlik derinliğini 0,10-0,15mm derinliğine kadar daha sınırlı bir davranış sergilemiştir.
- ✓ Aşınma oranları karşılaştırıldığında; karbürlenmiş numunenin aşınma oranı $5,95 \times 10^{-6}$ $mm^3/N \cdot m$ ile en yüksek değer tespit edilmiştir. İkinci olarak karbonitrürlenmiş numunenin aşınma oranı ise $5,82 \times 10^{-6}$ $mm^3/N \cdot m$ 'dir. En düşük aşınma oranı ise

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$5{,}80 \times 10^{-6}$ $mm^3/N \cdot m$ ile nitrürleme olarak sıralanmıştır. Grafikten elde edilen genel sonuçlara göre yüksek yüzey sertliğine sahip nitrürlenmiş numunenin aşınma katsayısı en düşük olandır. Aşınma oranı açısından en avantajlı sonuç nitrürlenmiş numuneye aittir.

- ✓ Aşınma sonrası SEM görüntüleri incelendiğinde nitrürlenmiş numunenin en fazla hasar alan yüzey olduğu görülmektedir. Nitrürlenmiş numune adhesiv bir aşınma mekanizması sergilemiştir. Bunun sebebi aşındırıcı bilya altında aşınan ve yüzeyden kopan parçalar bilyaya sıvanarak tekrar numuneye taşındığı için aşınma oranı düşük çıkmaktadır. EDS analizinde Al elementinin varlığı bilyadan numuneye taşınım olabileceğini desteklemektedir. Bu durum nitrürleme işleminde sürtünme katsayısını daha düşük değere sahip olmasıyla doğrulanmaktadır.
- ✓ Bu çelik üzerinde yapılan karbürleme, karbonitrürleme ve nitrürleme işlemleri farklı aşınma mekanizmaları sunmaktadır. Sertlik değerleri yakın sonuçlar vermesine rağmen karbürleme abrasiv bir aşınma gösterirken, karbonitrürleme kısmi abrasiv aşınma göstermiş. Nitrürleme ise adhesiv bir aşınma göstermiştir. Yüksek sertlik istenen dişli ve mil gibi uygulamalarda nitrürlenmiş çelik tercih edilirken sürekli sürtünmeye maruz kalan endüstriyel uygulamalarda ise karbürlenmiş ve karbonitrürlenmiş çelikler tercih edilmelidir.

KAYNAKÇA

[1] https://www.onerler.com.tr./tr/6587-celik/ (Erişim Tarihi: Aralık 2025)

[2] https://dokumhane.net/kutuphane/celiklerde-alasim-elementlerinin-etkileri/

(Erişim Tarihi:Aralık 2025)

[3] Tian, Y., An, Xiao., Wang, Hao., Wang, Zhao., (2020). Influence of cooling methods on the microstructure evolution of the carburızed layer in 18CrNiMo7-6 steel after high-temperature carburizing, 54 (4). https://www.researchgate.net/ (Erişim Tarihi:Aralık 2025)

[4] Mandal, P., Mamun, A., Silva, L., Lalvani, H., Perez, M., Muir, L., (2017). Impact of varios heat treatments on the microstructure evolution and mechanical properties of hot forged 18CrNiMo7-6 steel, 29. https://www.researchgate.net/ (Erişim Tarihi: Aralık 2025)

[5] Katemi, R.J., Influence of carbonitriding process on phase transformation during case hardenig, reained austenite and residual stresses, Doktora Tezi, Bremen University, Department of Production Engineering,

[6] Yang, R., Wu, G.L., Zhang, X., Fu, W.T., Huang, X. (2017) Gradient microstructure and microhardness in a nitrided 18CrNiM7-6 gear steel, 219. https://www.iopscience.iop.org/ (Erişim Tarihi Aralık 2025)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[7] Pang, X., He, Y., Chen, X., Zhao, J., Luo, X., Lv, K. (2025) Research on debris characteristics and wear mechanism of gear material 18CrNiMo7-6 used in mining reducer under dust-contaminated lubrication, 107 (13) https://www.mdpi.com/(Erişim Tarihi:Aralık 2025)

[8] **https://www.magmaweld.com.tr/sertlik-cevrim-tablosu-i-83**(Erişim Tarihi:5.12.2025)

[9] Sorg, A., Boyraz, M.T., Tobie, T., Steinbacher, M., Stahl, K., Heinen, R.F. (2025) Investigations on the tooth root load-carrying capacity of carbonitrided gears containing high amounts of retained austenite, 124 https://link.springer.com/article (Erişim Tarihi:Aralık 2025)

[10] Hoja, S., Klümper, Westkamp, H., Steinbacher, M. (2021) Carbonitriding of forging dies. 11,1651. https://www.mdpi.com/journal/metals (Erişim Tarihi:Aralık 2025)

[11] Kim, M., Umezawa, O., Influence of carbonitriding and sub-zero treatment on the microstructure and fatigue strength of jıs-scm420 low-alloy steel, Materials Science& Engineering, A,923,2025.

[12] Almeida, E. A. S., Costa, C. E., Milan, J.C.G., (2015) Study of the nitrided layer obtained by different nitriding method, 20, (2). https://www.researchgate.net/ (Erişim Tarihi: Aralık 2025)

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF SUSTAINABLE RICE HUSK-REINFORCED ACRYLATE COMPOSITES FABRICATED VIA STEREOLITHOGRAPHY

Arş. Gör. Berk ÖZLER
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, berk.ozler@ikcu.edu.tr - 0000-0003-1819-6032
Öğr. Gör. Dr. Saadet GÜLER
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, saadet.guler@ikcu.edu.tr - 0000-0001-9656-342X

ABSTRACT

Additive manufacturing, which is becoming increasingly popular, is emerging as the predominant production method in numerous sectors. Stereolithography is a additive manufacturing technology that utilizes the principle of polymerizing light-sensitive thermoset resins in layers through the use of ultraviolet light to create three-dimensional models. This method is noteworthy for its ability to produce parts with complex shapes at a high rate and a low cost. In order to enhance the mechanical, thermal, optical, and chemical properties of thermoset resins utilized as starting materials, the incorporation of filler materials is a viable approach. In light of mounting environmental concerns, thermoset resins, which demonstrate compatibility with numerous inorganic additives, are now being developed using organic waste materials.

In this study, the integration of agricultural waste into additive manufacturing was investigated, with a focus on the addition of rice husk as an organic filler material to an acrylate-based photocurable resin. Composite resins with rice husk additives of 2%, 3%, and 4% by weight, respectively, were polymerized using stereolithography, one of the 3D printing methods. The mechanical properties of the resulting polymer composites were examined, and the compatibility of rice husk with the matrix material was observed. Tensile, three-point bending, and hardness tests were used to determine mechanical properties. The preliminary findings indicate that rice husk particles, even at minimal weight ratios, have a significant impact on the cross-linking density and structural integrity of the polymer matrix. Increases in tensile strength, bending strength, and hardness were observed. The results of the study demonstrate the feasibility of transforming rice husk waste into high-value functional biocomposites, thereby providing a sustainable and economical alternative for the 3D printing industry.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
Keywords: Additive manufacturing, stereolithography, rice husk, polymer composite, mechanical properties.

1. INTRODUCTION

In recent years, heightened global environmental consciousness and the necessity for sustainable resource utilization have catalyzed a substantial revolution in materials science and manufacturing processes. Additive Manufacturing (AM) technologies, which provide benefits such as waste reduction, expedited prototyping, and the fabrication of intricate geometries relative to conventional manufacturing techniques, are crucial to this shift [1], [2]. Among AM techniques, Stereolithography (SLA), offering high resolution and surface quality, stands out particularly for the precision fabrication of polymer-based materials [3]. Nonetheless, the predominance of petroleum-based photopolymer resins in SLA hinders endeavors to mitigate the environmental impact of this technology. The advancement of innovative composites including bio-based and sustainable reinforcing materials suitable for SLA methods has emerged as a vital research domain [4].

Natural fiber-reinforced polymer composites provide an eco-friendly substitute for synthetic fibers (such as glass and carbon) owing to their affordability, lightweight nature, high specific strength, and biodegradability [5]. Agricultural waste is a prevalent and cost-effective source of these natural fibers. Rice husk (RH) waste, a byproduct of global rice production, serves as a compelling reinforcement material for polymer matrices owing to its substantial cellulose, hemicellulose, and lignin content [6]. Given that incinerating or disposing of rice husks as waste results in significant environmental issues, converting this waste into value-added composite materials is crucial for adhering to circular economy principles.

The literature includes works on the development of rice husk-reinforced composites for 3D printing applications, namely utilizing thermoplastic matrices (e.g., Polylactic Acid (PLA) or Polypropylene (PP)) through techniques like Fused Filament Fabrication (FFF) [7], [8]. These studies have demonstrated the potential of rice husk addition to improve mechanical properties such as tensile strength and stiffness of composites [9], [10].

However, research on the compatibility of natural fibers such as rice husk with SLA photopolymer resins and the mechanical performance of these composites is still limited [11]. In the SLA process, the homogeneous distribution of reinforcing particles within the resin and the potential for UV light to affect polymerization present more complex challenges compared to other AM techniques such as FFF [12]. In particular, the effect of fiber size and surface

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

modification on the mechanical properties of the final composite, such as elastic modulus, tensile strength, and elongation percentage, is critically important [13].

This study aims to assess the viability of manufacturing acrylate-based photopolymer composites augmented with rice husk (RHU) waste by sustainable stereolithography (SLA). The research intends to methodically investigate the influence of varying RHU weight percentages (wt. %) on the mechanical characteristics (tensile, flexural, and Shore D hardness) of the composites. The results will substantially enhance the scientific literature regarding sustainable material development and the possible expansion of additive manufacturing applications.

2. MATERIALS AND METHOD

A commercially available acrylate-based photopolymer resin, specifically formulated for DLP-SLA printing systems, was used as the matrix material. Rice husk waste, sourced locally, was utilized as the reinforcement material.

A series of preparation processes were applied to ensure homogeneous distribution of the rice husk waste within the resin matrix and to minimize UV light scattering during printing. The rice husk was subjected to a drying process in an oven at a temperature of approximately 80°C for a duration of 12 hours. This procedure was implemented to facilitate the removal of the initial moisture content from the rice husk. Subsequent to the drying process, the substance was ground into a powder using a blade grinder. Thereafter, the particle size was regulated through a sieving process, employing a 200-mesh sieve to achieve a size below 75 µm. The particles of the desired size were then mixed in the ratios specified in Table 1 to obtain the composite.

Table 1. Names and compositions of the reference and composite samples.

Name	Resin (wt.%)	Rice Husk Powder (wt.%)
Pure	100	0
RH2	98	2
RH3	97	3
RH4	96	4

As illustrated in Table 1, a total of four samples with varying ratios were produced within the scope of the study: one reference sample and three composite samples. The resin and particles were mixed using mechanical and ultrasonic techniques. After the addition of rice husk particles

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

to the resin, mechanical mixing was applied. Thereafter, ultrasonic mixing was employed to eradicate agglomeration and expel air bubbles.

In this study, specimens were manufactured using a Creality Halot-One (CL-60) 3D printer with a constant layer thickness of 100 µm and an exposure time of 6 seconds. Following fabrication, a two-step post-processing protocol was implemented: first, samples were immersed in isopropanol (IPA) for five minutes to remove uncured surface resin, followed by a 60-minute UV curing cycle to ensure full polymerization. Mechanical performance was evaluated through tensile, three-point bending, and hardness tests. Tensile and bending properties were determined using a Shimadzu AG-IC universal testing machine at a crosshead speed of 1 mm/min, in accordance with ASTM D638 and ASTM D790 standards, respectively. Additionally, Shore D hardness was measured following the ASTM D2240 standard. To guarantee statistical validity, five specimens were tested for each experimental group.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The mechanical properties of the produced pure and composite samples were determined by tensile, three-point bending, and hardness tests. Figure 1 illustrates the tensile and flexural strength of the samples, while Figure 2 presents the hardness values. Table 2 presents a comprehensive overview of the mechanical properties and their respective rate of changes (ROC). An examination of the results indicated that the mechanical properties of the composites reinforced with rice husk exhibited an increase of up to 3% in comparison with the pure sample. The specimen designated RH3 exhibited the highest tensile and flexural strength (31.33 MPa and 98.11 MPa, respectively), with specimens RH2, Pure, and RH4 following in sequence. This finding suggests that up to a 3% by weight reinforcement level, the rice husk reinforcement exhibits a compatible interface with the matrix, thereby strengthening the bonds in the structure and increasing tensile and flexural strength by 10.26% and 9.58%, respectively. However, when the reinforcement level was increased beyond 3%, there was a substantial decrease in the structure's strength. Specifically, the tensile and flexural strengths diminished by 4.55% and 22.98%, respectively, in comparison to the pure sample. This phenomenon can be attributed to the disruption of continuity and the stress concentration effect caused by the agglomeration of particles within the structure [14]. Concurrently, as the additive ratio in the resin increases, the resin viscosity also increases, exerting a negative effect on the interlayer bonding ability during printing and giving rise to interlayer defects [15].

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

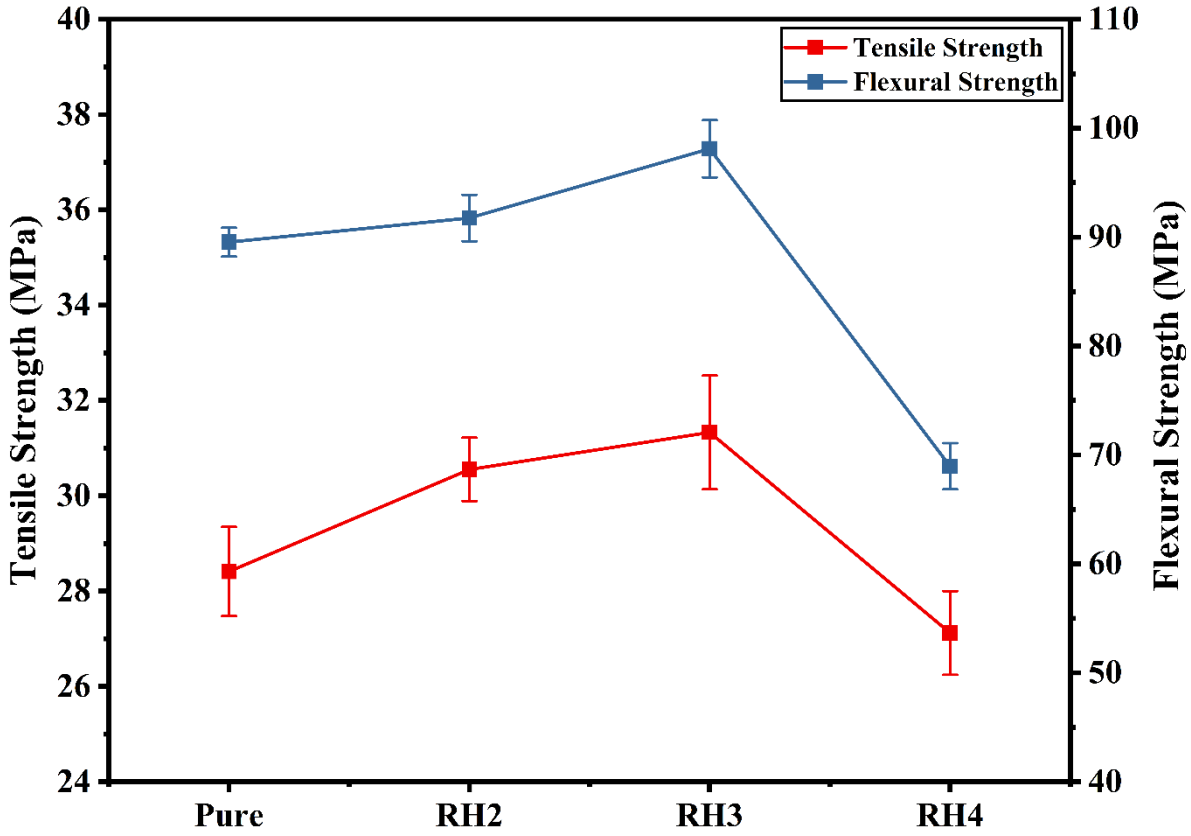


Figure 1. Tensile and flexural strength chart of reference and composite samples.

In the hardness test, it was observed that hardness values increased with the additive ratios. Pure, RH2, RH3, and RH4 samples exhibited Shore D (HSD) hardness values of 76.1, 75.9, 77.7, and 81.3, respectively. While no significant change was observed at the 2% additive ratio, increases of 2.1% and 6.83% occurred at the 3% and 4% additive ratios, respectively, compared to the pure sample. This increase in hardness can be attributed to the addition of particles to the structure, which serve to fill the micro-voids present on the surfaces. Consequently, this results in an enhancement of the material's resistance to plastic deformation. It is also hypothesized that the hard and lignocellulosic composition of rice husk, in conjunction with the restriction of polymer chain movement, facilitates enhanced stress transfer under point loads [16].

Table 2. Detailed hardness, tensile and flexural strength and rate of change values of reference and composite samples.

Name	Tensile Strength (MPa)	ROC (%)	Flexural Strength (MPa)	ROC (%)	Hardness (HSD)	ROC (%)
Pure	28.41 ± 0.93	-	89.54 ± 1.32	-	76.1 ± 1.02	-
RH2	30.55 ± 0.67	7.53	91.75 ± 2.15	2.47	75.9 ± 2.52	-0.26

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

RH3	31.33 ± 1.19	10.26	98.11 ± 2.62	9.58	77.7 ± 3.2	2.1
RH4	27.12 ± 0.88	-4.55	68.96 ± 2.13	-22.98	81.3 ± 0.6	6.83

Tensile, bending, and hardness tests were conducted to assess the impact of rice husk reinforcement on the mechanical behavior of the composite material. The results indicated that the incorporation of rice husk significantly altered the material's response to external stress, leading to notable modifications in its mechanical behavior. The data demonstrated that tensile and flexural strength attained optimal levels at a 3% by weight reinforcement ratio (RH3), attributable to enhanced matrix-reinforcement compatibility and fortified interface bonds. However, surpassing this threshold led to a decline in mechanical strength, owing to particle agglomeration and manufacturing imperfections. In contrast, the hardness values exhibited a direct correlation with the rise in reinforcement ratio, attaining a maximum at the RH4 sample. It was ascertained that particles were filling micro-voids, thereby augmenting resistance to plastic deformation. In this context, a balanced consideration of structural integrity and mechanical performance was undertaken, leading to the determination that a 3% rice husk reinforcement ratio is optimal.

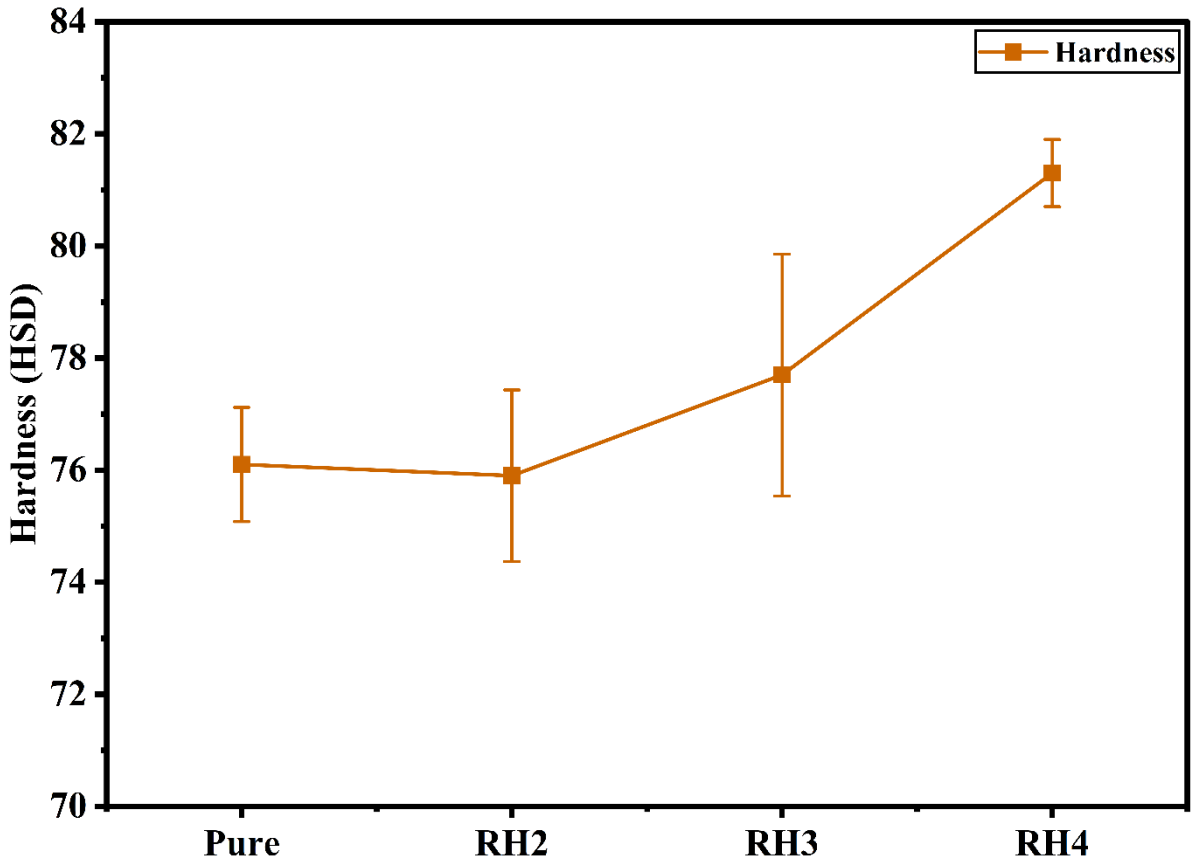


Figure 2. Shore D (HSD) hardness chart of reference and composite samples.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

4. CONCLUSION

This study successfully demonstrated the feasibility of fabricating sustainable rice husk (RH) reinforced acrylate photopolymer composites via Stereolithography (SLA) and systematically evaluated the influence of RH content on mechanical properties. The results established a critical reinforcement threshold, with the 3 wt. % RH composite (RH3) exhibiting optimal performance, achieving a notable 10.26% increase in tensile strength and a 9.58% increase in flexural strength compared to the pure resin. This enhancement is attributed to improved interfacial compatibility at this specific loading. Conversely, exceeding this threshold, as seen in the 4 wt. % RH composite (RH4), led to a significant decline in strength, particularly a 22.98% reduction in flexural strength, primarily due to particle agglomeration and increased resin viscosity causing interlayer defects. In contrast to strength, Shore D hardness consistently improved with increasing RH content, peaking at 81.3 HSD for the RH4 sample, which is explained by the micro-void filling and the inherent rigidity of the lignocellulosic filler. Consequently, the 3 wt. % RH ratio is identified as the optimal formulation, offering the best balance between structural integrity and mechanical performance, thereby validating the sustainable use of agricultural waste in high-performance additive manufacturing applications. Future work should focus on chemical surface modification to further enhance interfacial bonding and long-term durability testing.

REFERENCES

[1] L. Ben Said, B. Ayadi, S. Alharbi, and F. Dammak, “Recent Advances in Additive Manufacturing: A Review of Current Developments and Future Directions,” *Machines*, vol. 13, no. 9, p. 813, Sept. 2025, doi: 10.3390/machines13090813.

[2] U. M. Dilberoglu, B. Gharehpapagh, U. Yaman, and M. Dolen, “The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0,” *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 545–554, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.148.

[3] S. Guler, Z. B. Yarali Cevik, U. Firat, S. B. Demirgunes, and B. Ozler, “Investigation of titanium-reinforced polymer matrix nanocomposites fabricated by stereolithography for mechanical properties and activity in L929 cells,” *Rapid Prototyping Journal*, vol. 31, no. 9, pp. 1965–1976, Sept. 2025, doi: 10.1108/RPJ-09-2024-0410.

[4] M. Müller, J. Urban, J. Svobodová, and R. K. Mishra, “Modification of the Mechanical Properties of Photosensitive Resin by Using Biobased Fillers During Stereolithography (SLA) 3D Printing,” *Materials*, vol. 18, no. 12, p. 2699, June 2025, doi: 10.3390/ma18122699.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[5] M. A. Suhot, M. Z. Hassan, S. A. Aziz, and M. Y. Md Daud, "Recent Progress of Rice Husk Reinforced Polymer Composites: A Review," *Polymers*, vol. 13, no. 15, p. 2391, July 2021, doi: 10.3390/polym13152391.

[6] I. Romero-Ocaña, N. F. Delgado, and S. I. Molina, "Biomass waste from rice and wheat straw for developing composites by stereolithography additive manufacturing," *Industrial Crops and Products*, vol. 189, p. 115832, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.indcrop.2022.115832.

[7] M. Morales, C. Atencio Martinez, A. Maranon, C. Hernandez, V. Michaud, and A. Porras, "Development and Characterization of Rice Husk and Recycled Polypropylene Composite Filaments for 3D Printing," *Polymers*, vol. 13, no. 7, p. 1067, Mar. 2021, doi: 10.3390/polym13071067.

[8] G. Barreto, S. Restrepo, C. M. Vieira, S. N. Monteiro, and H. A. Colorado, "Rice Husk with PLA: 3D Filament Making and Additive Manufacturing of Samples for Potential Structural Applications," *Polymers*, vol. 16, no. 2, p. 245, Jan. 2024, doi: 10.3390/polym16020245.

[9] Y. Sun *et al.*, "Mechanical properties of 3D printed micro-nano rice husk/polylactic acid filaments," *J of Applied Polymer Sci*, vol. 139, no. 28, p. e52619, July 2022, doi: 10.1002/app.52619.

[10] A. Ranjan, H. Kumar, L. Nagdeve, A. Mishra, G. K. Gaurav, and J. J. Klemeš, "Mechanical properties of rice husk ash, an environmental pollutant, based composites: A step towards sustainable hybrid composites," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 44, no. 4, pp. 9584–9602, Dec. 2022, doi: 10.1080/15567036.2022.2130476.

[11] N. R. R. Royan, T. J. Ren, L. J. Sheng, and C. W. Nam, "Mechanical behavior of 3D-printed rice husk reinforced recycled high density polyethylene composite," presented at the Problems in the Textile and Light Industry in the Context of Integration of Science and Industry and Ways to Solve Them (PTLICISIWS-2022), Namangan, Uzbekistan, 2024, p. 060003. doi: 10.1063/5.0188308.

[12] T. Rajamanikandan *et al.*, "Investigation of dielectric and mechanical properties of Lignocellulosic Rice Husk Fibril for high and medium voltage electrical insulation applications," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 22, pp. 865–878, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2022.11.145.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[13] X. Liu, F. Zhao, W. Guo, T. Feng, and J. Zhao, "Sustainable lightweight rice husk fiber-reinforced polypropylene composites: Preparation, properties, and environmental benefits," *Polymer Composites*, vol. 46, no. 14, pp. 12966–12980, Oct. 2025, doi: 10.1002/pc.29910.

[14] K. M. F. Hasan *et al.*, "Sustainable prospects of lignocellulosic wood and natural fiber-based materials in 3D and 4D printing," *Adv Compos Hybrid Mater*, vol. 8, no. 2, p. 189, Apr. 2025, doi: 10.1007/s42114-025-01273-6.

[15] G. Arias-Ferreiro *et al.*, "Lignin as a High-Value Bioaditive in 3D-DLP Printable Acrylic Resins and Polyaniline Conductive Composite," *Polymers*, vol. 14, no. 19, p. 4164, Oct. 2022, doi: 10.3390/polym14194164.

[16] I. Fayzullin *et al.*, "Influence of Different Dosages of Rice Husk Particles on Thermal, Physical, Mechanical and Rheological Properties of Polypropylene-Based Composites," *J. Compos. Sci.*, vol. 9, no. 8, p. 443, Aug. 2025, doi: 10.3390/jcs9080443.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

AN INVESTIGATION ON THE VIBRATIONAL BEHAVIOR OF GPL REINFORCED METAL-CERAMIC FGM COMPOSITE PLATES UNDER THERMAL LOAD

Kerim Gökhan AKTAŞ
Karabuk University, kerimgokhanaktas@karabuk.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-8076-6799
Fatih PEHLİVAN
Karabuk University, fatihpehlivan@karabuk.edu.tr
ORCID ID: 0000-0003-2675-6124

ABSTRACT

Plates made of Functionally Graded Material (FGM) that are reinforced with Graphene Platelets (GPLs) are an example of a class of advanced composites. These plates are designed to enhance performance by varying the material properties constantly across the structure. By including GPLs as reinforcement, these plates are able to produce much better mechanical strength, improved thermal stability, improved vibration absorption and superior buckling resistance in comparison to conventional composites. In this article, the vibration analysis of a GPL-reinforced metal-ceramic FGM plate is examined with the help of higher-order shear deformation theory (HSDT). Due to the wide range of applications, SUS304 is preferred as the metal compound in the plate, and Si_3N_4 is preferred as the ceramic compound. The bottom surface of the plate is pure SUS304, while the top surface is pure Si_3N_4. The effective material properties of the plate are determined by a power law function, and the volume ratio of SUS304 in the structure increases with an increasing power law index. Taking into account applications where resistance to high thermal gradients is required, the material properties of the plate have been considered as temperature dependent. Analytical methods and Hamilton's principle are preferred to obtain the equations of motion of the plate. The Navier method is used to solve the equations of motion and obtain the vibration response. To make inferences about the plate's free vibration characteristics, detailed vibration analysis is performed using parameters such as the power law index, GPL volume ratio, temperature increase, and the aspect ratio. According to the analysis results, it is determined that the free vibration characteristics of the plate can be significantly altered with key parameters. It is expected that the results obtained will be useful in the design and analysis of structures such as lightweight structural panels requiring high impact resistance, energy-dissipating armor plating, and turbine blades that must withstand high thermal gradients.

Keywords : Graphene platelets, functionally graded material, higher-order shear deformation theory, free vibration analysis.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCTION

A new category of high-tech composites called functionally graded materials (FGMs) has evolved to address the drawbacks of conventional laminated materials through the use of microstructural spatial variation. Reducing the interfacial stress concentrations and delamination problems typical of conventional composites, this gradation in material properties allows for a smooth transition in mechanical and thermal characteristics. In recent years, FGMs have been extensively utilized in aerospace, marine and automotive systems, where lightweight constructions with high stiffness and exceptional vibration resistance are essential [1]. There has been a growing interest in a new generation of FGMs that are reinforced with nano-scale fillers. These nano-scale fillers include carbon nanotubes (CNTs) and graphene nanoplatelets (GPLs). Among them, graphene platelets, also known as GPLs, have emerged as a particularly promising reinforcing material due to the remarkable mechanical, thermal, and electrical properties that they possess. In comparison to CNTs, GPLs provide a number of advantages, including a lower production cost, a bigger surface area, an easier dispersion, and a reduced inclination to agglomerate. GPLs have the ability to greatly improve the elastic modulus, thermal conductivity, and damping capacity of structures when they are integrated into polymeric or metallic matrices [2], [3].

Researchers have suggested functionally graded graphene platelet-reinforced composites (FG-GPLRCs) in order to further maximize the performance of GPL reinforcement. In these composites, the volume percentage of GPLs changes throughout the thickness in accordance with specified dispersion patterns (for example, uniform and symmetric) [4], [5]. The utilization of this gradation allows for enhanced stiffness-to-weight performance as well as dynamic stability, all while preserving the flexibility of the structural design concept. Therefore, FG-GPLRCs are a promising group of multifunctional materials for lightweight structural components that are subjected to dynamic excitation. Some examples of these components are aircraft panels, turbine blades, and smart sensors [6]–[8]. Due to the fact that it directly controls the dynamic response, fatigue life, and noise characteristics of engineering structures, the free vibration behavior of composite plates is one of the most essential subjects in the field of structural mechanics. For the purposes of vibration control, optimization, and damage detection in both isotropic and anisotropic materials, it is essential to determine the inherent frequencies and mode shapes before beginning any of these processes [9]. The dynamic response of FG-GPLRC plates is extremely sensitive to multiple factors, including the GPL dispersion pattern, volume percentage, plate geometry, boundary conditions, and the theoretical model that is being utilized. For this reason, accurate modeling of the vibration characteristics necessitates not only the accurate depiction of the material gradation, but also the incorporation of shear deformation and thickness stretching effects, particularly in plates that are slightly thicker than average.

Even though it is straightforward and computationally efficient, the classical plate theory (CPT) does not take into account transverse shear deformation. As a result, it does not produce accurate results for thick plates [10]. FSDT, which stands for first-order shear deformation theory, is a theory that addresses this issue by introducing a linear variation in transverse shear strain along the thickness of the plate. However, this theory requires a shear correction factor,

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

which can restrict its generality. With the incorporation of actual fluctuations of shear stresses and the elimination of the requirement for shear correction factors, the higher-order shear deformation theories (HSDTs) and refined plate theories (RPTs) are able to overcome these restrictions [11], [12]. It has been widely used to investigate FG and nanocomposite plates under a variety of loading and boundary conditions, and these sophisticated kinematic models have been utilized quite extensively.

Yang et al. [13] conducted research on the thermoelastic bending behavior of a novel functionally graded polymer nanocomposite rectangular plate reinforced with GPLs. The researchers found that the weight percentage of the GPLs varied continuously and smoothly throughout the thickness direction. Through the use of finite element method (FEM), Maji et al. [14] conducted a numerical analysis to investigate the free vibration behavior of a graphene reinforced composite (GRC) stiffened plate. This investigation is based on the FSDT. When considering the free vibration of a GRC stiffened plate, four distinct graphene configurations are taken into consideration. These include the uniformly distributed (UD), the functionally graded (FG-X), the functionally graded (FG-O), and the functionally graded (FG-V) distribution. Within the framework of thermal ambient circumstances, Shen et al. [15] investigates the vibrational behaviors of GRC laminated cylindrical panels that are supported by an elastic foundation. These vibrational behaviors include both small and large amplitude vibrations. Zhang et al. [16] investigate the thermal buckling and postbuckling of composite beams that are reinforced with functionally graded multilayer GPLs and are supported by nonlinear elastic foundations. This research is conducted under the impact of axial stresses and homogeneous temperature fluctuations. Under the influence of a nonlinear temperature profile, Chen et al. [17] presented forward a free vibration analysis of FG-GPL porous beam. This model is derived from the micromechanical model and Timoshenko beam theory (TBT).

In this study, the mathematical modeling of the FG-GPLRC plate is first performed using HSDT, the equations of motion are obtained using Hamilton's principle, and the free vibration response of the plate is obtained using the Navier method. Significant conclusions are drawn from the analysis studies where the dimensionless first mode natural frequencies of the FG-GPLRC plate are obtained with various parameters. These conclusions are expected to contribute to studies in the aerospace, marine, and automotive sectors where reinforced composite plates can be used.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Construction of the FG-GPLRC Plate Model and Mathematical Representation

The GPL-reinforced metal-ceramic functionally graded composite plate model studied in this work is presented in Figure 1. As displayed in the figure, the length, width, and height of the plate are denoted by the symbols l_a, l_b, and h, respectively. A cartesian coordinate system (x, y, z) is placed in the center of the plate.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

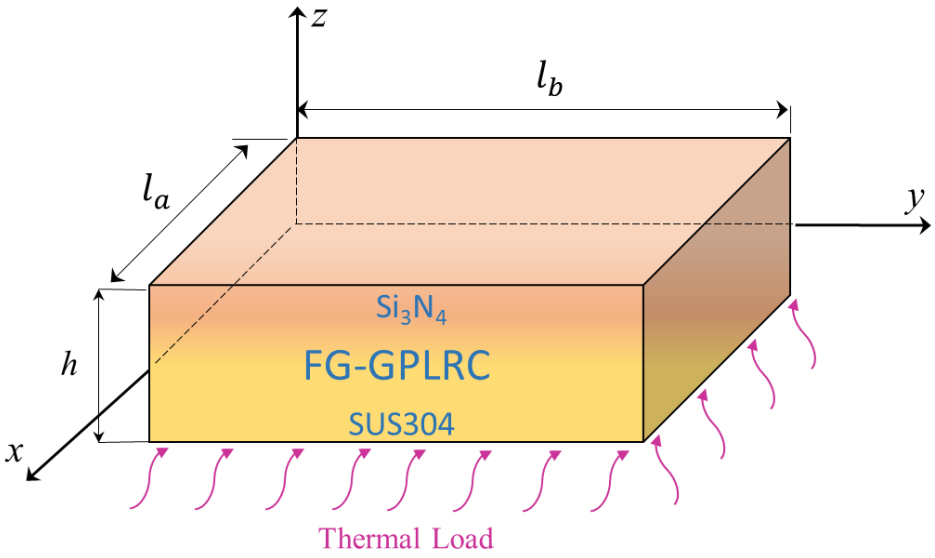


Figure 1. Graphical description of FG-GPLRC plate.

It is proposed that the FG-GPLRC plate is composed of a combination of SUS304 and Si_3N_4, and that the plate's material properties are characterized by a thickness-gradient. The upper surface of the plate is modeled as pure ceramic, while the lower surface is modeled as pure metal. The upper surface of the plate is expressed as $+h/2$, while the lower surface is expressed as $-h/2$. The formation of FGM structures is achieved by gradually grading the thickness-wise distribution of the component materials' volume fractions. Plate mechanical and thermal properties are modulated by changing the volume percentage of the component materials.

In order to determine the effective material attributes of FGM metal-ceramic matrix, the following formula can be utilized [4], [18]:

$$P_{matrix} = P_{SUS304} + (P_{Si_3N_4} - P_{SUS304})V_{Si_3N_4} \tag{1}$$

Here, P_{Si3N4} and P_{SUS304} stand for the mechanical or thermal material characteristics of Si_3N_4 and SUS304, respectively, while $P(z)$ is the effective material property. Moreover, V_{Si3N4} represents the volumetric ratio of the ceramic constituent.

The volume ratio of the ceramic constituent can be obtained as:

$$V_{Si_3N_4} = \left(\frac{1}{2} + \frac{z}{h}\right)^p \qquad -\frac{h}{2} \le z \le \frac{h}{2} \tag{2}$$

$$V_{SUS304} = 1 - V_{Si_3N_4} \tag{3}$$

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

in which p is the power law parameter.

The modulus of elasticity of the FGM-GPLRC plate can be determined using the method described below [19]:

$$E_{eff} = \frac{3}{8}\left(\frac{\xi_L \eta_L V_{GPL}}{1-\eta_L V_{GPL}}\right) E_{matrix} + \frac{5}{8}\left(\frac{1+\xi_w \eta_w V_{GPL}}{1-\eta_w V_{GPL}}\right) E_{matrix} \tag{4}$$

where

$$\xi_L = \frac{2l_{GPL}}{t_{GPL}} \tag{5}$$

$$\xi_w = \frac{2w_{GPL}}{t_{GPL}} \tag{6}$$

$$\eta_L = \frac{(E_{GPL}/E_{matrix}) - 1}{(E_{GPL}/E_{matrix}) + \xi_L} \tag{7}$$

$$\eta_w = \frac{(E_{GPL}/E_{matrix}) - 1}{(E_{GPL}/E_{matrix}) + \xi_w} \tag{8}$$

In these equations, the width, length, and thickness of the GPLs are denoted by the variables w_{GPL}, l_{GPL}, and t_{GPL}, respectively. Additionally, the volume ratio of the GPLs, the modulus of elasticity of the metal-ceramic matrix, and the GPLs are denoted by the three variables V_{GPL}, E_{matrix} and E_{GPL}, respectively.

It is possible to determine Poisson's ratio as well as the mass density of the FG-GPLRC plate by using the rule of mixture, that is as follows [19]:

$$v_{eff} = v_{GPL} V_{GPL} + v_{matrix} V_{matrix} \tag{9}$$

$$\rho_{eff} = \rho_{GPL} V_{GPL} + \rho_{marix} V_{matrix} \tag{10}$$

in which

$$V_{matrix} = 1 - V_{GPL} \tag{11}$$

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

where V_{matrix} defines the volume ratio of metal-ceramic matrix.

For high-temperature applications, it is assumed that the material properties of plate components change with temperature. The temperature-dependent material properties of the FG-GPLRC plate can be calculated using the method given below [20]–[22]:

$$P = P_0(P_{-1}T^{-1} + 1 + P_1T + P_2T^2 + P_3T^3) \tag{12}$$

where $\Delta T=T-T_0$ and T_0=300 K. The material constants that are depending on temperature are denoted by the characters P_0, P_{-1}, P_1, P_2, and P_3. The temperature-dependent mechanical and thermal properties of Si_3N_4 and SUS304 are given in Table 1.

Table 1. Temperature-dependent material properties [20], [22].

Material	**Properties**	P_{-1}	P_0	P_1	P_2	P_3
Si_3N_4	E (Pa)	0	348.43×10^{9}	-3.070×10^{-4}	2.160×10^{-7}	-8.946×10^{-11}
	ν	0	0.24	0	0	0
	α (K^{-1})	0	5.8723×10^{-6}	9.095×10^{-4}	0	0
	κ (W/mk)	0	13.723	-1.032×10^{-3}	5.466×10^{-7}	-7.876×10^{-11}
	ρ (kg/m^3)	0	2370	0	0	0
SUS304	E (Pa)	0	201.04×10^{9}	3.079×10^{-4}	-6.534×10^{-7}	0
	ν	0	0.3262	-2.02×10^{-4}	3.97×10^{-7}	0
	α (K^{-1})	0	12.33×10^{-6}	8.086×10^{-4}	0	0
	κ (W/mk)	0	15.397	-1.264×10^{-3}	2.09×10^{-6}	-7.223×10^{-10}
	ρ (kg/m^3)	0	8166	0	0	0
GPLs	E (Pa)	0	1087.8×10^{9}	-0.261×10^{9}	0	0
	ν	0	0.186	0	0	0
	α (K^{-1})	0	13.92×10^{-6}	-0.029×10^{-6}	0	0
	κ (W/mk)	0	2200	6.739×10^{-2}	-2.585×10^{-4}	0
	ρ (kg/m^3)	0	1060	0	0	0

In accordance with the HSDT, the displacement field can be described in the following manner [23]:

$$\begin{aligned} u(x,y,z) &= u_0 - z\frac{\partial w_0}{\partial x} + g(z)\varphi_1 \\ v(x,y,z) &= v_0 - z\frac{\partial w_0}{\partial y} + g(z)\varphi_2 \\ w(x,y,z) &= w_0 \end{aligned} \tag{13}$$

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

in which $g(z)$ is the shape function. $g(z)$ can be written as:

$$g(z) = \mathrm{z}\left(1 - \frac{3z^2}{2h^2} + \frac{2z^4}{5h^4}\right) \tag{14}$$

The association among strain and displacement can be stated as:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial u}{\partial x} + \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{\partial w}{\partial x}\right)^2 \\ \dfrac{\partial v}{\partial y} + \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{\partial w}{\partial y}\right)^2 \\ \dfrac{\partial w}{\partial z} \\ \dfrac{\partial v}{\partial x} + \dfrac{\partial u}{\partial y} + \dfrac{\partial w}{\partial x}\dfrac{\partial w}{\partial y} \\ \dfrac{\partial w}{\partial y} + \dfrac{\partial v}{\partial z} \\ \dfrac{\partial w}{\partial x} + \dfrac{\partial u}{\partial z} \end{bmatrix} \tag{15}$$

It is possible to present the deformations in the following format:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \varepsilon^0_{xx} \\ \varepsilon^0_{yy} \\ \gamma^0_{xy} \end{Bmatrix} + z\begin{Bmatrix} \varepsilon^1_{xx} \\ \varepsilon^1_{yy} \\ \gamma^1_{xy} \end{Bmatrix} + g(z)\begin{Bmatrix} \varepsilon^2_{xx} \\ \varepsilon^2_{yy} \\ \gamma^2_{xy} \end{Bmatrix},$$

$$\begin{Bmatrix} \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \frac{dg(z)}{dz}\begin{Bmatrix} \gamma^0_{yz} \\ \gamma^0_{xz} \end{Bmatrix} \tag{16}$$

where

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon^0_{xx} \\ \varepsilon^0_{yy} \\ \gamma^0_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \dfrac{\partial u_0}{\partial x} \\ \dfrac{\partial v_0}{\partial y} \\ \dfrac{\partial v_0}{\partial x} + \dfrac{\partial u_0}{\partial y} \end{Bmatrix}, \qquad \begin{Bmatrix} \varepsilon^1_{xx} \\ \varepsilon^1_{yy} \\ \gamma^1_{xy} \end{Bmatrix} = -\begin{Bmatrix} \dfrac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} \\ \dfrac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} \\ 2\dfrac{\partial^2 w_0}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix},$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon^2_{xx} \\ \varepsilon^2_{yy} \\ \gamma^2_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \dfrac{\partial \varphi_1}{\partial x} \\ \dfrac{\partial \varphi_1}{\partial y} \\ \dfrac{\partial \varphi_1}{\partial y} + \dfrac{\partial \varphi_2}{\partial x} \end{Bmatrix}, \qquad \begin{Bmatrix} \gamma^0_{yz} \\ \gamma^0_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \varphi_x \\ \varphi_y \end{Bmatrix} \tag{17}$$

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

It is possible to express the linear constitutive connections of a plate that are affected by temperature in the following way:

$$\begin{Bmatrix}\sigma_{xx}\\ \sigma_{yy}\\ \sigma_{yz}\\ \sigma_{xz}\\ \sigma_{xy}\end{Bmatrix}=\begin{bmatrix}Q_{11} & Q_{12} & 0 & 0 & 0\\ Q_{12} & Q_{22} & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & Q_{44} & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & Q_{55} & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & Q_{66}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\varepsilon_{xx}-\alpha\Delta T\\ \varepsilon_{yy}-\alpha\Delta T\\ \gamma_{YZ}\\ \gamma_{Xz}\\ \gamma_{xY}\end{Bmatrix} \tag{18}$$

where

$$Q_{11}=Q_{22}=\frac{E}{1-v^2};\ Q_{12}=vQ_{11}\ ;Q_{44}=\ Q_{55}=\ Q_{66}=\frac{E}{2(1+v)} \tag{19}$$

The components of force (N) and moment (M) can be arranged in the following manner:

$$\begin{Bmatrix}N_{xx}\\ N_{yy}\\ N_{xy}\end{Bmatrix}=\int_{-h/2}^{h/2}\begin{Bmatrix}\sigma_{xx}\\ \sigma_{yy}\\ \sigma_{xy}\end{Bmatrix}\mathrm{d}z,\qquad \begin{Bmatrix}M_{xx}\\ M_{yy}\\ M_{xy}\end{Bmatrix}=\int_{h_{-h/2}}^{h/2}\begin{Bmatrix}\sigma_{xx}\\ \sigma_{yy}\\ \sigma_{xy}\end{Bmatrix}z\ \mathrm{d}z \tag{20}$$

Stress resultants can be derived as follows:

$$\begin{Bmatrix}P_{xx}\\ P_{yy}\\ P_{xy}\end{Bmatrix}=\int_{-h/2}^{h/2}\begin{Bmatrix}\sigma_{xx}\\ \sigma_{yy}\\ \sigma_{xy}\end{Bmatrix}g(z)\mathrm{d}z,$$
$$\begin{Bmatrix}R_{yz}\\ R_{xz}\end{Bmatrix}=\int_{-h/2}^{h/2}\begin{Bmatrix}\sigma_{yz}\\ \sigma_{xz}\end{Bmatrix}\frac{\mathrm{d}g(z)}{\mathrm{d}z}\ \mathrm{d}z \tag{21}$$

Force, moment and stress components can be reorganized as:

$$\begin{Bmatrix}\{N\}\\ \{M\}\\ \{P\}\end{Bmatrix}=\begin{bmatrix}[A] & [B] & [C]\\ [B] & [D] & [F]\\ [C] & [F] & [H]\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\{\varepsilon^0\}\\ \{\varepsilon^1\}\\ \{\varepsilon^2\}\end{Bmatrix},\qquad \begin{Bmatrix}R_{yz}\\ R_{xz}\end{Bmatrix}=\begin{bmatrix}J_{44} & 0\\ 0 & J_{55}\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\gamma_{yz}^0\\ \gamma_{xz}^0\}\end{Bmatrix} \tag{22}$$

The expressions A_{ij}, B_{ij}, D_{ij}, C_{ij}, F_{ij} and H_{ij} can be written as:

$$\{A_{ij},B_{ij},D_{ij},C_{ij},F_{ij},H_{ij}\}=\int_{-h/2}^{h/2}Q_{ij}\{1,z,z^2,f(z),zf(z),g(z)^2\}\mathrm{d}z \tag{23}$$

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$J_k = \int_{-h/2}^{h/2} Q_k \left\{\frac{dg(z)}{dz}\right\}^2 \mathrm{d}z, (i,j = 1,2,6;\ k = 4,5)$$

Through the application of Hamilton's principle, which is presented in equation (24), the equations of motion of the FG-GLPRC plate can be determined.

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} (U - \mathrm{W} - T)\mathrm{d}t = 0 \tag{24}$$

in which U is the strain energy, W is the virtual work, and T is the kinetic energy. One way to calculate the strain energy is by:

$$\delta U = \int_V \left[\sigma_{xx}\varepsilon_{xx} + \sigma_{yy}\varepsilon_{yy} + \sigma_{xy}\gamma_{xy} + \sigma_{yz}\gamma_{yz} + \sigma_{xz}\gamma_{xz}\right]\mathrm{d}V \tag{25}$$

Virtual work can be obtained as:

$$\delta V = \int_A q\delta w\ \mathrm{d}A + \int_A \left[\bar{N}_{xx}^0 \frac{\partial w_0}{\partial x}\frac{\partial \delta w_0}{\partial x} + \bar{N}_{yy}^0 \frac{\partial w_0}{\partial y}\frac{\partial \delta w_0}{\partial y}\right]\mathrm{d}A \tag{26}$$

In addition, the kinetic energy of the FG-GLPRC plate can be obtained as follows:

$$T = \frac{1}{2}\int_V \rho(z)\left[\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial t}\right)^2\right]\mathrm{d}V \tag{27}$$

The following equations of motion for the FG-GLPRC plate are obtained by inserting Equations (25-27) into Equation (24) [23]:

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial N_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} = I_0\frac{\partial^2 u_0}{\partial t^2} - I_1\frac{\partial^3 w_0}{\partial x \partial t^2} + I_3\frac{\partial^2 \varphi_x}{\partial t^2},\\
&\frac{\partial N_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial N_{yy}}{\partial y} = I_0\frac{\partial^2 v_0}{\partial t^2} - I_1\frac{\partial^3 w_0}{\partial y \partial t^2} + I_3\frac{\partial^2 \varphi_y}{\partial t^2},\\
&\frac{\partial^2 M_{xx}}{\partial x^2} + 2\frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_{yy}}{\partial y^2} + q + \bar{N}_{xx}^0\frac{\partial^2 w_0}{\partial x^2} + \bar{N}_{yy}^0\frac{\partial^2 w_0}{\partial y^2} = I_0\frac{\partial^2 w_0}{\partial t^2}\\
&+I_1\left(\frac{\partial^3 u_0}{\partial x \partial t^2} + \frac{\partial^3 v_0}{\partial y \partial t^2}\right) - I_2\left(\frac{\partial^4 w_0}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{\partial^4 w_0}{\partial y^2 \partial t^2}\right) + I_4\left(\frac{\partial^3 \varphi_x}{\partial x \partial t^2} + \frac{\partial^3 \varphi_y}{\partial y \partial t^2}\right),\\
&\frac{\partial P_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial P_{xy}}{\partial y} - R_{xz} = I_3\frac{\partial^2 u_0}{\partial t^2} - I_4\frac{\partial^3 w_0}{\partial x \partial t^2} + I_5\frac{\partial^2 \varphi_x}{\partial t^2},
\end{aligned} \tag{28}$$

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

$$\frac{\partial P_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial P_{yy}}{\partial y}-R_{yz}=I_3\frac{\partial^2 v_0}{\partial t^2}-I_4\frac{\partial^3 w_0}{\partial y\partial t^2}+I_5\frac{\partial^2 \varphi_y}{\partial t^2}$$

where

$$\{I_0,I_1,I_2,I_3,I_4,I_5\}=\int_{-h/2}^{-h/2}\rho(z)\{1,z,z^2,g(z),zg(z),g(z)^2\}\mathrm{d}z \tag{29}$$

Using the Navier method and the FG-GPLRC plate's simply-supported boundary conditions, we can calculate the displacements, as shown below [24], [25]:

$$\begin{aligned}\{u_0,\varphi_x\}&=\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\{U_{mn},X_{mn}\}\cos(\lambda x)\sin(\beta y)\,e^{i\omega_n t}\\ \{v_0,\varphi_y\}&=\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\{V_{mn},Y_{mn}\}\sin(\lambda x)\cos(\beta y)\,e^{i\omega_n t}\\ \{w_0\}&=\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}W_{mn}\sin(\lambda x)\sin(\beta y)e^{i\omega_n t}\end{aligned} \tag{30}$$

in which $\lambda=m\pi/l_a$ and $\beta=n\pi/l_b$. In addition, the maximum displacements are defined by U_{mn}, V_{mn}, W_{mn}, X_{mn}, and Y_{mn}. Moreover, ω_n defines the natural frequency. It is possible to structure the governing equations using the following format for the free vibration response:

$$([K]-{\omega_n}^2[M])\begin{Bmatrix}U_{mn}\\V_{mn}\\W_{mn}\\X_{mn}\\Y_{mn}\end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix}0\\0\\0\\0\\0\end{Bmatrix} \tag{31}$$

in which $[K]$ represent the stiffness matrix and $[M]$ represent the mass matrix, respectively. The stiffness matrix elements and the mass matrix elements are derived in the following ways [23]:

$$\begin{aligned}&K_{11}=A_{11}\lambda^2+A_{66}\beta^2, K_{12}=\lambda\beta(A_{12}+A_{66}),\\ &K_{13}=-B_{11}\lambda^3-\lambda\beta^2(B_{12}+2B_{66}), K_{14}=C_{11}\lambda^2+C_{66}\beta^2,\\ &K_{15}=\lambda\beta(C_{12}+C_{66}), K_{22}=A_{66}\lambda^2+A_{22}\beta^2,\\ &K_{23}=-B_{22}\beta^3-\beta\lambda^2(B_{12}+2B_{66}), K_{24}=K_{15},\\ &K_{34}=-F_{11}\lambda^3-\lambda\beta^2(F_{12}+2F_{66}), K_{35}=-F_{22}\beta^3-\beta\lambda^2(F_{12}+2F_{66}),\\ &K_{44}=J_{44}+H_{11}\lambda^2+H_{66}\beta^2, K_{45}=\lambda\beta(H_{12}+H_{66}),\\ &K_{55}=J_{55}+H_{66}\lambda^2+H_{22}\beta^2,\end{aligned} \tag{32}$$

and

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

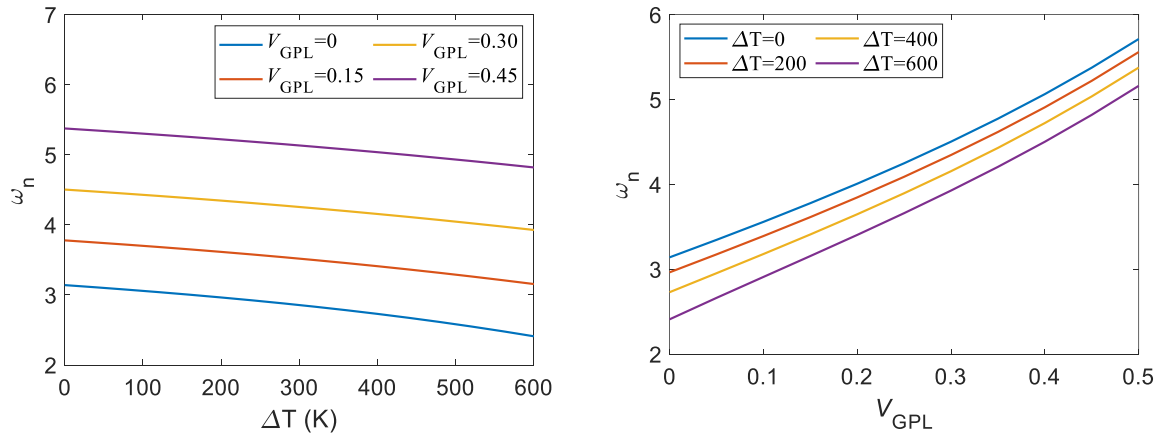
$$M_{11} = I_0, M_{12} = 0, M_{13} = -\lambda I_1, M_{14} = I_3, M_{15} = 0, M_{22} = I_0$$
$$M_{23} = -\beta I_1, M_{24} = 0, M_{25} = I_3, M_{33} = I_0 - I_2(\lambda^2 + \beta^2), M_{34} = -\lambda I_4 \quad (33)$$
$$M_{35} = -\beta I_4, M_{44} = I_5, M_{45} = 0, M_{55} = I_5$$

3. RESULTS AND DISCUSSION

This research examines the FG-GPLRC plate's free vibration behavior in relation to the power law index (p), GPL volume ratio (V_{GPL}), temperature increase (ΔT), and the aspect ratio (l_b/l_a). A thermal load between 0 K and 600 K is applied between the upper and lower surfaces of the plate. The FG-GPLRC plate has the following geometric parameters: l_a=l_b=0.25 m and h=l_a/10. The equation $w_n = w\frac{{l_a}^2}{h}\sqrt{\rho_{ceramic}/E_{ceramic}}$ is used to obtain the dimensionless natural frequency values of the plate.

3.1. Free Vibration Analysis of FG-GPLRC Plate

For four different GPL volume ratios (V_{GPL}=0, 0.15, 0.30 and 0.45), the influence of the GPL volume fraction on the vibration response of the sandwich plate is illustrated in Figure 2. As shown in Figure 2(a), the natural frequency values increase significantly with increasing GPL volume ratio. When examining the natural frequency values at parameters V_{GPL}=0 and V_{GPL}=0.45 at ΔT=400 K, it is determined that the natural frequency increases by approximately 84.53%. Additionally, when examining Figure 2(b) with parameters ΔT=0 K and ΔT=600 K for a constant V_{GPL} =0.3, it is found that the natural frequency decreases by approximately 14.66%. Similarly, the decrease in natural frequency is 30.29% for V_{GPL}=0 and 10.67% for V_{GPL} =0.45. This is due to the increased stiffness of the plate with increasing GPL ratio and the thermal expansion properties of GPL.



a) **b)**

Figure 2. Examination of ω_n with respect to V_{GPL} and ΔT (p=1, l_b/l_a=1).

The curves depicting the change in the natural frequency values of the FG-GPLRC plate with the power law index and temperature increase are shown in Figure 3. As shown in Figure 2(a), a significant decrease in natural frequency values has occurred with the increasing power law index. This decrease in natural frequency is due to the change in the plate's material properties

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

from Si_3N_4 to SUS304 with increasing p. When examining the p=0 and p=5 curves at a fixed temperature ΔT=400 K, a 76.59% decrease in natural frequency is observed. Additionally, when examining the curves at ΔT=0 and ΔT=600 in Figure 3(b), it is determined that the difference between the natural frequencies at p=0 is 21.71%, and this difference decreases to 17.23% at p=5. This decrease is thought to be due to the difference between the thermal expansion coefficients of SUS304 and Si_3N_4, along with the change in the ceramic-metal composition on the plate due to the increase in p.

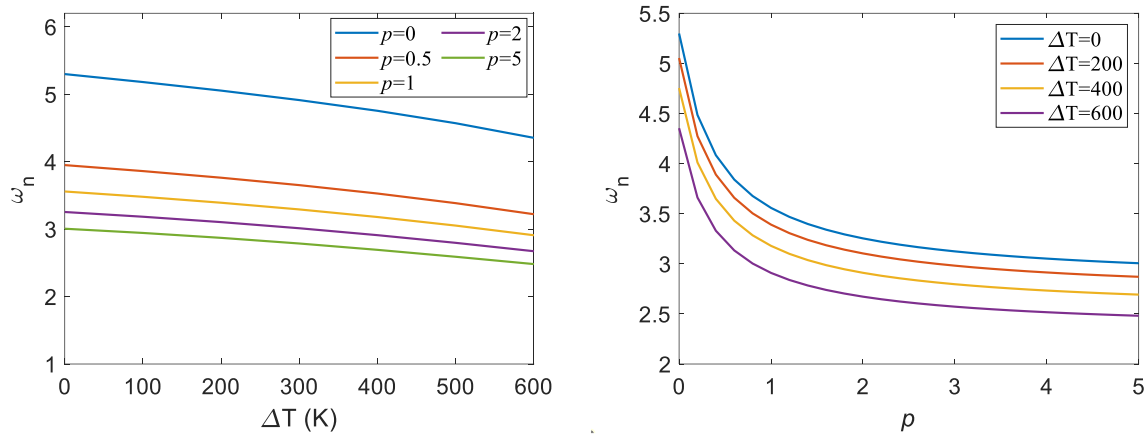


Figure 3. Examination of ω_n with respect to p and ΔT (V_{GPL}=0.1, l_b/l_a=1).

The change in the natural frequency value is examined in the free vibration analysis performed with three different aspect ratios (l_b/l_a=0.5, l_b/l_a=1 and l_b/l_a=2) of the FG-GPLRC plate, and the results are presented in Figure 4. As depicted in the figure, the natural frequency values of the plate increase significantly with increasing aspect ratio. When examining the l_b/l_a=0.5 and l_b/l_a=2 curves at ΔT=400 K, it is determined that the increase in natural frequency is approximately 147.50%. The main reason for this increase in natural frequency is the significant increase in the plate's bending stiffness with increasing aspect ratio.

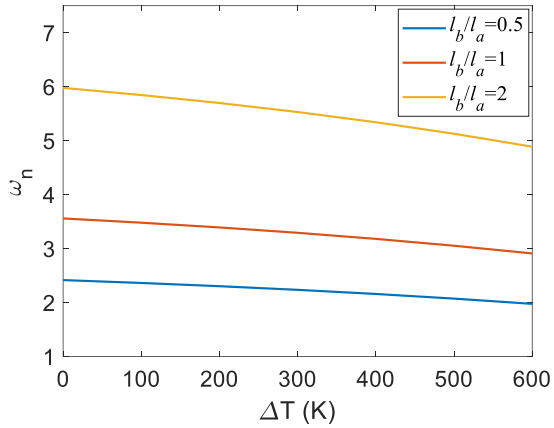


Figure 4. Examination of ω_n with respect to l_b/l_a and ΔT (V_{GPL}=0.1, p=1).

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

4. CONCLUSIONS

In this study, the FG-GPLRC plate is modeled using HSDT and a free vibration analysis is performed under thermal load effects. The free vibration response of the plate is obtained using the Navier method under simply supported boundary conditions. The analysis studies are carried out with four different GPL volume ratios, five different power law indexes, three different aspect ratios, and four different thermal load parameters. When examining the change in the natural frequency values of the first mode of free vibration of the plate according to the power law index, it is observed that the frequency values decrease by 76.59% with an increasing power law index. When the effect of GPL volume ratio on free vibration response is examined, an increase of approximately 84.53% in natural frequency values occurs with increasing GPL ratio. The reason for this increase is the superior stiffness of GPL. Additionally, the increased GPL ratio has reduced the natural frequency fluctuation of the plate due to the thermal expansion parameter of GPL. The thermal load in the 0-600 K range has caused the natural frequency values of the plate to decrease by a maximum of 30.29%. Increasing the aspect ratio value of the plate by four times resulted in a 147.50% increase in the first mode frequency values. It is anticipated that the findings of this research will offer significant suggestions for the design and optimization of advanced composite components that are subjected to thermal conditions. This will be accomplished by providing a deeper understanding of the structure design–material property–free vibration interaction in FG-GPLRC processes. The presented model makes a contribution to the expanding field of multi-scale, high-performance composite structures by combining the more effective reinforcement potential of GPLs with topologies that are functionally graded.

REFERENCES

[1] K. G. Aktaş, “Investigation of Thermomechanical Material Properties of Functionally Graded Sandwich Composite Plates with Metamaterial Honeycomb Core Layer,” Gazi J. Eng. Sci., vol. 10, no. 3, pp. 645–656, 2024.
[2] K. Gao, W. Gao, D. Chen, and J. Yang, “Nonlinear free vibration of functionally graded graphene platelets reinforced porous nanocomposite plates resting on elastic foundation,” Compos. Struct., vol. 204, pp. 831–846, 2018.
[3] J. Reif, J. Rafiee, Z. Wang, H. Song, Z.-Z. Yu, and N. Koratkar, “Enhanced Mechanical Properties of Nanocomposites at Low Graphene Content,” ACS Nano, vol. 3, no. 12, pp. 3884–3890, Dec. 2009, doi: 10.1021/nn9010472.
[4] K. G. Aktaş, “Analysis of Mechanical and Thermal Material Characteristics of GPL-Reinforced Double-FG Composite Nanoplates under Temperature Load,” Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasarım ve Teknol., vol. 13, no. 1, pp. 341–354, 2025.
[5] K. G. Aktaş, “3D wave dispersion analysis of graphene platelet-reinforced ultra-stiff double functionally graded nanocomposite sandwich plates with metamaterial honeycomb core layer,” Mech. Time-Dependent Mater., vol. 28, no. 3, pp. 1873–1908, 2024.
[6] D. Chen, J. Yang, and S. Kitipornchai, “Nonlinear vibration and postbuckling of functionally graded graphene reinforced porous nanocomposite beams,” Compos. Sci. Technol., vol. 142, pp. 235–245, 2017, doi: 10.1016/j.compscitech.2017.02.008.
[7] P. Jafari and Y. Kiani, “Free vibration of functionally graded graphene platelet reinforced plates: A quasi 3D shear and normal deformable plate model,” Compos. Struct., vol. 275, p. 114409, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114409.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
[8] Q. Gawah, M. A. Al-Osta, F. Bourada, A. Tounsi, S. Ahmad, and S. U. Al-Dulaijan, "Vibration analysis of functionally graded graphene platelet-reinforced FG plates supported by viscoelastic foundations using an integral HSDT," Mech. Based Des. Struct. Mach., vol. 53, no. 12, pp. 8141–8171, Dec. 2025.
[9] K. G. Aktaş and İ. Esen, "Dynamic Response Analysis and Active Vibration Control of the Smart Sandwich Composite Plate with FGM Core Layers and MIMO FGPM Actuators and Sensors," Int. J. Mech. Syst. Dyn., vol. 5, no. 1, pp. 3–19, Mar. 2025.
[10] L. V Tran, A. J. M. Ferreira, and H. Nguyen-Xuan, "Isogeometric analysis of functionally graded plates using higher-order shear deformation theory," Compos. Part B Eng., vol. 51, pp. 368–383, 2013.
[11] I. Esen, K. G. Aktaş, and F. Pehlivan, "Investigation of the Critical Buckling Temperatures and Free Vibration Response of Porous Functionally Graded Magneto-Electro-Elastic Sandwich Higher-Order Nanoplates with Temperature-Dependent Material Properties," J. Vib. Eng. Technol., vol. 13, no. 2, p. 162, 2025.
[12] M. Aydogdu, "A new shear deformation theory for laminated composite plates," Compos. Struct., vol. 89, no. 1, pp. 94–101, 2009.
[13] B. Yang, J. Yang, and S. Kitipornchai, "Thermoelastic analysis of functionally graded graphene reinforced rectangular plates based on 3D elasticity," Meccanica, vol. 52, no. 10, pp. 2275–2292, 2017, doi: 10.1007/s11012-016-0579-8.
[14] P. Maji, M. Rout, and A. Karmakar, "The thermo-elastic vibration of graphene reinforced composite stiffened plate with general boundary conditions," Structures, vol. 33, pp. 99–112, 2021,
[15] H.-S. Shen, Y. Xiang, and D. Hui, "Nonlinear vibration of functionally graded graphene-reinforced composite laminated cylindrical panels resting on elastic foundations in thermal environments," Compos. Part B Eng., vol. 136, pp. 177–186, 2018.
[16] Y. Lv, J. Zhang, and L. Li, "Thermal buckling and postbuckling of functionally graded multilayer GPL-reinforced composite beams on nonlinear elastic foundations," Heliyon, vol. 9, no. 9, p. e19549, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19549.
[17] C. Chen, D. Li, X. Zhou, and L. Zhou, "Thermal vibration analysis of functionally graded graphene platelets-reinforced porous beams using the transfer function method," Eng. Struct., vol. 284, p. 115963, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.115963.
[18] M. Nouraei, V. Zamani, and Ö. Civalek, "Vibration of smart sandwich plate with an auxetic core and dual-FG nanocomposite layers integrated with piezoceramic actuators," Compos. Struct., vol. 315, p. 117014, 2023.
[19] H.-Q. Tran, V.-T. Vu, and M.-T. Tran, "Free vibration analysis of piezoelectric functionally graded porous plates with graphene platelets reinforcement by pb-2 Ritz method," Compos. Struct., vol. 305, p. 116535, 2023.
[20] Y. S. Touloukian, Thermophysical properties of high temperature solid materials. New York: Macmillan, 1967.
[21] Touloukian YS, (1966) Thermophysical properties of high temperature solid materials. Volume 4. Oxides and their solutions and mixtures. Part 1, vol 1. New York: Macmillan, 1966.
[22] J. N. Reddy and C. D. Chin, "Thermomechanical analysis of functionally graded cylinders and plates," J. Therm. Stress., vol. 21, no. 6, pp. 593–626, 1998.
[23] A. A. Daikh and A. M. Zenkour, "Free vibration and buckling of porous power-law and sigmoid functionally graded sandwich plates using a simple higher-order shear deformation theory," Mater. Res. Express, vol. 6, no. 11, 2019.
[24] I. Esen and R. Özmen, "Free and forced thermomechanical vibration and buckling responses of functionally graded magneto-electro-elastic porous nanoplates," Mech. Based Des. Struct. Mach., vol. 52, no. 3, pp. 1505–1542, Mar. 2024.
[25] M. Sobhy, "Buckling and free vibration of exponentially graded sandwich plates resting on elastic foundations under various boundary conditions," Compos. Struct., vol. 99, pp. 76–87, 2013.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

NATURAL FREQUENCY CHARACTERISTICS OF RE-ENTRANT STRUCTURES WITH DIFFERENT DISTRIBUTION TYPES

Fatih PEHLİVAN
Karabuk University, fatihpehlivan@karabuk.edu.tr
ORCID ID: 0000-0003-2675-6124
Kerim Gökhan AKTAŞ
Karabuk University, kerimgokhanaktas@karabuk.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-8076-6799

ABSTRACT

In modern engineering applications, the simultaneous optimization of weight savings and structural performance necessitates the use of advanced lattice structures. This study numerically analyses the free vibration characteristics of beams with auxetic re-entrant lattice geometries possessing a negative Poisson's ratio. The dynamic behavior of the structure was modelled under different distribution configurations, and the Finite Element Method (FEM) was used as an effective tool in the analysis process. Within the scope of the systematic parametric study conducted, the decisive roles of boundary conditions, cell wall thicknesses, and re-entrant distribution types on natural frequencies were determined. The findings demonstrate that the high design flexibility offered by re-entrant lattice structures has critical potential, particularly in weight-sensitive fields such as aerospace and defense industries. Considering these data, future research aims to focus on lattice structure optimization for specific frequency ranges using multi-objective algorithms.

Keywords: Re-entrant lattice structure, lightweight structures, natural frequency, auxetic materials, free vibration, finite element method.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1. INTRODUCTION

In recent years, research into lightweight structures, energy dissipation and vibration control has gained momentum [1], [2]. These studies have focused on developing new materials and structures with advanced mechanical properties [3]. In this context, auxetic materials exhibiting a negative Poisson's ratio have attracted considerable interest [4], [5], [6]. Unlike traditional materials, auxetic materials expand transversely under tensile load and contract under compressive load [7]. This unique behaviour provides superior performance in areas such as energy absorption, fatigue resistance, and fracture toughness [8], [9]. The re-entrant cell structure is one of the most common auxetic geometries [10]. This structure has a wide range of potential applications due to its designable mechanical properties [11]. It is particularly favoured in smart building systems, biomedical implants, protective equipment, and aerospace components.

The dynamic characterisation of structural systems constitutes one of the most fundamental and critical stages of engineering design. At the heart of this characterisation lies the determination of modal parameters such as natural frequencies, mode shapes, and damping ratios, which define the system's free vibration behaviour. This process, known as modal analysis, is indispensable for assessing the resonance risks of a structure. It is also necessary for predicting the response to dynamic loads and developing vibration control strategies [12]. Today, this analysis is particularly important for systems with complex geometries and heterogeneous microstructures [13]. Performing the analysis numerically before experimental methods is of great importance in terms of the efficiency and cost of the design optimisation process. At this point, the Finite Element Method (FEM) stands out as a powerful and widely accepted numerical tool for modal analysis. FEM divides the continuous medium into a finite number of discrete elements. It thus reduces complex physical problems expressed by differential equations to sets of linear algebraic equations. In the context of modal analysis, this method enables the creation of the structure's mass and stiffness matrices. The eigenvalue problem is solved using these matrices. As a result, natural frequencies (eigenvalues) and their corresponding mode shapes (eigenvectors) are obtained.

Beams serve as fundamental load-bearing elements across a wide range of applications, from structural engineering to machine design, aerospace to construction technology. While these elements are known for their strength under static loads, their vibration behaviour is critically important in dynamic environments. The natural frequencies of beams are fundamental parameters that determine their dynamic character and reveal the risk of resonance with periodic loads acting upon them [14]. A beam's natural frequency is determined by material properties, geometric dimensions, and boundary conditions. The determination of these frequencies through analytical, numerical, or experimental methods is essential for the safe and efficient design of structures against adverse effects such as damage, noise, fatigue, and even sudden collapse caused by vibration.

The existing literature has generally focused on the static analysis of homogeneous auxetic structures. This study is unique in that it demonstrates how the distribution of wall thickness

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

can adjust natural frequencies. It aims to perform the free vibration analysis of beams designed with re-entrant auxetic cells using the Finite Element Method (FEM) and to determine their natural frequencies. The analyses will be conducted based on three fundamental parameter sets: four different cell wall thickness distribution scenarios defined along the beam thickness (Uniform (U), Decreasing (D), Symmetric I (SI) and Symmetric II (SII)), four different boundary conditions (Clamped-Clamped (CC), Clamped-Free (CF), Clamped-Simple Support (CS) and Simple Support-Simple Support (SS)), and three different average cell wall thickness levels (6 mm, 8 mm, 10 mm). The most significant contribution this study will make to the literature is that it enables the determination of the most suitable geometric configuration that provides the highest natural frequency within a specific weight limit by using wall thickness distribution as a design parameter. The data obtained will offer a new perspective, particularly for advanced engineering structures where vibration damping capacity must be geometrically controlled during the design phase.

2. MATERIAL AND METHODS

As shown in Figure 1, there is a beam model in an auxetic re-entrant lattice structure with length L_l. The beam cross-section is shown on the right side of the figure. L_w, L_h and t_{wl} represent the width, height and wall thickness of the re-entrant cell, respectively.

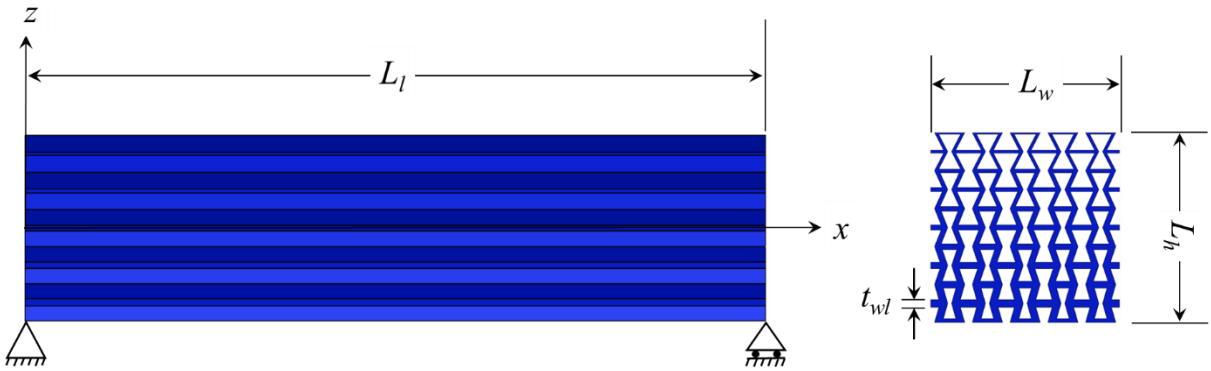


Figure 1. Re-entrant auxetic lattice beam model

Figure 2 illustrates that four different distribution types are considered in the study. U represents the uniform distribution type, D represents the decreasing distribution type, SI represents the beam type with cell wall thickness decreasing towards the surfaces and symmetrical, and SII represents the beam type with cell wall thickness increasing towards the surfaces and symmetrical. Four different boundary conditions were considered as boundary conditions. These are clamped-clamped (CC), clamped-free (CF), clamped-simply supported (CS), and simply supported-simply supported (SS). Structural steel was considered as the material in all analyses, and the properties of structural steel are presented in Table 1.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

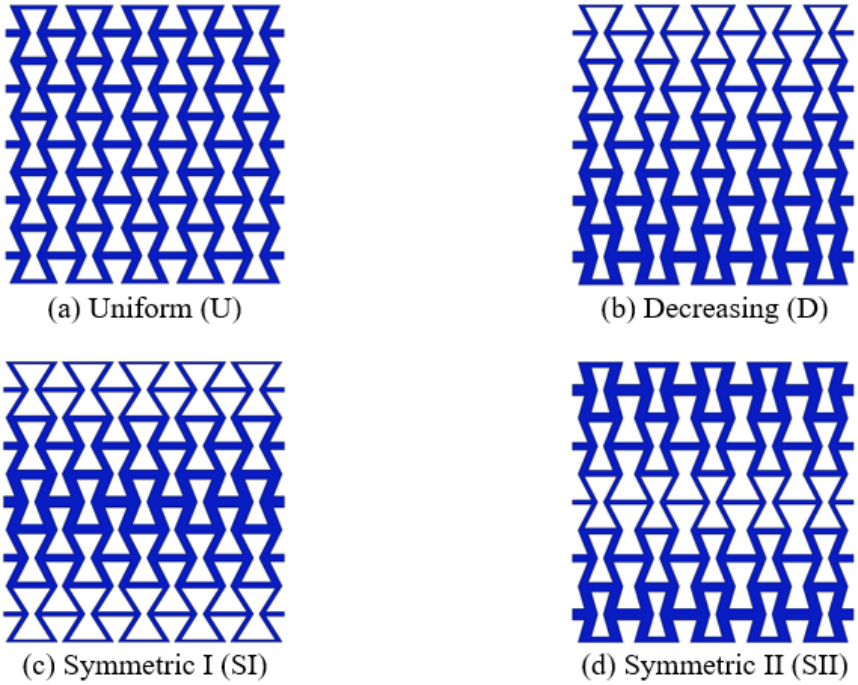


Figure 2. Four distinct distribution models along the thickness of nanobeam

Table 1. Material properties of structural steel

Properties	Structural Steel
Modulus of elasticity	200 GPa
Density	7850 kg/m^3
Poisson ratio	0.3

3. RESULTS AND DISCUSSION

This section analyzes the free vibration analysis of re-entrant auxetic beam model by finite element modeling, considering variables such as wall thickness of unit cell (WT), distribution type of re-entrant auxetic (DT), and boundary conditions (BCs). In this study, the beam length was taken as 1000 mm, and the width and height as 250 mm. Cell wall thicknesses vary between 4-100 mm.

The results presented in Table 2 demonstrate that the free vibration behavior of a beam composed of uniform re-entrant auxetic cells is strongly dependent on the cell wall thickness (6 mm, 8mm, and 10 mm) under the CF boundary condition. When the cell wall thickness is reduced from 10 mm to 6 mm, a regular decrease in natural frequencies is observed across all vibration modes. For example, the first natural frequency is 181.25 Hz at a thickness of 10 mm, 177.11 Hz at 8 mm, and 172.28 Hz at 6 mm. A similar decrease is more pronounced in the mid-range modes, with Mode 3 frequency being 489.9 Hz at 10 mm and decreasing to 415.1 Hz at 6 mm thickness. The same trend continues in the high modes. The Mode 6 frequency is 1266.9 Hz at 10 mm and 1244.5 Hz at 6 mm. These results demonstrate that the reduction in cell wall thickness decreases the effective rigidity of the re-entrant auxetic lattice structure, thereby increasing bending deformations and causing a systematic decrease in natural frequencies.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Table 2. Natural frequencies based on wall thickness of re-entrant cells (DT=U, BCs=CF)

		Natural frequencies (Ω)					
		Mode 1 (Hz)	Mode 2 (Hz)	Mode 3 (Hz)	Mode 4 (Hz)	Mode 5 (Hz)	Mode 6 (Hz)
WT	10 (mm)	181.25	194.38	489.9	761.4	957.66	1266.9
	8 (mm)	177.11	193.2	454.21	718.95	939.22	1264.9
	6 (mm)	172.28	192.16	415.1	674.73	919.53	1244.5

Table 3. Natural frequencies based on distribution types of re-entrant cells (BCs=CF)

		Natural frequencies (Ω)					
		Mode 1 (Hz)	Mode 2 (Hz)	Mode 3 (Hz)	Mode 4 (Hz)	Mode 5 (Hz)	Mode 6 (Hz)
Distribution Type (DT)	SII	178.88	204.73	458.51	736.86	933.38	1265.9
	SI	173.6	174.15	397.05	689.6	878.64	1208.4
	D	177.76	187.48	452.37	725.93	919.04	1265.9
	U	174.56	192.67	431.57	695	929.8	1264.1

As can be seen in Table 3, the analysis results presented reveal that the natural frequencies of auxetic re-entrant lattice beams are directly related to the distribution type of cells. An examination of the data in the table shows that the SII configuration, where the thickness increases from the center point of the beam towards the outer surfaces, provides the highest natural frequency values in all modes. This indicates that the concentration of bending stresses on the outer surfaces, where they are most intense, increases the rigidity (EI) of the structure more effectively than its mass. In contrast, the SI type, where the material is concentrated in the center and thinned at the surfaces, exhibited the lowest performance with values such as 173.6 Hz in Mode 1 and 397.05 Hz in Mode 3; this proves that the structure gains a more flexible character with the decrease in the moment of inertia. Notably, the D-type distribution, where thickness varies from the lower to the upper surface, exhibited the same performance as SII in high modes (Mode 6: 1265.9 Hz), indicating that asymmetric distributions can also be an effective alternative under high-frequency operating conditions. The U-type distribution, on the other hand, was observed to produce better frequency values than SI in most modes, but lower than SII and D. This demonstrates that traditional fixed-thickness designs are open to optimization in terms of dynamic performance. Consequently, the table demonstrates that even if the total weight is kept constant, the dynamic characteristics (resonance frequencies) of the

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

structure can be controlled simply by optimizing the geometric distribution of the re-entrant cell walls. This offers critical design flexibility, particularly in terms of structural vibration management in the aerospace and defense industries.

Table 4 presents the natural frequencies of the U distribution type re-entrant lattice beam with a wall thickness of 7 mm, showing the results for the first six vibration modes under different boundary conditions. In the SS case, the lowest natural frequency was obtained in Mode 1 at 264.4 Hz, and the frequencies increase up to approximately 1169 Hz in Mode 6. In the CF configuration, the frequency values are generally lower; in particular, the lowest frequency is observed in the first mode at 174.56 Hz compared to all other boundary conditions. This reflects that the flexibility of the free end makes the system prone to vibration at lower frequencies. In the CS and CC boundary conditions, the natural frequencies increase significantly. In the CS case, the first mode is 385.66 Hz, while in the CC case, this value reaches 636.87 Hz. Particularly when both ends are fixed, the system's rigidity reaches its maximum, and the highest natural frequency values are observed for all modes. For example, for Mode 5, 1862.9 Hz is measured under CC conditions, while the same mode is 747.67 Hz under SS, 929.8 Hz under CF, and 1314.5 Hz under CS. These findings clearly demonstrate that boundary conditions play a decisive role in the dynamic rigidity of the beam and that fixed supports force the system to vibrate at higher frequencies.

Table 4. Natural frequencies based on the boundary conditions (DT=U, WT=7 mm)

Boundary Conditions (BCs)		Natural frequencies (Ω)					
		Mode 1 (Hz)	Mode 2 (Hz)	Mode 3 (Hz)	Mode 4 (Hz)	Mode 5 (Hz)	Mode 6 (Hz)
	SS	264.4	523.66	562.08	569.01	747.67	1169
	CF	174.56	192.67	431.57	695	929.8	1264.1
	CS	385.66	663.54	679.9	933.98	1314.5	1481.6
	CC	636.87	896.3	948.82	1304.4	1862.9	1923.4

4. CONCLUSION

This research examines the design and analysis of free vibrations in a re-entrant auxetic lattice beam model. Free vibration analysis is performed using FEM, with several parameters defined according to the component characteristics and geometric properties of the beam model. Substantial conclusions have been observed from the results of the analyses conducted as follows:

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

- The effective stiffness of the re-entrant auxetic lattice structure is reduced as the cell wall thickness is reduced; this leads to an increase in bending deformations and a systematic fall in natural frequencies.
- The dynamic properties of the structure (resonance frequencies) can be controlled by optimizing the geometric distribution of the re-entrant cell walls.
- Fixed supports increase vibration frequencies, improving the structure more resistant to higher-frequency dynamic loads, while free or simply supported ends cause vibration at lower frequencies.

The results obtained are expected to guide the transformation of systems used in air and land transportation into lighter, more impact-resistant, and vibration-free designs.

.

REFERENCES

[1] Chen, S., et al. Elastic architected mechanical metamaterials with negative stiffness effect for high energy dissipation and low frequency vibration suppression, Composites Part B: Engineering, December, 267, 2023.

[2] Wu, W., et al. Mechanostructures: Rational mechanical design, fabrication, performance evaluation, and industrial application of advanced structures, Progress in Materials Science, January, 131, 2023.

[3] Li, Y., et al. High Mechanical Performance of Lattice Structures Fabricated by Additive Manufacturing, Metals, October, 14, 10, 2024.

[4] Lakes, R. S. Negative-Poisson's-Ratio Materials: Auxetic Solids, Annual Review of Materials Research, July, 47, 2017.

[5] Saxena, K. K., Das, R., Calius, E. P. Three Decades of Auxetics Research − Materials with Negative Poisson's Ratio: A Review, Advanced Engineering Materials, 18, 11, 2016.

[6] Zhang, L., et al. Mechanical metamaterials with negative Poisson's ratio: A review, Engineering Structures, April, 329, 2025.

[7] Engel, A., Al-Ketan, O., Jung, A. Multimaterial Approach to Improve the Mechanical Properties of a Novel Modified Auxetic Reentrant Honeycomb Structure, Advanced Engineering Materials, 27, 20, 2025.

[8] Veloso, C., Mota, C., Cunha, F., Sousa, J., Fangueiro, R. A comprehensive review on in-plane and through-the-thickness auxeticity in composite laminates for structural applications, Journal of Composite Materials, November, 57, 26, 2023.

[9] Shukla, S., Behera, B. K. Auxetic fibrous structures and their composites: A review, Composite Structures, June, 290, 2022.

[10] Rad, M. S., Hatami, H., Ahmad, Z., Yasuri, A. K. Analytical solution and finite element approach to the dense re-entrant unit cells of auxetic structures, Acta Mechanica, June, 230, 6, 2019.

[11] Mazur, E., Shishkovsky, I. Additively Manufactured Hierarchical Auxetic Mechanical Metamaterials, Materials, August, 15, 16, 2022.

[12] Peeters, B., Ventura, C. E. Comparative study of modal analysis techniques for bridge dynamic characteristics, Mechanical Systems and Signal Processing, September, 17, 5, 2003.

[13] Attipou, K., Nezamabadi, S., Daya, E. M., Zahrouni, H. A multiscale approach for the vibration analysis of heterogeneous materials: Application to passive damping, Journal of Sound and Vibration, February, 332, 4, 2013.

[14] Türkay, A. Determination of Dynamic Characteristics of Composite Cantilever Beams Using Experimental and Analytical Methods, Buildings, May, 15, 10, 2025.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

GÖZENEKLİ POLİMER TABANLI A0YA İLE REAKTİF RED 414'ÜN GİDERİMİNDE PH OPTİMİZASYONU VE ADSORPSİYON KAPASİTESİ
PH OPTİMİZATİON AND ADSORPTİON CAPACİTY İN REMOVAL OF REACTİVE RED 414 WİTH POROUS POLYMER-BASED A0YA

Asudenur UMUTLU
Bursa Uludağ Üniversitesi, asude797@gmail.com, 0009-0002-4119-2793

Araş. Gör. Yağmur YANIKTEPE
Bursa Uludağ Üniversitesi, yyaniktepe@uludag.edu.tr,0009-0005-4933-1825

Prof. Dr. Ali KARA
Bursa Uludağ Üniversitesi, akara@uludag.edu.tr, 0000-0003-2457-6314

ÖZET

Endüstriyel faaliyetlerin hızla artması, sınırlı olan su kaynaklarımızı ciddi bir kirlilik tehdidiyle karşı karşıya bırakmaktadır. Özellikle tekstil sektöründe yaygın olarak kullanılan boyar maddeler, karmaşık kimyasal yapıları ve yüksek fotoliz dirençleri nedeniyle ekosistemden temizlenmesi oldukça güç olan kirleticilerdir. Bu bağlamda, atık suların arıtılmasında fiziksel ve biyolojik yöntemlere kıyasla; düşük maliyeti, uygulama kolaylığı ve yüksek verimliliği ile ön plana çıkan adsorpsiyon yöntemi stratejik bir öneme sahiptir. İdeal bir adsorbanın, yüksek yüzey alanı ve kimyasal kararlılığın yanı sıra ekonomik olarak sürdürülebilir olması beklenmektedir. Bu tür kirleticilerin gideriminde adsorpsiyon; düşük maliyeti, uygulama kolaylığı ve yüksek verim potansiyeli nedeniyle öne çıkan arıtım yöntemlerinden biridir. Bu çalışmada, Reaktif Red 414 (RR414) boyar maddesinin sulu çözeltiden gideriminde A0YA kodlu gözenekli polimerik adsorbanın performansı incelenmiş ve pH'ın adsorpsiyon üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Adsorpsiyon deneyleri sabit sıcaklıkta ve sabit adsorban miktarında yürütülmü, başlangıç boyar madde derişimi 25 ppm olacak şekilde çözeltiler hazırlanmıştır. Çözeltinin pH değeri 2, 4, 6 ve 8 olarak ayarlanmış; 24 saatlik temas süresi sonunda çözeltide kalan RR414 derişimleri UV–Vis spektrofotometre ile tayin edilerek giderim yüzdesi ve adsorpsiyon kapasitesi (q_e) hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, pH değişiminin adsorpsiyon kapasitesi üzerinde belirgin etkili olduğunu ve incelenen aralıkta en yüksek adsorpsiyon performansının pH 8'de elde edildiğini göstermiştir. Bu durum, pH'ın hem RR414'ün çözeltideki iyonlaşma davranışını hem de A0YA adsorban yüzeyindeki fonksiyonel grupların yük özelliklerini değiştirerek adsorpsiyon mekanizmasını yönlendirmesiyle açıklanabilir. Sonuç olarak RR414 giderimi için optimum pH 8 olarak belirlenmiş ve takip eden derişim çalışmaları bu pH değerinde gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Reaktif boyar madde, Adsorban, pH

SUMMARY

The rapid increase in industrial activities is posing a serious pollution threat to our limited water resources. Dyes, which are widely used especially in the textile industry, are pollutants that are quite difficult to remove from the ecosystem due to their complex chemical structures and high photolysis resistance. In this context, the adsorption method, which stands out with its low cost, ease of application, and high efficiency compared to physical and biological methods in wastewater treatment, has a strategic importance. An ideal adsorbent is expected to have a high

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
surface area and chemical stability, as well as be economically sustainable. Adsorption is one of the prominent treatment methods for removing these types of pollutants due to its low cost, ease of application, and high efficiency potential. In this study, the performance of the porous polymeric adsorbent coded A0YA in the removal of Reactive Red 414 (RR414) dye from aqueous solution was investigated, and the effect of pH on adsorption was evaluated. Adsorption experiments were conducted at a constant temperature and a constant amount of adsorbent, and solutions were prepared to have an initial dye concentration of 25 ppm. The pH of the solution was adjusted to 2, 4, 6, and 8; After a 24-hour contact period, the concentrations of RR414 remaining in the solution were determined using a UV-Vis spectrophotometer, and the removal percentage and adsorption capacity (q_e) were calculated. The results showed that pH variation has a significant effect on adsorption capacity, and the highest adsorption performance in the studied range was obtained at pH 8. This can be explained by the fact that pH influences the adsorption mechanism by altering both the ionization behavior of RR414 in solution and the charge properties of the functional groups on the A0YA adsorbent surface. Consequently, the optimum pH for RR414 removal was determined to be 8, and subsequent concentration studies were carried out at this pH value.

Keywords: Reactive dye, Adsorbent, pH

1.GİRİŞ

Anyonik yapıdaki reaktif boyar maddelerin sulu çözeltilerden uzaklaştırılması için aktif karbon, kil mineralleri, biyokütle kaynaklı adsorbanlar ve sentetik polimerler gibi çeşitli malzemelerin kullanıldığı görülmektedir. Ancak, ticari aktif karbonun yüksek rejenerasyon maliyeti, araştırmacıları daha ekonomik ve spesifik etkileşim sunan alternatif polimerik yapılara yöneltmiştir (Bhatnagar ve Sillanpää, 2010).

Reaktif Red 414 (RR414) gibi azo boyar maddelerin adsorpsiyonunda, ortam pH'ının adsorban yüzey yükü ve boyar madde molekülünün iyonlaşma derecesi üzerindeki etkisi belirleyicidir. Alver ve diğerleri (2017), manyetik kompozitler kullanarak yaptıkları çalışmada, asidik pH değerlerinde adsorban yüzeyinin protonlanması (H+ artışı) sonucu pozitif yüklendiğini ve anyonik RR414 molekülleri ile güçlü elektrostatik etkileşim kurduğunu rapor etmişlerdir. Benzer şekilde Mittal ve arkadaşları (2010), yüzey modifiye atık materyallerle yaptıkları çalışmada, pH 2.0-3.0 aralığında maksimum giderim verimine ulaşıldığını belirtmişlerdir. Bu durum, gözenekli polimer yapıların yüzey fonksiyonel gruplarının pH'a bağlı davranışının, adsorpsiyon kapasitesini doğrudan kontrol ettiğini göstermektedir.

Gözenekli polimerlerin adsorpsiyon kapasiteleri üzerine yapılan çalışmalarda, yüzey alanı ve gözenek çapı dağılımının önemi vurgulanmıştır. Dragan ve Apopei (2011), iyon değiştirici reçineler ve gözenekli polimerik yapılar üzerine yaptıkları incelemede, makro ve mezo gözeneklerin boyar madde moleküllerinin iç difüzyonunu kolaylaştırdığını ve dengeye ulaşma süresini kısalttığını ortaya koymuşlardır. A0YA gibi spesifik polimerik yapıların, özellikle sülfonat (-SO3-) grupları içeren büyük moleküllü boyar maddeleri tutma kapasitesinin, Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri ile açıklandığı pek çok çalışmada görülmektedir (Dotto vd., 2012).

Mevcut literatürde RR414'ün giderimi üzerine çalışmalar bulunmakla birlikte, A0YA formundaki gözenekli polimer yapının spesifik pH optimizasyonu ve doygunluk kapasitesi üzerine veriler sınırlıdır. Bu çalışma, söz konusu polimerin optimum

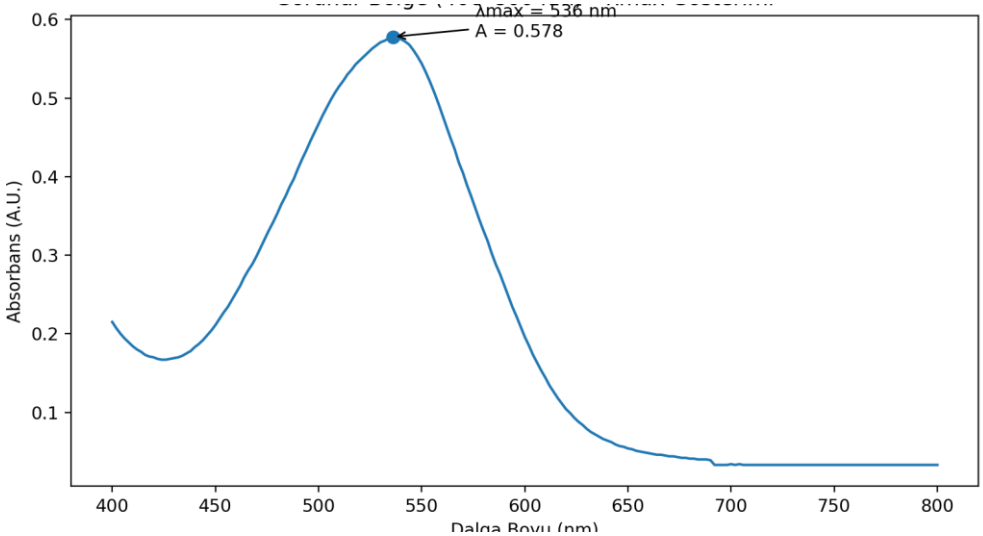
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

çalışma koşullarını belirleyerek literatürdeki bu boşluğu doldurmayı ve endüstriyel atık suların arıtımında alternatif bir adsorban potansiyeli sunmayı amaçlamaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kimyasallar ve Cihazlar

Çalışmada model kirletici olarak Reaktif Red 414 (RR414) boyar maddesi kullanılmıştır. Adsorban olarak gözenekli polimerik yapıdaki A0YA koduyla adlandırılan malzeme seçilmiştir. Çözeltilerin pH ayarları HCl ve NaOH çözeltileri kullanılarak yapılmış, derişim tayinleri ise UV-Vis spektrofotometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



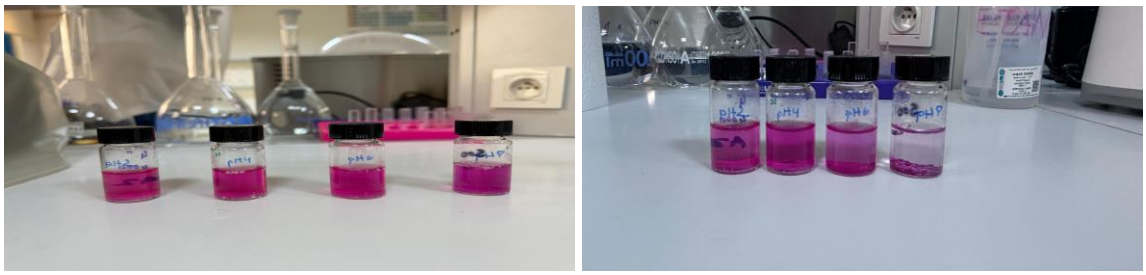
Görsel 1.RR414 boyar maddesinin görünür bölgedeki dalga boyu taraması grafiği

Boyar maddenin maksimum absorbans verdiği dalga boyunu (λmaks) belirlemek için hazırlanan çözeltilerde, çalışılan her bir pH değerinde 200-800 nm aralığında spektral tarama (dalga boyu taraması) gerçekleştirilmiştir. Yapılan taramalar sonucunda RR414 için karakteristik maksimum absorbans pikinin 596 nm dalga boyunda olduğu tespit edilmiştir. Takip eden tüm adsorpsiyon deneylerinde ölçümler bu dalga boyunda yapılmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Görsel 2. Kalibrasyon çözeltileri

Adsorpsiyon deneyleri, sabit sıcaklıkta ve 0,01 g A0YA adsorbanı kullanılarak yürütülmüştür. Başlangıç boyar madde derişimi 25 ppm olarak ayarlanmıştır. Çözelti pH'ının adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla deneyler pH 2, 4, 6 ve 8 değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Örnekler 24 saatlik temas süresi boyunca karanlıkta bırakılmış süre sonunda katı faz sıvı fazdan ayrılarak çözeltilerin absorbansı 596 nm'de okunmuştur.



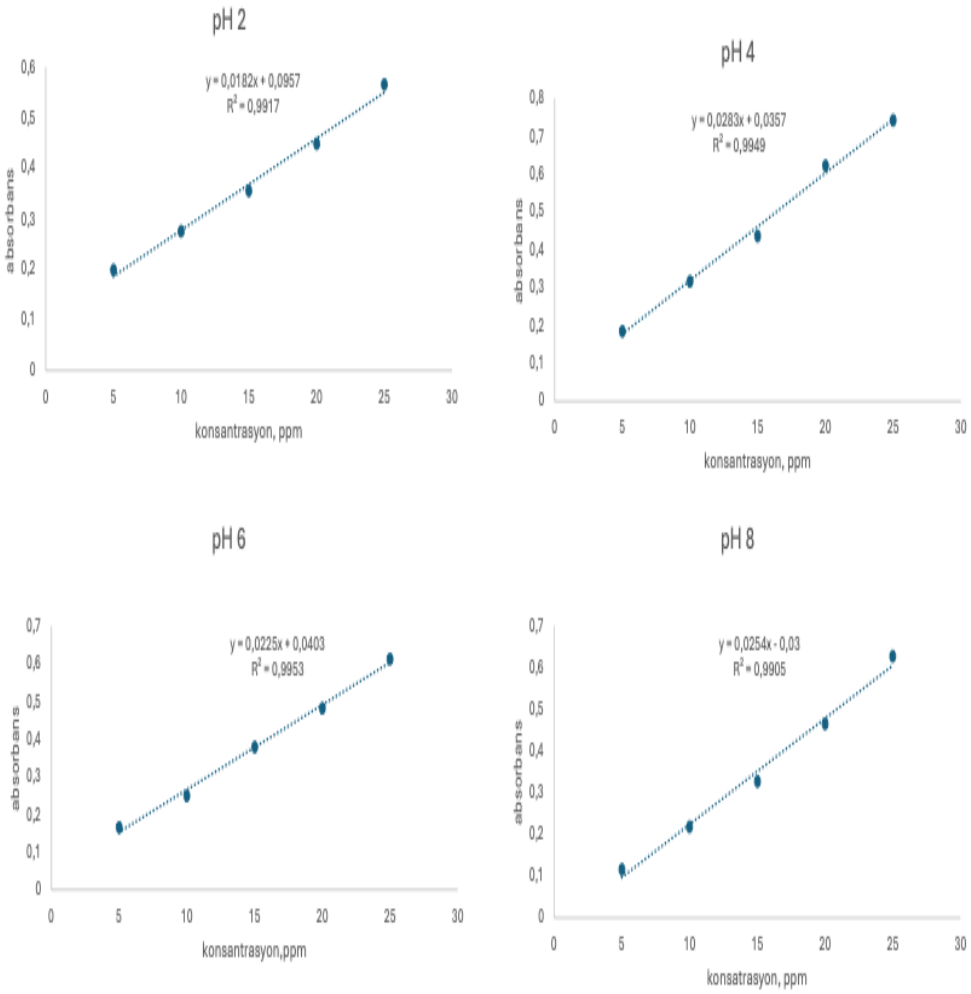
Görsel 3. Adsorpsiyon

. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1 Kalibrasyon Grafikleri

Reaktif Red 414 (RR414) boyar maddesinin miktar tayini için UV-Vis spektrofotometrik yöntem kullanılmıştır. Çalışılan her pH değerinde (2, 4, 6 ve 8) boyar maddenin spektral davranışı incelenmiş ve maksimum absorbansın 596 nm dalga boyunda gerçekleştiği saptanmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 4. Kalibrasyon grafikleri

Kantitatif analizler için 5, 10, 15, 20 ve 25 ppm derişimlerinde hazırlanan standart çözeltilerle kalibrasyon eğrileri oluşturulmuştur. Her pH değeri için elde edilen doğrusal regresyon denklemleri şöyledir:

- **pH 2:** y=0,0182x+0,0957 (R2=0,9917)
- **pH 4:** y=0,0283x+0,0357 (R2=0,9949)
- **pH 6:** y=0,0225x+0,0403 (R2=0,9953)
- **pH 8:** y=0,0254x−0,03 (R2=0,9905)

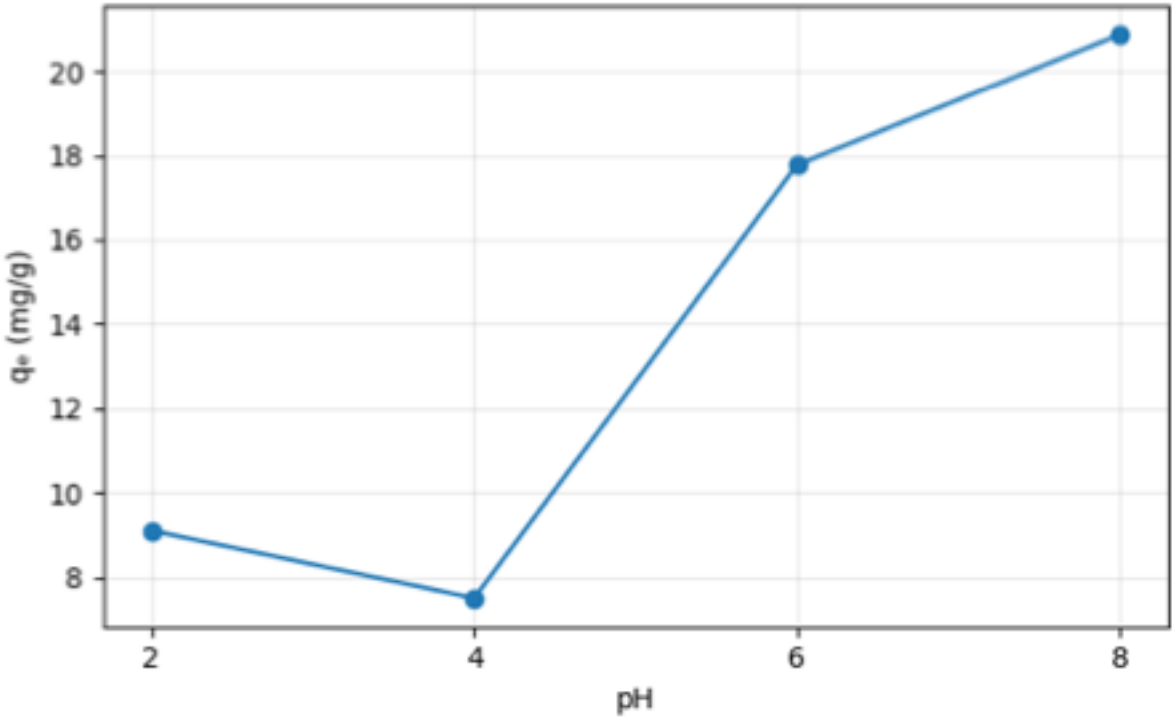
Yüksek R2 değerleri (0,99 ve üzeri), ölçümlerin hassasiyetini ve güvenilirliğini kanıtlamaktadır.

3.2. pH'ın Adsorpsiyon Kapasitesine Etkisi

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Çözelti pH'ı, hem adsorban yüzeyinin yük özelliklerini hem de boyar madde moleküllerinin iyonlaşma derecesini değiştirmesi nedeniyle adsorpsiyon sürecindeki kritik parametrelerden biridir. A0YA adsorbanı ile RR414 giderimi üzerine pH'ın etkisi incelendiğinde elde edilen adsorpsiyon kapasitesi (qe) değerleri Görsel 5 de sunulmuştur.
Grafik incelendiğinde pH değişiminin adsorpsiyon kapasitesi üzerinde belirgin bir etkisi olduğu görülmektedir:

- pH 2: Asidik ortamda adsorpsiyon kapasitesi yaklaşık 9.1 mg/g seviyesindedir.
- pH 4: pH değerinin 4'e yükseltilmesiyle birlikte kapasitede bir düşüş gözlemlenmiş ve sistemin minimum adsorpsiyon kapasitesi olan 7.6 mg/g değerine inilmiştir.
- pH 6: Nötr bölgeye yaklaşıldığında adsorpsiyon performansında keskin bir artış meydana gelmiş ve kapasite 17.8 mg/g seviyesine çıkmıştır.
- pH 8: İncelenen pH aralığında en yüksek giderim verimi bazik koşullarda elde edilmiştir. pH 8 noktasında adsorpsiyon kapasitesi maksimuma ulaşarak yaklaşık 20.9 mg/g olarak ölçülmüştür.



Görsel 5. pH-Qe grafiği

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlar, pH 4 civarında adsorban yüzeyi ile boyar madde arasındaki elektrostatik itme kuvvetlerinin baskın olabileceğini, buna karşın pH 8'de yüzey yüklerinin ve boyar madde formunun etkileşimi maksimize ettiğini göstermektedir. Maksimum kapasiteye (yaklaşık qe =20.9 mg/g) ulaşılan pH 8 değeri, bu sistem için optimum pH olarak belirlenmiştir. Sonraki çalışmalar bu pH değerinde sürdürülmüştür.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

KAYNAKÇA

1. Gupta, V. K., & Suhas. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2313-2342.
2. Yagub, M. T., Sen, T. K., Afroze, S., & Ang, H. M. (2014). Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 209, 172-184.
3. Kyzas, G. Z., & Kostoglou, M. (2014). Green adsorbents for removal of dyes: A critical review. *Materials*, 7(1), 333-364.
4. Alver, E., Metin, A. Ü., & Brouers, F. (2017). Methylene blue adsorption on magnetic alginate/rice husk bio-composite. *International Journal of Biological Macromolecules*, 95, 345-353. (Not: RR414 için benzer mekanizma çalışmaları referans alınabilir).
5. Saeed, A., Sharif, M., & Iqbal, M. (2015). Application potential of grapefruit peel as biosorbent for the removal of Reactive Red 414 dye. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

GÖZENEKLİ A0YA POLİMER ÜZERİNE REAKTİF RED 414'ÜN ADSORPSİYONU: BAŞLANGIÇ DERİŞİMİ PARAMETRESİNİN İNCELENMESİ
ADSORPTİON OF REACTİVE RED 414 ONTO POROUS A0YA POLYMER: INVESTİGATİON OF THE INİTİAL CONCENTRATİON PARAMETER

Asudenur UMUTLU
Bursa Uludağ Üniversitesi, asude797@gmail.com, 0009-0002-4119-2793
Araş. Gör. Yağmur YANIKTEPE
Bursa Uludağ Üniversitesi, yyaniktepe@uludag.edu.tr,0009-0005-4933-1825
Prof. Dr. Ali KARA
Bursa Uludağ Üniversitesi, akara@uludag.edu.tr, 0000-0003-2457-6314

ÖZET
Sanayileşme ve durmaksızın büyüyen nüfus, endüstriyel üretim kapasitesini artırmakta; bunun doğal bir sonucu olarak endüstriyel atık su kaynaklı kirlilik yükü de giderek büyümektedir. Bu kirlilik yükünde, yüksek su tüketimi ve yoğun kimyasal kullanımına bağlı olarak tekstil sektörü dikkat çekici bir paya sahiptir. Tekstil proseslerinde yaygın biçimde kullanılan sentetik boyar maddeler arasında yer alan azo ve reaktif boyalar, karmaşık kimyasal yapıları, yüksek çözünürlükleri ve çevresel koşullara karşı dirençleri nedeniyle alıcı ortamlarda kalıcı olabilmekte; çok düşük konsantrasyonlarda dahi su ortamına belirgin renk vererek estetik kirlilik oluşturmakta ve ışık geçirgenliğini azaltarak fotosentetik aktiviteleri olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca boyar madde içeren atık suların yeterince arıtılmadan deşarj edilmesi, çözünmüş oksijen dengesini bozabilmekte ve parçalanma ürünlerinin toksik etkileri nedeniyle ekosistem ve insan sağlığı açısından risk oluşturabilmektedir. Bu nedenle, boyar madde içeren atık suların etkin, çevre dostu ve sürdürülebilir yöntemlerle arıtılması güncel çevre mühendisliği uygulamalarının temel hedefleri arasında yer almaktadır.
Boyar madde gideriminde membran prosesleri, ileri oksidasyon prosesleri, elektrokimyasal yöntemler, koagülasyon/flokülasyon ve biyolojik arıtım gibi farklı yaklaşımlar bulunmakla birlikte; bu yöntemlerin bazıları yüksek işletme maliyeti, enerji tüketimi, kimyasal gereksinimi veya ikincil atık oluşumu gibi sınırlılıklar nedeniyle her zaman pratik ve ekonomik çözümler sunamamaktadır. Adsorpsiyon yöntemi ise düşük maliyeti, uygulanabilirliği, proses tasarımındaki esnekliği ve yüksek verim potansiyeli sayesinde özellikle renk giderimi açısından stratejik bir arıtım alternatifi olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, aktif karbon gibi klasik adsorbanların rejenerasyon güçlüğü ve maliyet dezavantajları, fonksiyonel gruplarla zenginleştirilebilen ve yeniden kullanılabilirlik potansiyeli taşıyan yeni nesil adsorbanların geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, yüksek yüzey alanına sahip gözenekli polimerik adsorbanlar; yüzey kimyasının kolay modifiye edilebilmesi, kimyasal kararlılık, mekanik dayanım ve ekonomik üretilebilirlik gibi avantajları nedeniyle son yıllarda giderek daha fazla ilgi görmektedir.
Bu çalışmada, Reaktif Red 414 (RR414) boyar maddesinin sulu çözeltiden gideriminde A0YA kodlu gözenekli polimerik adsorbanın performansı değerlendirilmiş ve başlangıç konsantrasyonunun adsorpsiyon üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ön çalışmalarda belirlenen optimum koşul doğrultusunda pH sabit tutulmuş; sıcaklık ve adsorban miktarı sabitlenerek 25, 50, 75, 100 ve 125 ppm başlangıç derişimlerinde adsorpsiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Temas süresi sonunda çözeltilerde kalan RR414 derişimleri UV–Vis spektrofotometre ile belirlenmiş; her bir derişim için giderim yüzdesi ve denge adsorpsiyon kapasitesi (q_e) hesaplanarak başlangıç derişiminin adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki rolü tartışılmıştır. Elde

ISBN NR: 978-625-5694-69-0
edilen bulgular, A0YA gözenekli polimerik adsorbanın RR414 içeren sulu sistemlerde uygulanabilirliğini ortaya koyarak başlangıç derişimi parametresinin önemini vurgulamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Azo boyar madde, Adsorban dozu, su kirliliği

SUMMARY

Industrialization and a constantly growing population are increasing industrial production capacity; as a natural consequence, the pollution load from industrial wastewater is also growing. The textile sector has a significant share in this pollution load due to its high water consumption and intensive chemical use. Azo and reactive dyes, which are among the synthetic dyes widely used in textile processes, can persist in receiving environments due to their complex chemical structures, high solubility, and resistance to environmental conditions; even at very low concentrations, they can give a noticeable color to the water environment, creating aesthetic pollution, and negatively affect photosynthetic activities by reducing light transmittance. In addition, the discharge of wastewater containing dyes without sufficient treatment can disrupt the dissolved oxygen balance and pose risks to the ecosystem and human health due to the toxic effects of their decomposition products. Therefore, the treatment of wastewater containing dyes with effective, environmentally friendly and sustainable methods is among the fundamental goals of current environmental engineering practices. While various approaches exist for dye removal, including membrane processes, advanced oxidation processes, electrochemical methods, coagulation/flocculation, and biological treatment, some of these methods are not always practical and economical solutions due to limitations such as high operating costs, energy consumption, chemical requirements, or secondary waste generation. Adsorption methods, however, stand out as a strategic treatment alternative, especially for color removal, due to their low cost, applicability, flexibility in process design, and high efficiency potential. Nevertheless, the regeneration difficulties and cost disadvantages of classic adsorbents such as activated carbon necessitate the development of new generation adsorbents that can be enriched with functional groups and have reusability potential. In this context, porous polymeric adsorbents with high surface area have been attracting increasing attention in recent years due to advantages such as easy modification of surface chemistry, chemical stability, mechanical strength, and economical manufacturability. This study evaluated the performance of the A0YA porous polymeric adsorbent in the removal of Reactive Red 414 (RR414) dye from aqueous solutions and investigated the effect of initial concentration on adsorption. Adsorption experiments were conducted at initial concentrations of 25, 50, 75, 100, and 125 ppm, with pH kept constant and temperature and adsorbent amount also kept constant, in accordance with the optimum conditions determined in preliminary studies. The concentrations of RR414 remaining in the solutions after contact time were determined using a UV-Vis spectrophotometer; the removal percentage and equilibrium adsorption capacity (q_e) were calculated for each concentration, and the role of initial concentration on adsorption capacity was discussed. The findings highlight the applicability of the A0YA porous polymeric adsorbent in aqueous systems containing RR414, emphasizing the importance of the initial concentration parameter.

Keywords: Azo dye, Adsorbent dose, water pollution

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

1.ATIK SULARDAN BOYAR MADDE ARITIMI

Hızlı sanayileşme ve artan dünya nüfusu, su kaynakları üzerinde ciddi bir baskı oluşturmakta ve endüstriyel atık suların arıtılmadan deşarj edilmesi ekosistemi tehdit etmektedir. Özellikle tekstil endüstrisi, yoğun su tüketimi ve proses aşamalarında kullanılan karmaşık kimyasallar nedeniyle en çok kirlilik yaratan sektörlerden biri olarak kabul edilmektedir (Yagub et al., 2014). Tekstil atık suları; yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), değişken pH değerleri ve düşük biyolojik parçalanabilirlik özelliklerine sahip sentetik boyar maddeler içermesiyle karakterizedir.

Reaktif boyar maddeler, pamuklu elyaflara kovalent bağlarla bağlanabilme yetenekleri, parlak renkleri ve yıkama haslıkları nedeniyle sektörde yaygın olarak tercih edilmektedir. Ancak boyama banyolarındaki boyar maddelerin yaklaşık %10-50'si hidrolize uğrayarak atık suya karışmaktadır (Aksu, 2005). Bu çalışmada model kirletici olarak seçilen Reaktif Red 414 (RR414) gibi azo grubu içeren boyar maddeler, sucul ortamlarda ışık geçirgenliğini azaltarak fotosentezi engellemekte, ayrıca anaerobik koşullarda parçalanarak kanserojenik aromatik aminlere dönüşebilmektedir (Robinson et al., 2001).

Bu kirleticilerin gideriminde koagülasyon-flokülasyon, membran filtrasyon ve ileri oksidasyon prosesleri gibi yöntemler kullanılsa da; yüksek işletme maliyetleri ve çamur oluşumu gibi dezavantajlar adsorpsiyon yöntemini öne çıkarmaktadır. Adsorpsiyon, yüksek verimliliği, işletme kolaylığı ve çok çeşitli adsorbanların kullanılabilirliği nedeniyle etkili bir yöntemdir (Crini, 2006). Son yıllarda aktif karbona alternatif olarak, ayarlanabilir gözenek yapıları, yüksek yüzey alanları ve kimyasal kararlılıkları nedeniyle gözenekli polimerik adsorbanlar dikkat çekmektedir (Kyzas & Matis, 2015).

Bu çalışmanın amacı, laboratuvar ortamında sentezlenen A0YA kodlu gözenekli polimerik adsorbanın, sulu çözeltilerden RR414 giderim performansını değerlendirmek ve başlangıç boyar madde derişiminin adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisini incelemektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kimyasallar ve Adsorban

Çalışmada kullanılan Reaktif Red 414 (RR414) boyar maddesi ticari saflıkta yerel bir firmadan temin edilmiş olup, stok çözeltiler saf su kullanılarak hazırlanmış, pH metre ile pH değeri 8’ e ayarlanmıştır. Adsorban olarak, önceki çalışmalarda sentezlenen ve karakterize edilen, yüksek gözenekliliğe sahip A0YA kodlu polimerik malzeme kullanılmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0

Görsel 1. A0YA polimerik adsorbanı

2.2. Adsorpsiyon Deneyleri

Başlangıç derişiminin etkisini incelemek amacıyla pH 8'de 25, 50, 75, 100 ve 125 ppm (mg/L) derişimlerinde RR414 çözeltileri hazırlanmıştır. Ön denemelerde belirlenen optimum pH değerine (sabit pH) ayarlanan 10 mL hacimdeki boyar madde çözeltileri, 0,01 A0YA adsorbanı içeren viallere aktarılmıştır. 24 saat boyunca karanlıkta bırakılmıştır..

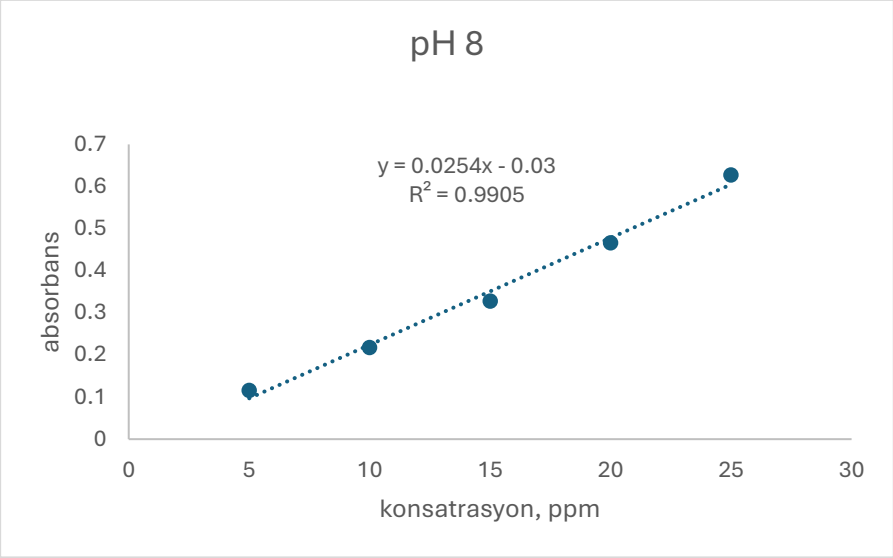
Görsel 2. pH 8 de hazırlanan çözelltiler

2.3. Analiz ve Hesaplamalar

- Denge süresi sonunda katı ve sıvı faz dekantasyon ile ayrılmış, çözeltideki kalıntı boyar madde derişimi UV-Vis Spektrofotometre kullanılarak RR414'ün maksimum absorbans verdiği dalga boyu olan 596 nm de ölçülmüştür.
- Denge adsorpsiyon kapasitesi qe mg/g cinsinde bulunmuştur.

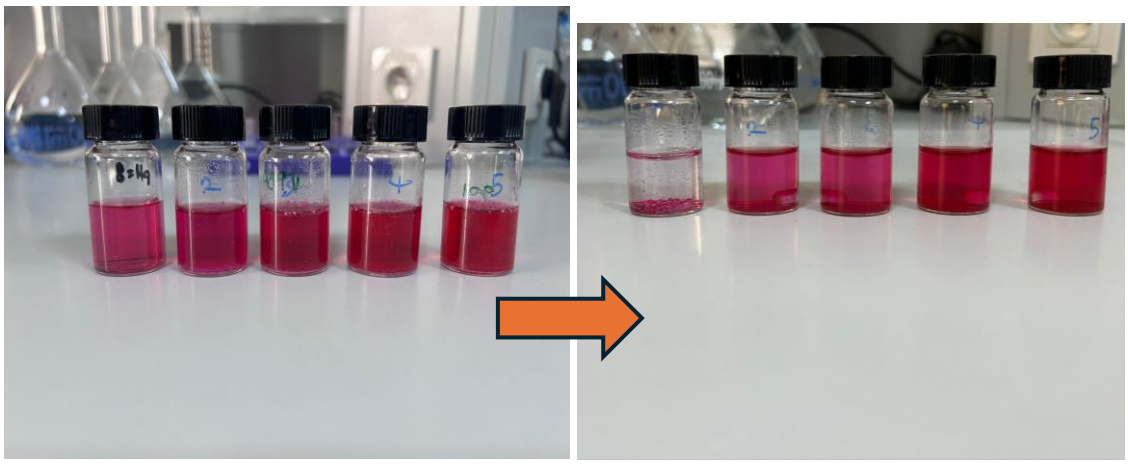
ISBN NR: 978-625-5694-69-0

- Çözeltide kalan boyar madde miktarı belirlenirken pH 8 deki kalibrasyon denkleminden faydalanılmıştır.



Görsel 3. pH kalibrasyon grafiği

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

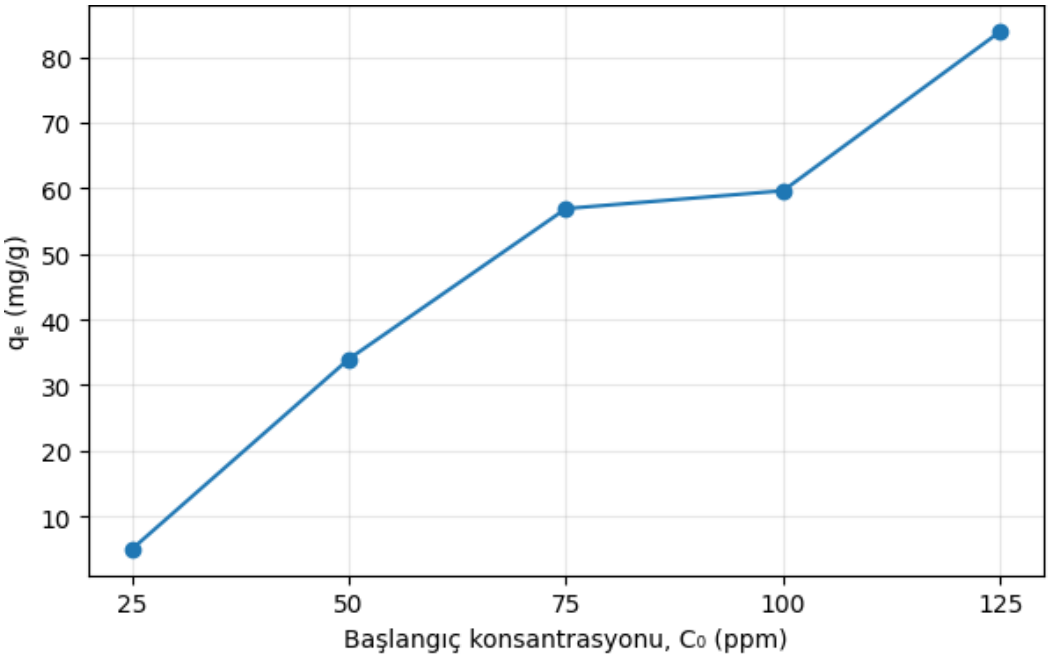


Görsel 4. Adsorpsiyon

RR414'ün A0YA adsorbanı üzerindeki adsorpsiyon davranışı incelendiğinde, başlangıç boyar madde derişiminin artmasıyla birim kütle başına adsorplanan madde miktarının (qe) belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

- **Kapasite Artışı:** Başlangıç derişimi 25 ppm'den 125 ppm'e çıkarıldığında, adsorpsiyon kapasitesi (qe) artış göstermiştir. Bu durum, çözelti derişiminin artmasıyla birlikte, boyar madde moleküllerinin sulu fazdan katı faza (adsorban yüzeyine) transferini sağlayan itici gücün artmasıyla açıklanabilir (Aksu, 2005). Yüksek derişimlerde, adsorban yüzeyindeki aktif bölgeler daha etkin bir şekilde dolmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-69-0



Görsel 5. Başlangıç konsantrasyonu pH grafiği

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, A0YA kodlu gözenekli polimerik adsorbanın Reaktif Red 414 boyar maddesinin gideriminde etkinliği incelenmiştir**.** Başlangıç derişimi, adsorpsiyon kapasitesini etkileyen kritik bir parametredir; derişim artışı kütle transferini hızlandırarak adsorpsiyon kapasitesini (qe) artırmıştır.

KAYNAKÇA

1. **Aksu, Z.** (2005). Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. *Process Biochemistry*, 40(3-4), 997-1026.
2. **Crini, G.** (2006). Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. *Bioresource Technology*, 97(9), 1061-1085.
3. **Kyzas, G. Z., & Matis, K. A.** (2015). Flotation in water and wastewater treatment. *Processes*, 3(1), 296-329. (Not: Polimerik adsorbanlar üzerine genel mekanizma referansı için).
4. **Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., & Nigam, P.** (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 77(3), 247-255.
5. **Yagub, M. T., Sen, T. K., Afroze, S., & Ang, H. M.** (2014). Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 209, 172-184