



3 - 5 Temmuz 2026
Bursa

ACADEMIA



SEMANTIC SCHOLAR

zenodo



BURSA
7. Uluslararası
Matematik ve
Mühendislik Kongresi





**BURSA 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND
MATHEMATICS
JULY 3 – 5, 2026
BURSA**

Edited By
PROF. DR. ALİ BİLGİLİ

Issued: 15. 08.2026
ISBN: 978-625-8795-27-1

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :

**In the conference 25 papers have been presented by Turkish participants and 43 papers
by international participants.**

**Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an
"official assignment letter"**

The Contents Of This Book Are Solely Those Of The Authors.
Bu Kitabın içeriğinin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir.

Web: www.bursakongresi.org

Contact: bursakongresi@gmail.com

CONFERENCE ID

**BURSA 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND
MATHEMATICS****DATE – PLACE****JULY 3 – 5, 2026****BURSA****ORGANIZATION****ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS****EVALUATION PROCESS****All applications have undergone a double-blind peer review process.****PARTICIPATING COUNTRIES**

Turkey – Algeria – Tunisia- - Qatar – Indonesia- Pakistan- Ethiopia- Kyrgyzstan- Iraq- Taiwan-
India- Morocco- Azerbaijan- Singapore- Iran – Kazakhstan-

PRESENTATION**Oral presentation**

No part of this book may be reprinted or reproduced or utilized in any form or by any electronic, mechanical or any other means, now known or hereafter invented, including photocopying and recording, or in any form of information storage or retrieval systems, without permission from the publishers.

Academy Global–2026©

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Head of Conference : Prof. Dr. Naile Bilgili

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Üniversitesi

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 Üniversitesi

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 Üniversitesi

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. Sevrə 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 Üniversitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Türkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Türkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Türkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Türkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Türkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Türkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Türkiye

Prof Dr. Bülent Kurtişoğlu – Türkiye

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 – Türkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Türkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Türkiye

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 – Türkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Türkiye

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 - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Türkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevrâ Fırıncıoğulları - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Türkiye

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 – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Türkiye

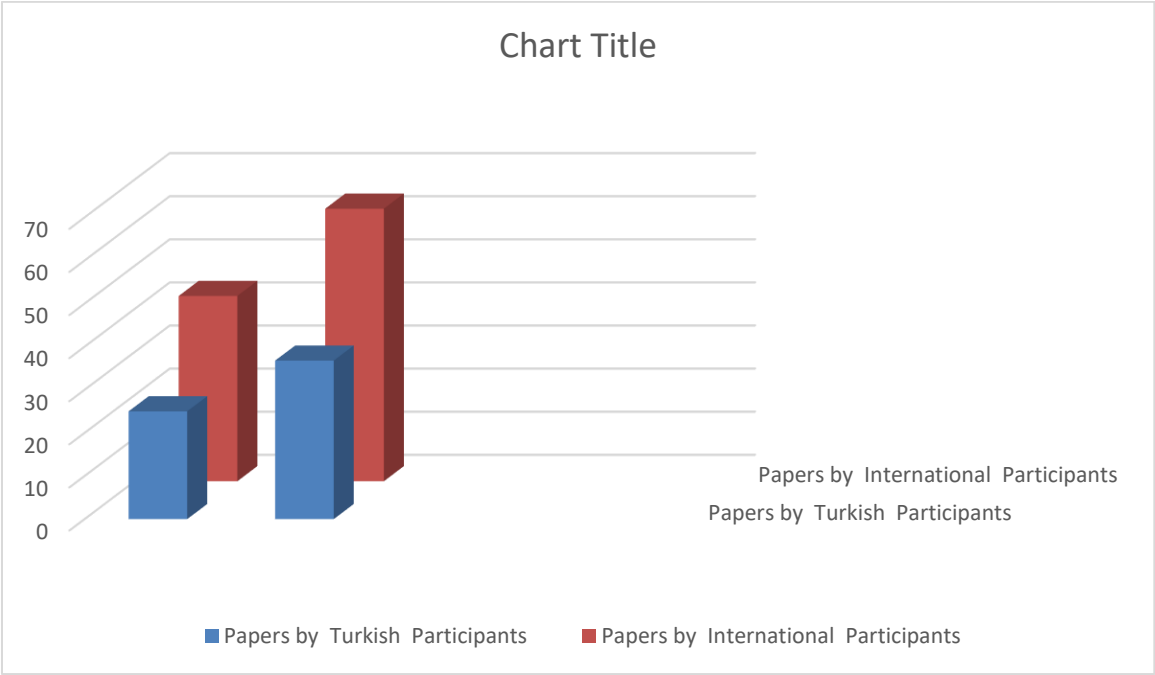
Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Türkiye

- Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Türkiye
- 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 – Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizistan
- 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 – Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India
- Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania
- Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan
- Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan
- Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines
- Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam
- Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Türkiye
- Dr. Mehmet Nuri Ödük – Türkiye
- Dr. Ayşe Baran - Türkiye
- Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan
- Dr. Sonali Malhotra – India
- Dr. Amaneh Manafidizaji – Iran

	<i>Number of paper</i>	<i>%</i>
<i>Papers by Turkish Participants</i>	25	36,76
<i>Papers by International Participants</i> <i>(15 Countries)</i>	43	63,24





**BURSA 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND
MATHEMATICS
JULY 3 – 5, 2026 - BURSA**

NO : AC- 7B - 2026. 351U– 7251

Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi

08/08/2026

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen **BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING and MATHEMATICS** kongresi 3-5 Temmuz 2026 tarihlerinde Bursa’da 16 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 68 bildirinin 25’i Türkiye’den, 43’ü ise farklı 15 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. Ali BİLGİLİ



T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Veteriner Fakültesi Dekanlığı
Fakülte Sekreterliği



Sayı : E-21304664-051-1705704

12.02.2025

Konu : 31-14279 Prof. Dr. Ali Bilgili'nin
Uluslararası Kongrelerde Düzenleme ve
Bilim kurullarında yer alması hk

FARMAKOLOJİ VE TOKSİKOLOJİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞINA

İlgi : Farmakoloji ve Toksikoloji Anabilim Dalı Başkanlığı'nın 11.02.2025 tarihli ve
E-41298163-051-1704750 sayılı yazısı.

İlgi yazınız uyarınca, Anabilim Dalınız öğretim üyesi Prof.Dr.Ali BİLGİLİ'nin, Yükseköğretim Kurulu'nun 15.06.2023 tarihli oturumunda doçentlik başvuruları şartları ile ilgili değişiklik önerileri kapsamında, "Academy Global Conferences & Publishing (<https://www.akademikongre.org/registration>)" tarafından önümüzdeki tarihlerde düzenlenecek olan uluslararası kongrelerde; kongre başkanı, kongre düzenleme ve bilim kurulu üyesi olarak görev yapması Dekanlığımızca da uygun görülmüştür.

Bilgilerinizi ve gereğini saygılarımla rica ederim.

Prof. Dr. Necmettin ÜNAL
Dekan V.

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Doğrulama Kodu: 8E77B04B-BD26-449E-A3C8-D44477307021 Doğrulama Adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/ankara-universitesi-ebys>

Zübeyde Hanım Mahallesi Şehit Ömer Halisdemir Bulvarı No: 9/C 06070 Altındağ /
ANKARA

Telefon No: (0312) 317 03 15 Belge Geçer No: (0312) 316 44 72

e-posta: vetmed@veterinary.ankara.edu.tr

KEP Adresi : ankunvrek@ankuni.hs01.kep.tr

Bilgi için: Gülay ŞAFAK

Bilgisayar İşletmeni

Telefon No: (312) 317 03 15-4510

E-Posta: gsafak@ankara.edu.tr



BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and
SOCIAL SCIENCES
BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPORTS and HEALTH
SCIENCES
BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING and
MATHEMATICS
ARTdergi 6TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
July 3 – 5, 2026
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 moderatör 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 aşılmasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilir.**
- 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 söz konusu 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 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPORTS and HEALTH SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Harun ÖZBEY	1	THE EFFECTS OF DIFFERENT DIETARY PATTERNS ON GLUCOSE MANAGEMENT IN CHILDREN WITH TYPE 1 DIABETES: A SYSTEMATIC REVIEW	Dr. Harun ÖZBEY
		2	THE IMPACT OF SOCIAL MEDIA USE ON MENTAL HEALTH IN THE DIGITAL AGE: A NARRATIVE REVIEW	Assist. Prof, FATMA İLKNUR UZUN RN, PhD, GÜLLÜ YAZKAN RN, MSc., FEYZA ACAR Prof. Dr. NEZİHE BULUT UĞURLU
		3	AN ANALYSIS OF THE IMPACTS OF DIGITAL HEALTH SERVICES ON PATIENT EXPERIENCE	Yüksek Lisans Öğrencisi, Nurcan ŞAVRAN Dr. Öğr. Üyesi, Ahmet AYDIN
		4	CERRAHİ KLİNİKLERDE UYGULAMA YAPAN HEMŞİRELİK ÖĞRENCİLERİNDE KAYGI , ALGILANAN STRES , İLETİŞİM BECERİLERİ VE BAKIM DAVRANIŞLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	Hem. Sena BABAYAVRUSU Dr. Öğr. Üyesi Melis ŞEN YILMAZ
		5	SAĞLIK BİLİMLERİ FAKÜLTESİNDE OKUYAN KIZ ÖĞRENCİLERİNİN MEME KANSERİNE YÖNELİK BİLGİ DÜZEYLERİ İLE KENDİ KENDİNE MEME MUAYENESİ SAĞLIK TARAMALARINA YÖNELİK İNANÇLARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, FİLİZ KİP KAYA Dr. Öğr. Üyesi, MELİS ŞEN YILMAZ
		6	COMPARISON OF HEART RATE VARIABILITY PARAMETERS ACCORDING TO GENDER IN UNIVERSITY STUDENTS	Pt, YASİN KAPLAN Pt, ZEYNEP KIRMIZIOĞLU Pt, AYSANUR MERGEN Asst. Prof., SELİN AKIL AĞDERE
		7	YAPAY ZEKA DESTEKLİ OLUŞTURULAN EĞİTİM MATERYALİ İLE VERİLEN EĞİTİMİN ANNELERİN ATEŞ YÖNETİMİ VE KAYGI DÜZEYLERİ ÜZERİNE ETKİSİ	Yüksek Lisans Öğrencisi İsmira Julfayeva Doç. Dr. Nuray CANER Doç. Dr. Yılmaz SEÇİLMİŞ
		8	KÖPEK DAVRANIŞLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, BERKER ARSLAN Prof. Dr., İBRAHİM KILIÇ

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPORTS and HEALTH SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Doç. Dr. Şeyma YAŞAR	1	THE RELATIONSHIP BETWEEN INFANTS' SLEEP CYCLES AND SUDDEN INFANT DEATH SYNDROME: CURRENT NURSING APPROACHES	Student Nurse, Selin Mizgin GÜNDOĞDU Research Assistant, Beşir ÇAKIR Research Assistant, İlkay DAĞLI
		2	HOME CARE AND ASPIRATION PRACTICES IN CHILDREN WITH TRACHEOSTOMIES: CURRENT NURSING APPROACHES	Student Nurse, Ayşe BALCI Research Assistant, Beşir ÇAKIR Research Assistant, İlkay DAĞLI
		3	EXAMINATION OF NURSING STUDENTS' WILLINGNESS, FEARS, AND COMPETENCIES TO WORK IN DISASTER AREAS	Assoc. Prof. PhD, Emine KAPLAN SERİN Undergraduate Nursing Student, Helin ŞENGEL Assoc. Prof. PhD, Tuba GÜNER EMÜL
		4	THE RELATIONSHIP BETWEEN CLIMATE CHANGE-RELATED ECO-ANXIETY AND BURNOUT LEVELS IN FEMALE NURSING STUDENTS	Assoc. Prof. PhD, Tuba GÜNER EMÜL İrem BARAN Handan MUTLUER
		5	MACHINE LEARNING-BASED DETECTION OF POLYCYSTIC OVARY SYNDROME: A LIGHTGBM, RFE, AND ADASYN APPROACH	Doç. Dr. Şeyma YAŞAR
		6	A MACHINE LEARNING AND EXPLAINABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE (SHAP AND LIME) APPROACH FOR METABOLIC SYNDROME PREDICTION	Doç. Dr. Şeyma YAŞAR
		7	AURA (OPERATING ROOM ALERT AND RISK ANALYSIS) SYSTEM	Öğr. Gör. Dr. Bilal ÇAKMAK Mert ARSLAN
		8	EVALUATION OF THE EFFECTS OF AVIOX CUSTOMIZED ERGONOMIC MATTRESS SYSTEM ON SLEEP QUALITY AND SPINAL ALIGNMENT.	Öğr. Gör. Dr. Bilal ÇAKMAK Fehmi UZMAN

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPORTS and HEALTH SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Ass. Prof. Songül DEMİR	1	İNME SONRASI HEMİPLEJİK OMUZ AĞRISINDA KONVANSİYONEL FİZYOTERAPİYE EK KİNEZYOLOJİK BANTLAMININ AĞRI, ÜST EKSTREMİTE FONKSİYONU VE GÜNLÜK YAŞAM AKTİVİTELERİNE ETKİSİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, SAMA NEMATİ ZAREİ Yüksek Lisans Öğrencisi, DORSA DADGAR Dr. Öğr. Üyesi, DEMET BİÇKİ
		2	FRAILTY SCALES IN OLDER ADULTS IN PREHOSPITAL EMERGENCY MEDICAL SERVICES	Ass. Prof. Songül DEMİR
		3	CONTACT LENS USE, HYGIENE-RELATED BEHAVIORS, AND KNOWLEDGE AMONG MEDICAL STUDENTS ATTENDING A CONTACT LENS AWARENESS ACTIVITY	Assistant Professor, Mehmet Ömer KIRIŞTIOĞLU Professor, Mehmet BAYKARA
		4	EVALUATION OF OCULAR AND ORBITAL FINDINGS REPORTED IN WHOLE- BODY 18F-FDG PET/CT REPORTS	Asst. Prof. Dr., Mehmet Ömer KIRIŞTIOĞLU Asst. Prof. Dr., Seçkin BİLGİÇ
		5	THE ANALYSIS OF CAUSES OF DEATH AMONG THE ELDERLY IN TÜRKİYE BETWEEN 2015 AND 2024 ACCORDING TO TURKSTAT DATA	Dr. Öğr. Üyesi Ece Elif ÖCAL YANIK Dr. Öğr. Üyesi Ali KILINÇ Prof. Dr. Ufuk BERBEROĞLU
		6	EVIDENCE-BASED PRACTICES IN THE MANAGEMENT OF PARKINSON'S DISEASE: A HOLISTIC APPROACH	Assist. Prof, Melis ŞEN YILMAZ Research Assistant Öykü EFLATUN

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPORTS and HEALTH SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Dr. Meltem ALTINTUĞ	1	ELİT FUTBOLCULARDA DAYANIKLILIK PARAMETRELERİNİN MEVKİLERE GÖRE KARŞILAŞTIRILMASI	Dr. Öğr. Üyesi Ömer AKSOY Arş. Gör. Ünal Can GÖKMEN Doç. Dr. Mehmet SOYAL Osman COŞKUN
		2	A PILOT STUDY: SELF-EFFICACY PERCEPTIONS OF PARENTS OF AUTISTIC CHILDREN REGARDING THEIR EDUCATIONAL SKILLS	Yüksek Lisans Öğrencisi, İrem MEMEDOĞLU Prof. Dr., Hakkı ÇOKNAZ
		3	A CATALYST FOR EMPLOYEE PRODUCTIVITY: EMPLOYEE RECREATION	ECE ÖZ Dr. Öğr. Üyesi ANIL ONUR MERCANOĞLU
		4	AKTİF YAŞLANMADA EGZERSİZİN ETKİSİ: DÜŞMENİN ÖNLENMESİ, BİLİŞSEL VE YAŞAM KALİTESİ AÇISINDAN GÜNCEL KANITLAR	Dr.Öğr.Üyesi,RİDVAN YILDIZ
		5	THE RELATIONSHIP BETWEEN TEMPO, RHYTHM, AND MOVEMENT FLUIDITY IN DANCE-BASED MOVEMENT EDUCATION: A THEORETICAL EVALUATION FROM THE PERSPECTIVES OF MOTOR CONTROL AND KINESIOLOGY	Dr. Meltem ALTINTUĞ
		6	SPORDA BECERİ KAZANIMI	Arş. Gör. Dr. İsa KAVALCI Arş. Gör. Özhan Can YILMAZ
		7	UYARILMIŞLIK, STRES VE KAYGI: SPORDA PSİKOFİZYOLOJİK SÜREÇLERİN DİNAMİK ETKİLEŞİMİ VE PERFORMANSA YANSIMALARI	Arş. Gör. Özhan Can YILMAZ Arş. Gör. Dr. İsa KAVALCI
		8	ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS.	Yüksek Lisans Öğrencisi, Serhat KESER Prof. Dr. Hakkı ÇOKNAZ
		9	EXAMINING LEISURE CONSTRAINT NEGOTIATION STRATEGIES OF UNIVERSITY STUDENTS: THE CASE OF KOCAELI UNIVERSITY	Master's Student İbrahim Emrah Özer Assoc. Prof. Dr. Muhammet Eyüp Uzuner

No :2

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPORTS and HEALTH SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Amaneh MAnafidizaji	1	BEYOND GENERAL EXERCISE: NATURE EXPOSURE AND PHYSICAL ACTIVITY IN NATURE AS CORRELATES OF PSYCHOLOGICAL CAPITAL	Vaiva Balciuniene Migle Baceviciene Rasa Jankauskiene
		2	INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF BASIC SPORT CLIMBING TRAINING IN EARLY CHILDHOOD ON SELECTED PARAMETERS OF CHILDREN	Ayşegül İLHAN ORAK Dr. Öğr. Üyesi Kürşat ÖZCAN
		3	COMPARISON OF THE EVIDENCE-BASED QUALITY OF HYPERTROPHY-ORIENTED RESISTANCE TRAINING PROGRAMS GENERATED BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODELS: A PILOT STUDY	Doç. Dr. İlbilge Özsu Nebioğlu Lisans Öğrencisi Berk Can
		4	THE RELATIONSHIP BETWEEN WOMEN'S EXPERIENCE OF PILATES, SOCIAL MEDIA-RELATED EATING BEHAVIOURS AND ORTHORECTIC TENDENCIES	Yüksek lisans Öğrencisi, İREM SU YÜKSEL Yüksek lisans Öğrencisi, FEYZA ŞEVVAL SEZER Yüksek lisans Öğrencisi, HÜŞNA YILMAZ Dr.Öğr.Üyesi MERVE TÜRKEGÜN ŞENGÜL
		5	A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF GRADUATE THESES IN THE FIELD OF ATHLETE NUTRITION IN TURKEY	Assistant Professor Hilal ERTÜRK YAŞAR
		6	HAFİF ZİHİNSEL ENGELLİ ERGENLERDE ATLETİZM TEMELLİ EGZERSİZLERİN VÜCUT KİTLE İNDEKSİ VE MOTOR BECERİLER ÜZERİNE ETKİSİ	BEYZA NUR YAMURLUKLU Doç. Dr. UĞUR ÖDEK
		7	SPOR BİLİMLERİ ALANINDA LİDERLİK ARAŞTIRMALARININ İNCELENMESİ: BİR İÇERİK ANALİZİ	Yüksek Lisans Öğrencisi , Seda GENÇ ARTUK
		8	AN EXAMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PERCEIVED SOCIAL SUPPORT, TIME MANAGEMENT, AND ACADEMIC PROCRASTINATION BEHAVIOR AMONG UNIVERSITY STUDENTS WITH DIFFERENT BODY MASS INDEXES	Nart Yakup ŞENKUL Doç. Dr. Serdar SUCAN
		9	SPOR ORGANİZASYONLARINDA DİJİTAL DÖNÜŞÜM YÖNETİM VE STRATEJİ	Saniye YÜKSEL

No: 1

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING and MATHEMATICS July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Prof. Dr. İbrahim GÜNALTILI	1	A NEW EXTENSION OF AN ABSOLUTE SUMMABILITY RESULT	Prof. Dr. Hikmet Seyhan ÖZARSLAN Assoc. Prof. Dr. Bağdagül KARTAL ERDOĞAN
		2	A GENERALIZATION OF A CESÀRO SUMMABILITY THEOREM	Prof. Dr. Hikmet Seyhan ÖZARSLAN Gönül ATAR
		3	ON STRATEGIES OF EFFECTIVE MATHEMATICS EDUCATION	Prof. Dr. İbrahim GÜNALTILI
		4	LIE SYMMETRY ANALYSIS, EXACT TRAVELLING-WAVE SOLUTIONS, AND CONSERVATION LAWS OF A GENERALIZED KURAMOTO-SIVASHINSKY EQUATION WITH NONLINEAR CONVECTION	Assist. Prof. Dr. Bahadır KOPÇASIZ Prof. Dr. Mehmet ŞENOL
		5	SOME CATEGORICAL PROPERTIES OF 3-GROUPS	MİRAÇ YILMAZ Doç. Dr. Elif ILGAZ ÇAĞLAYAN
		6	BULANIK KÜMELERİN TIBBİ UYGULAMALARI	Prof. Dr. Himmet CAN Ufuk ÖNER
		7	THE DUAL PYTHAGOREAN CONDITIONS AND THEIR EFFECTS ON CURVES	Asst. Prof. Dr. ÇAĞLA RAMİS İLGÜZ Batuhan ÖZKARA
		8	THE GEOMETRY OF CENTRODES OF CONSTANT SLOPE CURVES	Asst. Prof. Dr. ÇAĞLA RAMİS İLGÜZ
		9	YAMABE SOLITON STRUCTURE ON COTANGENT BUNDLE ACCORDING TO RIEMANNIAN EXTENSION METRIC	Doç. Dr. LOKMAN BİLEN

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING and MATHEMATICS July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. Öğr. Üyesi, Erol KINA	1	AN EXPLAINABLE HYBRID CNN–TRANSFORMER ARCHITECTURE FOR PRECISION AGRICULTURE APPLICATIONS	Dr. Öğr. Üyesi, Erol KINA
		2	MARUL (<i>Lactuca sativa</i> L) BİTKİSİNDE FE TUZUNUN SALİSİLİK ASİT UYGULAMASI İLE BÜYÜME VE GELİŞİMİNE ETKİSİ	Duygu AYHAN Dr. Öğr. Üyesi Nursal KOCA Bekir AKSÖZ
		3	USAGE OF LUPIN AQUAFABA AS EGG REPLACER IN CAKE PRODUCTION	Kübra AKTAŞ Hacer LEVENT
		4	COMPARISON OF SPECIFIC VOLUME, BAKING LOSS, AND HARDNESS PROPERTIES OF BREADS PRODUCED FROM DIFFERENT CEREAL FLOURS	Öğr. Gör. Müberra Ahsen GÖRENTAŞ TERİM, Prof. Dr. Raciye MERAL

No: 5

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING and MATHEMATICS July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Prof. Dr., Mehmet SAĞBAŞ	1	PNÖMATİK SÜSPANSİYONLU ROBOT SÜPÜRGE İÇİN DİNAMİK MODELLEME VE SİMÜLASYON ANALİZİ	PROF.DR ŞAHİN YILDIRIM Mekatronik Mühendisi, AYŞEGÜL ŞENGÜN
		2	EVALUATION of FIRE RISKS in PHOTOVOLTAIC SYSTEMS USING FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) AND HARDWARE-BASED FIRE PREVENTION APPROACHES	MİRAC HAVUŞ Prof. Dr. İLHAN CEYLAN
		3	IOT BASED MULTI-SENSOR WATER QUALITY MONITORING AND EDGE DECISION SUPPORT SYSTEM WITH FUZZY LOGIC	Yüksek Lisans Öğrencisi, Erdem KANDEMİR Prof.Dr., Mehmet SAĞBAŞ
		4	A HYBRID AUGMENTED LAGRANGIAN AND FMSG-BASED SOLUTION APPROACH FOR THE QUADRATIC ASSIGNMENT PROBLEM	İsmail GÖNÜLVEREN Dr. Öğr. Üyesi Erdener ÖZÇETİN
		5	PERDE-ÇERÇEVELİ BETONARME BİR YAPININ ARDIŞIK DEPREM DAVRANIŞININ DOĞRUSAL OLMAYAN ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ İLE İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, CEM PATLAR Doç. Dr., SARUHAN KARTAL
		6	2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİNDE YIKILAN BETONARME BİR BİNANIN GÖÇME NEDENLERİNİN ANALİZİ VE OPTİMUM GÜÇLENDİRME PERDESİ ORANININ PARAMETRİK OLARAK BELİRLENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, MUSTAFA ALPER ÖZÇAM Doç. Dr., SARUHAN KARTAL Prof. Dr., İLKER KALKAN
		7	INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CARBON MESH REINFORCEMENT ON THE FLEXURAL PERFORMANCE OF GEOPOLYMER CONCRETE BEAMS	Öğr. Gör. Serpil AĞIRMAN Yüksek Lisans Öğrencisi, Mehmet ERDOĞAN Doç. Dr. Barış BAYRAK Doç. Dr. Mahmut KILIÇ

No: 4

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING and MATHEMATICS July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Mehmet Safa BİNGÖL	1	COMPARATIVE ANALYSIS OF SEQUENTIAL RULE MINING ALGORITHMS: CMRules, RuleGrowth and ERMiner	Elif YILMAZ Prof. Dr. Turgay Tugay BİLGİN
		2	DATASET OF SEVEN FRUIT AND ONE VEGETABLE CLASSES CAPTURED FOR AGRICULTURAL AI APPLICATIONS	Edibe Eylül EMEN Mehmet Safa BİNGÖL Sertaç SAVAŞ
		3	MEYBEAT: DESIGN AND DEVELOPMENT OF A CLEAN ARCHITECTURE-BASED WEB PLATFORM FOR MUSIC BEAT MARKETPLACE	Eyüp OLGUN Melikenur KAYA Dr. Öğr. Üyesi Mehmet MİLLİ

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Dr. ECE OZAN	1	ENVIRONMENTAL FOCI OF THE GREEN GROWTH LITERATURE: A BIBLIOMETRIC READING OF CLIMATE CHANGE AND POLLUTION	Esra Taşdoğan Ferda Nakipoğlu Özsoy
		2	AN ANALYSIS OF THE PROBLEM OF UNEMPLOYED YOUTH AT HOME FROM THE PERSPECTIVE OF HUMAN RESOURCES MANAGEMENT STRATEGIES	Master Student, Sevgül DÖNMEZ Ass. Prof. Dr. Ahmet AYDIN
		3	TR-4 DOĞU MARMARA BÖLGESİ BİST ŞİRKETLERİNİN YATIRIMCI İLİŞKİLERİNDE STRATEJİK İLETİŞİM ARACI OLARAK LINKEDİN'İN ROLÜ	Dr. Sema ÇAĞLAYAN Arş. Gör. İrem KAYA Esra Önder
		4	YAPAY ZEKÂ VE DİJİTAL BANKACILIK	Alperen Yılmaz Songur Doç. Dr. Kamil ÇELİK
		5	FREIGHT FORWARDING ŞİRKETLERİNDE YAPAY ZEKA FARKINDALIĞI VE UYGULAMADAKİ ENGELLER: YÖNETİCİ PERSPEKTİFİNE DAYALI NİTEL BİR ARAŞTIRMA	Yüksek Lisans Öğrencisi ÖZGE DİNÇ Prof. Dr. GÖKÇE ÇİÇEK CEYHUN
		6	YARATICILIĞIN DÖNÜŞÜMÜ: ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA REKLAM AJANSLARI	Dr. ECE OZAN
		7	RELATIONSHIPS BETWEEN PERCEIVED SOCIAL MEDIA INFLUENCER CHARACTERISTICS AND CUSTOMER COMMITMENT TO PREFERRED BRANDS: A STUDY OF SOCIAL MEDIA USERS IN TÜRKİYE	Dr. Öğr. Üyesi Serhat ATA Hava Erdem
		8	THE ROLE OF PERSONALITY IN THE EFFECT OF FINFLUENCERS ON INDIVIDUALS' INVESTMENT INTENTIONS	Hava Erdem Dr. Öğr. Üyesi Serhat ATA

No: 3

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPORTS and HEALTH SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Putri Anggraini	1	ADVANCED PATIENT SAFETY PROTOCOLS AND ERROR REDUCTION STRATEGIES IN CRITICAL CARE NURSING PRACTICE IN QATAR	Prof. Dr. Agus Santoso Dewi Lestari
		2	THE ROLE OF CULTURAL COMPETENCE IN IMPROVING NURSE-PATIENT COMMUNICATION IN MULTINATIONAL HEALTHCARE SETTINGS IN QATAR	Rizky Pratama Siti Nurhaliza Assoc. Prof. Dr. Noor Al-Hajri Fatima Al-Mannai
		3	COMMUNITY HEALTH NURSING INTERVENTIONS FOR MATERNAL AND CHILD HEALTH IMPROVEMENT IN RURAL INDONESIA	Dr. Putri Anggraini
		4	IMPLEMENTATION OF E-HEALTH TECHNOLOGIES IN NURSING PRACTICE AND ITS IMPACT ON PATIENT CARE IN INDONESIA	Dr. Hichem Ben Salah Amira Gharbi Youssef Trabelsi Salma Karray
		5	NURSING STRATEGIES FOR CHRONIC DISEASE MANAGEMENT IN PRIMARY HEALTHCARE SETTINGS IN TUNISIA	Prof. Dr. Aisha Al-Thani Dr. Khalid Al-Kuwari Mariam Al-Sulaiti
		6	ASSESSMENT OF NURSE WORKLOAD AND BURNOUT IN PUBLIC HOSPITALS IN TUNISIA	Assoc. Prof. Dr. Mehdi Bouaziz Nadia Jaziri
		7	PATIENT EDUCATION AND SELF-CARE PROMOTION AMONG DIABETIC PATIENTS IN TUNISIAN CLINICAL SETTINGS	Dr. Rim Ben Youssef
			INFECTION CONTROL PRACTICES AND NURSING COMPLIANCE IN ALGERIAN HOSPITAL ENVIRONMENTS	Prof. Dr. Karim Bensalem Samira Touati Nabil Zerouki
			THE IMPACT OF CONTINUING NURSING EDUCATION ON CLINICAL PERFORMANCE IN ALGERIA	Dr. Yacine Ould Ahmed Fatima Belhadj
		8	EMERGENCY NURSING RESPONSE AND TRIAGE SYSTEM EFFECTIVENESS IN ALGERIAN URBAN HOSPITALS	Assoc. Prof. Dr. Nadia Cherif Omar Lahlou Karim Hadji

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPORTS and HEALTH SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Assis. Prof. Dr. Fahad Al-Mutairi	1	MATERNAL HEALTH OUTCOMES AND THE ROLE OF MIDWIFERY-LED CARE IN REDUCING PREGNANCY-RELATED COMPLICATIONS: A MULTICENTER EVALUATION	Dr. Ioana Marinescu Dr. Andrei Pop
		2	THE EFFECT OF PRENATAL EDUCATION PROGRAMS ON MATERNAL ANXIETY, BIRTH PREPAREDNESS, AND POSTPARTUM ADAPTATION AMONG PRIMIPAROUS WOMEN	Assoc. Prof. Dr. Cristina Ionescu Maria Radu Dr. Victor Georgescu Ana-Maria Pavel Florin Enache
		3	MIDWIVES' CONTRIBUTIONS TO IMPROVING BREASTFEEDING INITIATION AND EXCLUSIVE BREASTFEEDING RATES DURING THE FIRST SIX MONTHS OF INFANCY	Dr. Shqipe Berisha Valon Gashi Arta Hoxha
		4	ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF COMMUNITY-BASED MIDWIFERY SERVICES IN ENHANCING MATERNAL AND NEWBORN HEALTH IN RURAL POPULATIONS	Assis. Prof. Dr. Fitore Mehmeti Dr. Liridona Mustafa Erion Shala Teuta Rexhepi
		5	THE IMPACT OF CONTINUOUS LABOR SUPPORT PROVIDED BY MIDWIVES ON MATERNAL SATISFACTION AND BIRTH EXPERIENCES IN HOSPITAL SETTINGS	Assis. Prof. Dr. Fahad Al-Mutairi
		6	EXPLORING MIDWIVES' KNOWLEDGE AND PRACTICES REGARDING POSTPARTUM DEPRESSION SCREENING AND EARLY INTERVENTION STRATEGIES	Dr. Yousef Al-Awadi Hessa Al-Shammari Mariam Al-Fahad Salem Al-Otaibi
		7	DIGITAL HEALTH TECHNOLOGIES IN MIDWIFERY PRACTICE: OPPORTUNITIES FOR IMPROVING PRENATAL MONITORING AND PATIENT ENGAGEMENT	Dr. Zoltan Horvath Anna Kovacs Peter Toth

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPORTS and HEALTH SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 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. Nurlan Abdykadyrov Dr. Cholpon Ernekova	1	PHYSIOLOGICAL ADAPTATIONS TO HIGH-ALTITUDE TRAINING AMONG KYRGYZ ATHLETES	Dr. Haider Al-Maliki Ali Kareem Zainab Hassan
		2	THE ROLE OF TRADITIONAL SPORTS IN PROMOTING PHYSICAL ACTIVITY IN KYRGYZ YOUTH	Dr. Nurlan Abdykadyrov Dr. Cholpon Ernekova
		3	INJURY PREVENTION STRATEGIES IN PROFESSIONAL FOOTBALL PLAYERS IN IRAQ	Prof. Dr. Mustafa Al-Jubouri Sara Al-Rawi
		4	EFFECTS OF NUTRITIONAL PROGRAMS ON ATHLETIC PERFORMANCE IN IRAQI UNIVERSITY STUDENTS	Dr. Kamran Yousaf
		5	PSYCHOLOGICAL RESILIENCE AND PERFORMANCE UNDER PRESSURE IN PAKISTANI CRICKETERS	Assoc. Prof. Dr. Fahad Qureshi Imran Shah Dr. Ayesha Siddiqui Bilal Ahmed
		6	IMPACT OF STRENGTH AND CONDITIONING PROGRAMS ON YOUTH ATHLETES IN PAKISTAN	Prof. Dr. Bakyt Sadykov Aizada Toktonaliev Dr. Mirlan Asanov
		7	GENDER DIFFERENCES IN SPORTS PARTICIPATION AND MOTIVATION IN PAKISTANI UNIVERSITIES	Dr. Tesfaye Bekele Abel Tadesse Meseret Alemu
		8	ENDURANCE TRAINING AND CARDIOVASCULAR HEALTH AMONG LONG-DISTANCE RUNNERS IN ETHIOPIA	Prof. Dr. Saima Khalid Hina Javed Usman Tariq

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPORTS and HEALTH SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
3 Temmuz / July 3, 2026 / 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. Chao-Yu Lin	1	EPIDEMIOLOGICAL STUDY OF ZOO NOTIC DISEASE TRANSMISSION IN RURAL LIVESTOCK SYSTEMS IN AZERBAIJAN	Prof. Dr. Samira Ouazzani Omar Idrissi
		2	ADVANCES IN VETERINARY VACCINATION STRATEGIES FOR SHEEP AND GOAT DISEASES IN AZERBAIJAN	Dr. Nigar Karimli Farid Abbasov
		3	PARASITIC INFECTIONS IN CAMEL POPULATIONS AND THEIR IMPACT ON MOROCCAN DESERT AGRICULTURE	Dr. Youssef El Amrani Fatima Zahra Belkacem Hassan Laaroussi
		4	VETERINARY PUBLIC HEALTH APPROACHES TO RABIES CONTROL IN MOROCCAN URBAN AREAS	Prof. Dr. Rajiv Sharma Dr. Neha Verma Ankit Patel Ritu Singh
		5	CLINICAL MANAGEMENT OF BOVINE MASTITIS IN DAIRY FARMS ACROSS NORTHERN INDIA	Prof. Dr. Rashad Mammadov Dr. Aysel Huseynova Elvin Guliyev
		6	NUTRITIONAL STRATEGIES FOR IMPROVING POULTRY PRODUCTION AND IMMUNITY IN INDIAN FARMS	Assoc. Prof. Dr. Sandeep Kulkarni Priya Nair
		7	MOLECULAR DIAGNOSTICS OF FOOT-AND-MOUTH DISEASE VIRUS IN INDIAN CATTLE POPULATIONS	Dr. Arvind Menon Kavita Deshmukh Rahul Joshi
			APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN VETERINARY DIAGNOSTICS IN TAIWAN	Prof. Dr. Wei-Lun Chen Mei-Hsin Huang
		8	AQUATIC ANIMAL HEALTH MANAGEMENT AND DISEASE PREVENTION IN TAIWANESE AQUACULTURE SYSTEMS	Dr. Chao-Yu Lin Yu-Ting Wang

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPORTS and HEALTH SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Assoc. Prof. Dr. Melissa Chua	1	IMPACT OF URBAN AIR POLLUTION ON RESPIRATORY HEALTH OUTCOMES IN MAJOR KAZAKHSTANI CITIES	Prof. Dr. Aigerim Sadykova Dr. Yerlan Nurtayev Aruzhan Beketova
		2	DIGITAL HEALTHCARE SYSTEMS AND TELEMEDICINE ADOPTION IN RURAL KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Ruslan Zhaksylykov Dana Mukasheva
		3	MATERNAL AND CHILD HEALTH IMPROVEMENT PROGRAMS IN MOROCCAN RURAL COMMUNITIES	Dr. Salma El Idrissi Youssef Benali Karima Lahlou
		4	NUTRITIONAL TRANSITION AND ITS EFFECTS ON NON-COMMUNICABLE DISEASES IN MOROCCO	Prof. Dr. Hassan Amrani Fatima Zahra Ouali
		5	MENTAL HEALTH SERVICES ACCESSIBILITY AND STIGMA REDUCTION STRATEGIES IN IRANIAN SOCIETY	Dr. Leila Rahmani Ali Ghasemi Parisa Mohammadi
		6	EVALUATION OF PRIMARY HEALTHCARE REFORMS AND PATIENT SATISFACTION IN IRAN	Assoc. Prof. Dr. Hossein Karimi Sara Ebrahimi Navid Jafari Mehdi Shokri
		7	PREVALENCE AND MANAGEMENT OF DIABETES IN IRANIAN URBAN POPULATIONS	Mohammad Tavakoli Prof. Dr. Neda Ahmadi
		8	INNOVATIONS IN SMART HOSPITAL SYSTEMS AND PATIENT CARE TECHNOLOGIES IN SINGAPORE	Dr. Wei Liang Tan Rachel Lim Jason Ong Prof. Dr. Adrian Koh
		9	PUBLIC HEALTH SURVEILLANCE AND PANDEMIC PREPAREDNESS STRATEGIES IN SINGAPORE	Assoc. Prof. Dr. Melissa Chua

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPORTS and HEALTH SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
3 Temmuz / July 3, 2026 / 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. Yasmine Khaled	1	PHYSIOLOGICAL ADAPTATIONS TO HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING IN ROMANIAN ATHLETES	Prof. Dr. Andrei Popescu Dr. Elena Ionescu Mihai Georgescu Alexandru Dumitrescu
		2	SPORTS PSYCHOLOGY AND MOTIVATION FACTORS AMONG YOUTH FOOTBALL PLAYERS IN ROMANIA	Dr. Cristina Marinescu
		3	THE IMPACT OF NUTRITIONAL STRATEGIES ON ENDURANCE PERFORMANCE IN FILIPINO LONG-DISTANCE RUNNERS	Dr. Maria Santos Jose Ramirez Ana Villanueva Carlo Reyes
		4	INJURY PREVENTION METHODS IN UNIVERSITY BASKETBALL PROGRAMS IN THE PHILIPPINES	Prof. Dr. Ahmed El-Sayed Omar Hassan Dr. Salma Nabil
		5	BIOMECHANICAL ANALYSIS OF SPRINTER PERFORMANCE IN EGYPTIAN TRACK AND FIELD ATHLETES	Mahmoud Farouk Assoc. Prof. Dr. Hassan Ali
		6	ROLE OF HYDRATION AND ELECTROLYTE BALANCE IN ATHLETIC PERFORMANCE UNDER HOT CLIMATE CONDITIONS IN EGYPT	Prof. Dr. Ricardo Mendoza Liza Cruz
		7	THE EFFECTS OF STRENGTH TRAINING PROGRAMS ON MUSCLE DEVELOPMENT IN EGYPTIAN WEIGHTLIFTERS	Dr. Yasmine Khaled Karim Mostafa Nour Eldin Fathi
		8	ANALYSIS OF AEROBIC CAPACITY AND CARDIORESPIRATORY FITNESS IN IRANIAN PROFESSIONAL CYCLISTS	Prof. Dr. Reza Karimi Ali Hosseini

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING and MATHEMATICS July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
3 Temmuz / July 3, 2026 / 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. Parvin Shokri	1	ADVANCED CATALYTIC PROCESSES FOR HYDROCARBON REFINING IN KAZAKHSTAN ENERGY SECTOR	Assoc. Prof. Dr. Yerlan Zhumabayev Aruzhan Kairat Timur Abishev Dana Serikova
		2	SYNTHESIS OF NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION IN KAZAKHSTAN	Assis. Prof. Dr. Hassan El Idrissi Dr. Salma Bennani
		3	GREEN CHEMISTRY APPROACHES FOR PHOSPHATE INDUSTRY WASTE MANAGEMENT IN MOROCCO	Youssef Alami Dr. Nadia Tazi Karim El Fassi
		4	ELECTROCHEMICAL SENSOR DEVELOPMENT FOR HEAVY METAL DETECTION IN MOROCCAN WATER SYSTEMS	Prof. Dr. Aigerim Sadykova Nurlan Beketov Dr. Dias Tulegenov
		5	MOLECULAR DESIGN OF ORGANIC SEMICONDUCTORS FOR OPTOELECTRONIC APPLICATIONS IN IRAN	Prof. Dr. Reza Ghaffari Ali Hosseinzadeh Sahar Moradi
		6	PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF INDUSTRIAL DYES USING METAL OXIDE NANOPARTICLES IN IRAN	Dr. Parvin Shokri
		7	CHEMICAL KINETICS AND MECHANISMS OF CORROSION INHIBITION IN IRANIAN OIL PIPELINES	Assoc. Prof. Dr. Hossein Karimi Mehdi Rahbar Nima Ebrahimi Dr. Laleh Farzan
			DESIGN OF HIGH-PERFORMANCE LITHIUM-ION BATTERY MATERIALS FOR ENERGY STORAGE APPLICATIONS IN SINGAPORE	Prof. Dr. Wei Jun Tan Dr. Melissa Ong Jason Lim
		8	SYNTHETIC BIOCHEMISTRY APPROACHES FOR CARBON CAPTURE AND UTILIZATION TECHNOLOGIES IN SINGAPORE	Assoc. Prof. Dr. Adrian Koh Cheryl Teo

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING and MATHEMATICS July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Dr. Priyanka Iyer	1	ADVANCED NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR ENERGY STORAGE APPLICATIONS IN AZERBAIJANI RESEARCH LABORATORIES	Prof. Dr. Elchin Mammadov Aysel Guliyeva Dr. Tural Hasanov
		2	CORROSION RESISTANT ALLOY DEVELOPMENT FOR CASPIAN SEA OFFSHORE STRUCTURES	Assoc. Prof. Dr. Rauf Aliyev Nigar Ibrahimova
		3	SUSTAINABLE BUILDING MATERIALS USING NATURAL FIBERS IN MOROCCAN ECO-CONSTRUCTION	Dr. Youssef El Idrissi Fatima Zahra Bennani Khalid Amrani Samira El Fassi
		4	CERAMIC COMPOSITE MATERIALS FOR HIGH TEMPERATURE INDUSTRIAL APPLICATIONS IN	MOROCCO Prof. Dr. Hassan El Khatib Omar Boulahfa
		5	GRAPHENE-BASED COMPOSITES FOR FLEXIBLE ELECTRONICS IN INDIAN MATERIAL SCIENCE STUDIES	Assoc. Prof. Dr. Ananya Chatterjee Rahul Mehta Sneha Kapoor Dr. Vikram Desai
		6	BIODEGRADABLE POLYMER MATERIALS FOR MEDICAL IMPLANTS IN INDIAN BIOMATERIAL RESEARCH	Dr. Priyanka Iyer
		7	THERMAL BARRIER COATINGS FOR AEROSPACE APPLICATIONS IN INDIAN ENGINEERING SECTORS	Prof. Dr. Rajiv Kulkarni Arjun Singh
		8	SEMICONDUCTOR NANOMATERIALS FOR OPTOELECTRONIC DEVICES IN TAIWANESE TECHNOLOGY DEVELOPMENT	Prof. Dr. Wei-Lun Chen Mei-Hsin Huang Dr. Chao-Yang Lin
		9	ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS FOR SMART SENSORS IN TAIWAN INDUSTRIAL INNOVATION	Assoc. Prof. Dr. Yu-Ting Tsai Cheng-Hao Wu Liang-Feng Su Dr. Po-Han Liu

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING and MATHEMATICS July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Dr. Nursultan Imanov	1	SUSTAINABLE HYDROPOWER SYSTEM DESIGN AND OPTIMIZATION IN MOUNTAINOUS REGIONS OF KYRGYZSTAN	Prof. Dr. Imran Qureshi Dr. Sana Ullah Bilal Ahmed Ayesha Tariq
		2	SMART IRRIGATION ENGINEERING SOLUTIONS FOR AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT IN KYRGYZSTAN	Dr. Ahmed Al-Hadithi Zainab Kareem Prof. Dr. Mustafa Al-Jabiri
		3	STRUCTURAL ANALYSIS AND EARTHQUAKE-RESISTANT BUILDING DESIGN IN IRAQI URBAN AREAS	Ali Mahmoud Assoc. Prof. Dr. Hassan Al-Samarrai
		4	RENEWABLE ENERGY GRID INTEGRATION CHALLENGES IN IRAQ'S POWER INFRASTRUCTURE	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Toktonaliev Bekzat Uulu
		5	MACHINE LEARNING APPLICATIONS IN PREDICTIVE MAINTENANCE OF INDUSTRIAL SYSTEMS IN PAKISTAN	Dr. Farhan Malik Hira Aslam
		6	ADVANCED CONSTRUCTION MATERIALS FOR CLIMATE-RESILIENT INFRASTRUCTURE IN PAKISTAN	Prof. Dr. Azamat Turgunov Aibek Sadykov Dr. Nursultan Imanov
		7	DESIGN AND IMPLEMENTATION OF LOW-COST SOLAR ENERGY SYSTEMS IN RURAL PAKISTAN	Assoc. Prof. Dr. Kamran Shahid Usman Raza Fatima Noor
		8	WATER SUPPLY AND SANITATION ENGINEERING SOLUTIONS IN RURAL ETHIOPIAN COMMUNITIES	Prof. Dr. Tesfaye Bekele Abel Girma

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING and MATHEMATICS July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Assoc. Prof. Dr. Mourad Bensalem	1	ADVANCED COOLING SYSTEM DESIGN FOR HIGH-RISE BUILDINGS IN QATAR'S EXTREME CLIMATE CONDITIONS	Prof. Dr. Made Wirawan
		2	SMART INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT USING IOT FOR URBAN TRANSPORT SYSTEMS IN QATAR	Assoc. Prof. Dr. Nasser Al-Hajri Salem Al-Sulaiti Assoc. Prof. Dr. Hichem Ben Salah Amine Gharbi Dr. Salma Triki
		3	SUSTAINABLE BRIDGE ENGINEERING USING BAMBOO-BASED COMPOSITES IN INDONESIAN RURAL AREAS	Dr. Nyoman Santika
		4	EARTHQUAKE-RESISTANT STRUCTURAL DESIGN METHODS FOR INDONESIA'S SEISMIC REGIONS	Dr. Agus Prasetyo Rina Kuswandari Budi Hartono Siti Rahmawati
		5	RENEWABLE ENERGY SYSTEM INTEGRATION IN TUNISIAN INDUSTRIAL FACILITIES	Prof. Dr. Khalid Al-Thani Dr. Mariam Al-Kuwari Fahad Al-Marri
		6	WATER DESALINATION TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE IN TUNISIA	Dr. Youssef Kallel
		7	AI-BASED PREDICTIVE MAINTENANCE IN TUNISIAN MANUFACTURING SYSTEMS	Prof. Dr. Nabil Bouzidi Karim Jlassi Sonia Abid
		8	URBAN DRAINAGE SYSTEM OPTIMIZATION FOR FLOOD PREVENTION IN ALGERIAN CITIES	Assoc. Prof. Dr. Mourad Bensalem Nadia Toumi

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING and MATHEMATICS July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 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. Ioana Marinescu	1	SUSTAINABLE URBAN REGENERATION STRATEGIES IN POST-SOCIALIST ROMANIAN CITIES	Mihai Stan Elena Ionescu
		2	HERITAGE CONSERVATION APPROACHES IN TRANSYLVANIAN MEDIEVAL ARCHITECTURE	Assoc. Prof. Dr. Ioana Marinescu Radu Petrescu Prof. Dr. Andrei Popa
		3	CLIMATE-RESPONSIVE HOUSING DESIGN IN TROPICAL URBAN ENVIRONMENTS OF THE PHILIPPINES	Dr. Miguel Santos Angela Reyes Carlos Dela Cruz Maria Villanueva
		4	INTEGRATION OF INDIGENOUS ARCHITECTURAL PRINCIPLES IN MODERN FILIPINO PUBLIC BUILDINGS	Dr. Ahmed El-Gohary Fatma Hassan Omar Khaled
		5	PASSIVE COOLING TECHNIQUES IN TRADITIONAL EGYPTIAN DESERT ARCHITECTURE	Prof. Dr. Karim El-Sharif Dina Mostafa
		6	URBAN DENSITY AND HOUSING POLICIES IN GREATER CAIRO METROPOLITAN DEVELOPMENT	Assoc. Prof. Dr. Hany Abdelrahman Nour El-Sayed Mahmoud Farouk
		7	ADAPTIVE REUSE OF HISTORICAL BUILDINGS ALONG THE NILE WATERFRONT	Prof. Dr. Jose Ramirez Liza Bautista
		8	SMART CITY INFRASTRUCTURE AND ARCHITECTURAL INNOVATION IN CONTEMPORARY IRANIAN URBANISM	Dr. Reza Khosravi Leila Moradi Navid Ebrahimi
		9	SEISMIC-RESILIENT BUILDING DESIGN STRATEGIES IN IRANIAN EARTHQUAKE-PRONE REGIONS	Assoc. Prof. Dr. Farhad Jafari Sara Ahmadi

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	DR: GÜLTEKİN GÜRÇAY	1	Kültürel dil eğitimi ve kurumlar güncel eğilimler	Doç. Dr. Dilshoda MUBARAKOVA
		2	AN ANALYSIS OF THE LEARNING OUTCOMES OF THE 8TH GRADE SCIENCE CURRICULUM BASED ON THE REVISED BLOOM'S TAXONOMY	Dr. Caner ÇABUK
		3	SOSYAL MEDYADA GÖRÜNÜR ÇOCUKLUK: TÜRKİYE'DE ERKEN ÇOCUKLUK DÖNEMİNDE SHARENTİNG KONULU LİSANSÜSTÜ TEZLERİN İNCELENMESİ	Arş. Gör. İlayda GÖR Dr. Öğr. Üyesi Gamze BİLİR SEYHAN
		4	OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ ERKEN ÇOCUKLUK DÖNEMİ EDEBİYATI DERSİ SÜRECİNDEKİ YANSITICI DENEYİMLERİ	Dr. Gamze BİLİR-SEYHAN
		5	OKUL YÖNETİCİLERİNİN EĞİTİM YÖNETİMİNDE (SÜREÇLERİNDE) YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİNİN KULLANIMINA İLİŞKİN GÖRÜŞLERİ VE UYGULAMA ESASLARI	GONCA ATMACA Doç. Dr. Öğr. MEHMET DURNALI
		6	SINIF ÖĞRETMENİ ADAYLARININ GİRİŞİMCİLİK EĞİLİMLERİNİN BELİRLENMESİ: ÖĞRETMEN ÖZ-YETERLİĞİ, STEM-TPAB VE SOSYAL ENGELLER BAĞLAMINDA BİR İNCELEME	Yüksek Lisans Öğrencisi FEYZA ILICAN Doç. Dr. MUHAMMET ÖZDEMİR
		7	FEN EĞİTİMİNDE DİJİTALLEŞMEYE YÖNELİK ERASMUS+ ANA EYLEM 2 PROJELERİ: TÜRKİYE ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME	Doç.Dr.Sevda DOLAPÇIOĞLU Yüksek Lisans Öğrencisi, Murat TURKUT Doç.Dr.Münevver SUBAŞI ÇOLAK
		8	FEN BİLGİSİ EĞİTİMİNDE SOSYAL MEDYA: METAFORLAR ARACILIĞIYLA BİR ALGI ÇALIŞMASI	Yüksek Lisans Öğrencisi, Abdulkemir ERDEN Doç.Dr.Münevver SUBAŞI ÇOLAK

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Doç. Dr. Şule Betül TOSUNTAŞ	1	AN INTENSIVE HYBRID LANGUAGE PROFESSIONAL DEVELOPMENT PROGRAMME FOR UNIVERSITY TEACHERS SHIFTING TO ENGLISH- MEDIUM INSTRUCTION IN ALGERIA	Soumia Bentamra Souaad Snoussi Rafik El-Amine Ghoibrini
		2	BELEDİYE BÜNYESİNDEKİ OKUL ÖNCESİ EĞİTİM KURUMLARINDA ÖRTÜK PROGRAMIN TOPLUMSAL CİNSİYET EŞİTLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ: İZMİR ÖRNEĞİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Demet TUNÇ Doç. Dr. Öner USLU
		3	ÖĞRETMEN ADAYLARININ OKUMAYA YÖNELİK FOMO DÜZEYLERİNİN YORDANMASI; YAŞAM BOYU ÖĞRENME EĞİLİMİ, DİJİTAL YORGUNLUK VE SOSYAL MEDYA BAĞIMLILIĞININ ROLÜ	Yüksek Lisans Öğrencisi Gülşah ÇELİK Doç.Dr. Olcay ÖZDEMİR
		4	THE RELATIONSHIP BETWEEN ONLINE PRESENCE AND SOCIAL MEDIA ADDICTION	Doç. Dr. Şule Betül TOSUNTAŞ
		5	THE PREDICTIVE ROLES OF SOFALIZING, ONLINE DISINHIBITION, AND LONELINESS IN SOCIAL MEDIA ADDICTION	Doç. Dr. Şule Betül TOSUNTAŞ
		6	PERCEPTIONS OF THE ETHICAL TEACHER AT THE INTERSECTION OF TEACHING AND PARENTHOOD: A QUALITATIVE STUDY OF TEACHER-PARENTS	Doktora Öğrencisi Huzur KURT Prof. Dr. Engin ASLANARGUN
		7	SCHOOL PRINCIPALS' PERCEPTIONS OF TEACHER PROFESSIONAL ETHICS: CORE DIMENSIONS OF THE ETHICAL TEACHER	Doktora Öğrencisi Huzur KURT Prof. Dr. Engin ASLANARGUN

No: 1

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Doç.Dr. Mehmet Suiçmez	1	AI-DRIVEN JOURNALISM AND THE TRANSFORMATION OF NEWS PRODUCTION: JOURNALIST PERSPECTIVES FROM TÜRKİYE	Res. Asst. KAAAN ŞENTÜRK
		2	THE TRANSFORMATION OF FILM PRODUCTION STAGES WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE	Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahim YALÇIN
		3	GELENEKSEL SİNEMADAN DİJİTAL PLATFORMLARA İZLEYİCİ DENEYİMİNİN DÖNÜŞÜMÜ	Dr. Öğr. Üyesi SELİM BEYAZYÜZ
		4	YAPAY ZEKÂ YLA İLGİLİ HABER İÇERİKLERİNİN ULUSAL BASINDA SUNUMU	Doç.Dr. Mehmet Suiçmez
		5	SAĞLIK TURİZMİNDE DİL BARIYERİ	Ayten EROL Prof. Dr. Hakan KOÇ

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Dr., Cansu AYDOĞDU BOZDAĞ	1	KÜRESELLEŞME VE EKONOMİK KRİZLERİN İŞ HUKUKU ÜZERİNDEKİ YANSIMALARI	Öğr. Gör. Selçuk CENGİZ
		2	İŞVERENİN EKONOMİK GÜÇLÜĞÜ VE İŞÇİLERİN KORUNMASI: İŞ HUKUKU AÇISINDAN BİR DEĞERLENDİRME	Öğr. Gör. Selçuk CENGİZ
		3	12-15 YAŞ ARALIĞINDAKİ SUÇA SÜRÜKLENEN ÇOCUKLARDA KUSUR YETENEĞİNİN BELİRLENMESİ	Yunus SARUHAN
		4	BAŞKENT CARD AS A SOCIAL MUNICIPALISM PRACTICE: THE CASE OF ANKARA	Yüksek Lisans Öğrencisi JALE ETİ Doç.Dr., ASUMAN ÇUKUR
		5	POLITICAL ANTAGONISM IN THE OTTOMAN PRESS: REPRESENTATIONS OF THE COMMITTEE OF UNION AND PROGRESS BY HÜSEYİN CAHİT YALÇIN AND ALİ KEMAL	Öğr.Gör.Dr. İBRAHİM EMRE GÜNAY
		6	NUDGING AS AN ALTERNATIVE APPROACH TO TAX COMPLIANCE	Dr., Cansu AYDOĞDU BOZDAĞ

No: kh

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Öğretim Üyesi MUSTAFA KURT	1	COMPARATIVE ANALYSIS OF PARTICIPATION BANKING IN TURKEY AND SELECTED MUSLIM COUNTRIES: MALAYSIA, SAUDI ARABIA	NDEYE KHADY THIAM Doç. Dr. TUBA GÜLCEMAL
		2	TESTING THE VALIDITY OF OKUN'S LAW IN THE TURKISH ECONOMY: INSIGHTS FROM FOURIER-BASED ECONOMETRIC METHODS	Prof. Veli Yilanci Asst. Prof. M. Selman Saglam Asst. Prof. Merve Mert Saritas
		3	VALIDITY OF PURCHASING POWER PARITY IN VISTA COUNTRIES: A TIME-VARYING FOURIER ADF UNIT ROOT TEST APPROACH	Prof. Veli Yilanci Asst. Prof. Merve Mert Saritas Asst. Prof. M. Selman Saglam
		4	AB ÜLKELERİNDE EMEK VERGİLERİNDEKİ DEĞİŞİMİN DİNAMİKLERİ: ÇİFT EŞİKLİ PANEL REGRESYON ANALİZİ	Dr. Öğretim Üyesi MUSTAFA KURT
		5	SURİYE İÇ SAVAŞININ EKONOMİK SONUÇLARI VE YENİDEN İNŞA SÜRECİ	Hüseyin KAPTAN Doç. Dr. Pelin ALİYEYEV
		6	ULUSLARARASI İLİŞKİLERDE YUMUŞAK GÜÇ ARACI OLARAK KENTSEL DİPLOMASİ FAALİYETLERİ: GAZİANTEP ÖRNEĞİ	Aysu KAYA Doç. Dr. Pelin ALİYEYEV
		7	AVRUPA BİRLİĞİ'NİN SÜRDÜRÜLEBİLİR GELECEĞİNDE AVRUPA KİMLİĞİNİN İNŞASININ ROLÜ VE STRATEJİK ÖNEMİ	Phd. Student Burcu IŞIK

No : 5

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Doç. Dr. Dilek BAŞERER YILDIRIM Doç. Dr. Zeynep BAŞERER BERBER	1	AN EXAMINATION OF ADULTS' LOGICAL THINKING EXPERIENCES IN A PSYCHOSOCIAL CONTEXT	Doç. Dr. Dilek BAŞERER YILDIRIM Doç. Dr. Zeynep BAŞERER BERBER
		2	THE CONSTRUCTION OF DIGITAL LYNCH CULTURE ON SOCIAL MEDIA	Dr. Öğretim Üyesi, Ekin Bahar KAYA
		3	PISA 2022 TÜRKİYE'DE SOSYO-DUYGUSAL BECERİLERİN AĞ YAPISI: EGA VE BOOTSTRAP STABİLİTE BULGULARI	Psk. Dan. Alperen KÖKCÜ Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ALDEMİR
		4	KAYSERİ ÜNİVERSİTESİ ÖĞRENCİLERİNE YÖNELİK HAZIRLANAN DİJİTAL BAĞIMLILIKLA MÜCADELE EĞİTİM PROGRAMINA İLİŞKİN UYGULAMA ÖRNEKLERİ	Doç. Dr. Raziye PEKŞEN AKÇA Umay Büşra CELİLOĞLU Doç. Dr. Rukiye ARSLAN
		5	BAYBURT ÜNİVERSİTESİ ÖĞRENCİLERİNİN DUYGUSAL GELECEK KAYGISINA TOPLUMSAL CİNSİYET ROLLERİNİN VE SOSYAL MEDYANIN ETKİSİ	Dr. Öğr. Üyesi, ZEYNEP GÜNGÖR Lisans Öğrencisi, FADİME KURT
		6	A COMPARATIVE SYNTHESIS OF PROMINENT CRIMINOLOGICAL THEORIES: WHY DO INDIVIDUALS STOP COMMITTING CRIME?	Dr. Öğr. Üyesi, SADULLAH SEYİDOĞLU
		7	MADDE KULLANIM BOZUKLUĞU ÖYKÜSÜ OLAN BİREYLERDE KENDİ KENDİNE YARDIM STRATEJİLERİNİN VE UYKU ÖRÜNTÜLERİNİN İNCELENMESİ	Psikolog İrem KALAYCIKLI
		8	ABOUT GULAMHUSEYN SAID AND HIS CREATIVITY	Dr.doç.Mahmizer Hamid kızı Mehtibeyova

No: 4

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Doç. Dr. Abdolvahid Soofizadeh	1	RİBÂT-I ŞEREF KERVANSARAYI'NDA TUĞLA VE HORASAN HARCİ ETKİLEŞİMİNDE YÜZEY SÜSLEMESİ VE BİÇİMLENİŞİ	Doç. Dr. Abdolvahid Soofizadeh
		2	KUZEYDOĞU EGE VE TROAS PREHİSTORYASI ÇERÇEVESİNDE BİR İNCELEME	ELANUR ÖZMEK
		3	THE RETHINKING OF THE ABSOLUTE: FROM VICTORIAN IDEALISM TO LESLIE ARMOUR	Nermin HANAY
		4	12 ŞUBAT KURTULUŞ BAYRAMININ SOMUT OLMAYAN KÜLTÜREL MİRAS KAPSAMINDA İNCELENMESİ	Doç. Dr. Nadire KARADEMİR Çiğdem GÜRLER
		5	KAHRAMANMARAŞ SANAYİ COĞRAFYASINDA DEĞİŞEN DİNAMİKLER: GEÇMİŞ, BUGÜN VE GELECEK PROJEKSİYONLARI	Doç. Dr. Nadire KARADEMİR Çiğdem GÜRLER

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Dr. Ahmet SABAN	1	AN EVALUATION OF THE METHODS FOR THE TRANSFER OF INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS TO THIRD PARTIES UNDER ISLAMIC LAW	Dr. Ahmet SABAN
		2	THE LEGITIMACY, HISTORICAL EVOLUTION, AND JURIDICAL NATURE OF THE AQILA INSTITUTION IN ISLAMIC CRIMINAL LAW	Dr. Ahmet SABAN
		3	WAQF IN THE SCIENCE OF AL ILM AL QIRAAT: A COMPARISON OF SAJÂWANDÎ AND HUZALÎ	Prof. Dr. Ömer ÖZBEK Yasemin BAŞKIR
		4	EL-HİDÂYE İLÂ BULÛĞİ'N-NİHÂYE TEFSİRİNE GENEL BAKIŞ	Dr. Sinan TUNÇ
		5	QASIM B. QUTLUBUGHA'S APPROACH TO INTRA-MADHHAB PREFERENCE	Mustafa Aydın
		6	THE RELATIONSHIP BETWEEN FAİTH AND DEEDS ACCORDING TO IMAM ABU HANİFA AND ITS CONNECTION WITH THE DOCTRİNE OF IRJA	Mustafa Aydın

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Dr. Öğr. Üyesi AYŞENUR KANDEMİR	1	TARİHİ İÇ MEKÂN FOTOĞRAFLARININ YAPAY ZEKÂ İLE RENKLENDİRİLMESİNDE TEMSİL, DOĞRULUK VE GÖRSEL SAPMALAR: MİMARLIK DERGİSİ ARŞİVLERİ ÜZERİNDEN KARŞILAŞTIRMALI BİR DENEME	Dr. Öğr. Üyesi AYŞENUR KANDEMİR
		2	MODERN VE ÇAĞDAŞ RESİM SANATINDA DENEYSEL MALZEME KULLANIMI: KURT SCHWİTTERS'TAN ANSELM KİEFER'E	Dr. Ece Pınar
		3	BURSA YÖRESEL KADIN KIYAFETLERİNDE KIRMIZI VE SİYAH RENKLERİNİN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, ZEHRA İŞBİLİR
		4	AN EXAMINATION OF THE ARABIC ROOT-PATTERN SYSTEM IN TERMS OF THE MENTAL LEXION	Dr. Öğretim Üyesi, YELİZ ÇİÇEK

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Lecturer Dr., Mehmet Asif ALAN	1	YAPAY ZEKÂ TABANLI SOSYAL MEDYA PAZARLAMASININ TÜKETİCİ SATIN ALMA NİYETİNE ETKİSİ	Öğr. Gör. CEMİLE İŞLEYEN Dr. Öğr. Üyesi, MURAT EMEÇ
		2	KÜRESEL BULANIK AHP YÖNTEMİ İLE ÜÇÜNCÜ PARTİ LOJİSTİK FİRMALARININ YEŞİL PERFORMANS KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi MERVE SEVİNÇ İNAN Dr. Öğr.Üyesi ESRA AYDIN ÜNAL
		3	THE USE OF ANIMAL FIGURES IN BRAND IMAGE FROM A BIOMATRIC MARKETING PERSPECTIVE: AN EXAMINATION OF THE MASCOTS AND SYMBOLS OF TURKEY'S SUPER LEAGUE CHAMPION CLUBS	Lecturer Dr. Mehmet Asif ALAN Dr. Lecturer, Ali KÖROĞLU
		4	A CONCEPTUAL OVERVIEW FROM MASS PERSONALIZATION TO HYPERPERSONALIZATION IN THE READY-TO-WEAR INDUSTRY DURING THE MARKETING 6.0 ERA	Lecturer Dr., Mehmet Asif ALAN
		5	TWIN TRANSFORMATION AND CENTURY-OLD BUSINESSES	Prof.Dr. MEHMET ERYILMAZ ORKUN YILMAZ ŞEYMA ÖZER ŞEN
		6	PERFORMANCE COMPARISON OF DIFFERENT ANN ARCHITECTURES TRAINED WITH PARTICLE SWARM OPTIMIZATION IN AIR TRAFFIC FORECASTING: THE CASE OF TURKEY	MÜZEYYEN MELİS AKKAN Dr. Assist. Prof. MEVLÜT ÜZÜLMEZ

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Salwa Jasim	1	COGNITIVE CONTROL MECHANISMS AND DECISION-MAKING PROCESSES IN ADOLESCENT BRAIN DEVELOPMENT	Dr. Sari Wulandari Rizky Mahendra
		2	THE ROLE OF EMOTIONAL REGULATION IN ACADEMIC STRESS MANAGEMENT AMONG UNIVERSITY STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. Dimas Saputra Nadia Putri Prof. Dr. Aditya Pranata Assoc. Prof. Dr. Vikram Sood
		3	CROSS-CULTURAL STUDIES OF SOCIAL ANXIETY AND INTERPERSONAL COMMUNICATION PATTERNS IN INDIAN YOUTH POPULATIONS	Dr. Priya Nair Prof. Dr. Arjun Mehta
		4	PSYCHOLOGICAL IMPACT OF DIGITAL ADDICTION AND SOCIAL MEDIA USE ON COGNITIVE PERFORMANCE IN ADOLESCENTS	Dr. Kavita Sharma Rohit Verma
		5	TRAUMA EXPOSURE AND RESILIENCE DEVELOPMENT AMONG POST-CONFLICT POPULATIONS IN IRAQ	Prof. Dr. Ali Hassan Al-Mahdi Dr. Zainab Kareem Hussein Abbas
		6	THE EFFECTS OF FAMILY STRUCTURE ON CHILD PSYCHOLOGICAL WELL-BEING IN URBAN AND RURAL IRAQ	Dr. Salwa Jasim
		7	NEUROPSYCHOLOGICAL CORRELATES OF ANXIETY DISORDERS IN ADOLESCENTS ACROSS IRANIAN POPULATIONS	Assoc. Prof. Dr. Omar Nasser Prof. Dr. Mohammad Reza Hosseini Dr. Leila Moradi Dr. Farid Kazemi
		8	THE ROLE OF CULTURAL BELIEFS IN SHAPING MENTAL HEALTH ATTITUDES AND HELP-SEEKING BEHAVIOR IN IRAN	Assoc. Prof. Dr. Zahra Karimi Nima Rezaei

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Dr. Mireille Lawson	1	DIGITAL BANKING TRANSFORMATION AND FINTECH ADOPTION IMPACT ON INDONESIAN ECONOMIC GROWTH STRUCTURE	Assoc. Prof. Dr. Budi Santoso Maya Kartika
		2	FISCAL DECENTRALIZATION AND PUBLIC SECTOR EFFICIENCY IN WEST AFRICAN DEVELOPING ECONOMIES	Prof. Dr. Kossi Mensah Dr. Afi Adjei Kofi Mensah
		3	AGRICULTURAL PRODUCTIVITY AND RURAL DEVELOPMENT POLICIES IN TOGO: ECONOMIC SUSTAINABILITY PERSPECTIVES	Dr. Mireille Lawson
		4	RESOURCE DEPENDENCY AND ECONOMIC VOLATILITY IN BOLIVIA: A COMPARATIVE MACROECONOMIC ANALYSIS	Prof. Dr. Carlos Rojas Dr. Elena Quispe Luis Fernando Mamani Assoc. Prof. Dr. Komlan Agbodan
		5	INFORMAL ECONOMY STRUCTURES AND LABOR MARKET DYNAMICS IN BOLIVIAN URBAN CENTERS	Assoc. Prof. Dr. Jorge Villarroel Dr. Maria Fernandez
		6	TRADE CORRIDORS AND ECONOMIC GROWTH UNDER CPEC FRAMEWORK IN PAKISTAN	Prof. Dr. Imran Siddiqui Dr. Ayesha Khan Muhammad Bilal
		7	INFLATION TARGETING AND CENTRAL BANK INDEPENDENCE IN PAKISTAN'S MACROECONOMIC STABILITY	Assoc. Prof. Dr. Saad Qureshi Dr. Hina Malik
		8	DIGITAL ECONOMY EXPANSION AND E-COMMERCE GROWTH IMPACT ON PAKISTAN'S YOUTH EMPLOYMENT STRUCTURE	Dr. Usman Tariq Prof. Dr. Farhan Ali Assoc. Prof. Dr. Nida Ahmed
		9	THE ROLE OF EMOTIONAL REGULATION AND MINDFULNESS IN REDUCING ACADEMIC ANXIETY AMONG UNIVERSITY STUDENTS IN DIGITAL LEARNING ENVIRONMENTS	Assoc. Prof. Dr. Nguyễn Minh Hoàng Dr. Lê Thị Hạnh Trần Quang Duy
		10	SOCIAL MEDIA ADDICTION AND SELF-ESTEEM DYNAMICS IN EMERGING ADULTHOOD: A COGNITIVE-BEHAVIORAL PERSPECTIVE	Dr. Phạm Anh Tuấn Assoc. Prof. Dr. Bùi Ngọc Lan

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Dr. Vo Anh Kiet	1	DIGITAL TRANSFORMATION AND CULTURAL MEMORY PRESERVATION IN BALTIC ANTHROPOLOGICAL COMMUNITIES	Dr. Eglė Jankauskaitė Prof. Dr. Mantas Petrauskas
		2	RITUAL PRACTICES AND POST-SOVIET IDENTITY RECONSTRUCTION IN LITHUANIAN RURAL SOCIETIES	Assoc. Prof. Dr. Ieva Žukauskienė Dr. Tomas Kavaliauskas Asta Vaitkutė
		3	ETHNOGRAPHIC STUDY OF URBAN MIGRATION PATTERNS AND FAMILY STRUCTURE CHANGES IN MEKONG DELTA	Prof. Dr. Nguyen Thanh Minh Dr. Le Hoang An Assoc. Prof. Dr. Pham Quoc Dung Tran Thi Mai
		4	TRADITIONAL HEALING PRACTICES AND BIOMEDICAL INTEGRATION IN CENTRAL VIETNAM HIGHLAND COMMUNITIES	Dr. Vo Anh Kiet Assoc. Prof. Dr. Bui Thi Hong Nguyen Van Loc
		5	SOCIOLINGUISTIC TRANSFORMATIONS AND AMAZIGH IDENTITY IN NORTH AFRICAN URBAN SETTINGS	Prof. Dr. Ahmed Benyahia Dr. Yasmine Khelifi Assoc. Prof. Dr. Rachid Boudjemaa
		6	PASTORAL NOMADISM AND CLIMATE ADAPTATION STRATEGIES IN SAHARA BORDERLAND COMMUNITIES	Dr. Samir Belkacem Prof. Dr. Lila Gharbi
		7	POST-MIGRATION CULTURAL HYBRIDITY AND DIASPORA NETWORKS IN BALKAN ANTHROPOLOGY	Dr. Elira Dervishi Assoc. Prof. Dr. Arben Kola Prof. Dr. Mira Hoxha
		8	FAMILY STRUCTURE TRANSFORMATION AND GENDER ROLES IN CONTEMPORARY ALBANIAN SOCIETY	Dr. Besnik Leka Arta Nika Assoc. Prof. Dr. Ilir Meta
		9	COGNITIVE FLEXIBILITY AND EXECUTIVE FUNCTIONING IN ADOLESCENT POPULATIONS: A CROSS-CULTURAL NEUROPSYCHOLOGICAL ANALYSIS	Prof. Dr. Eglė Jankauskaitė Dr. Tomas Vaitkus
		10	TRAUMA EXPOSURE AND RESILIENCE DEVELOPMENT IN EARLY ADULTHOOD: PSYCHODYNAMIC AND BEHAVIORAL INTEGRATION MODEL	Dr. Rūta Kazlauskienė

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Dr. El Hadj Ba	1	DIGITAL ETHNOGRAPHY OF YOUTH IDENTITY FORMATION IN LITHUANIAN URBAN SUBCULTURES AND ONLINE SPACES	Assoc. Prof. Dr. Dainius Stankus Aistė Malinauskaitė Tomas Žilinskas
		2	ETHNOGRAPHIC ANALYSIS OF NOMADIC HERITAGE AND MODERNIZATION IMPACTS ON PASTORAL COMMUNITIES IN CENTRAL KAZAKHSTAN	Dr. Ayanbek Nurmaganbetov Zarina Sadvakassova Bekzat Toleubay Aruzhan Kassenova
		3	CULTURAL TRANSFORMATION AND ETHNOGRAPHIC PERSPECTIVES ON URBAN MIGRATION PATTERNS IN SOUTHERN KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Gulnar Akhmetova Nursultan Yermekov Madina Suleimen
		4	ETHNOGRAPHIC STUDY OF BEDOUIN SOCIAL STRUCTURES AND TRADITIONAL AUTHORITY SYSTEMS IN NORTHERN JORDAN	Prof. Dr. Omar Al-Khatib Leila Al-Masri Youssef Haddad
		5	DIGITAL TRANSITION AND ETHNOGRAPHIC INSIGHTS INTO YOUTH CULTURE AND SOCIAL MEDIA USAGE IN AMMAN COMMUNITIES	Dr. Rana Abu Khalil Hassan Al-Farouq Maya Nasser Omar Al-Rashid
		6	ETHNOGRAPHIC EXPLORATION OF SAHARA DESERT COMMUNITIES AND ORAL TRADITION PRESERVATION IN MAURITANIA	Prof. Dr. Mohamed El Hacén Aminata Ould Sidi Cheikh Ahmed Baba Fatimata Mint Abdallah
		7	CULTURAL IDENTITY, ISLAMIC TRADITIONS, AND ETHNOGRAPHIC FIELDWORK AMONG RURAL MAURITANIAN COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Ahmedou Ould Mohamed Sidi Mohamed Ould Yahya Khadijetou Mint Ely
		8	ETHNOGRAPHIC STUDY OF FISHING COMMUNITIES AND COASTAL LIVELIHOODS ALONG THE MAURITANIAN ATLANTIC SHORE	Dr. El Hadj Ba Moussa Sy Aissatou Mint Cheikh Samba Ould Ndiaye

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Assoc. Prof. Dr. Youssef Haddad	1	CONTEMPORARY DIGITAL RITUALS AND IDENTITY CONSTRUCTION IN URBAN COMMUNITIES: AN ETHNOGRAPHIC ANALYSIS OF TRANSFORMING SYMBOLIC PRACTICES	Prof. Dr. Eglė Jankauskaitė Dr. Tomas Petrauskas Rūta Žilinskiienė
		2	BIOCULTURAL ADAPTATION STRATEGIES AND CLIMATE CHANGE RESILIENCE AMONG COASTAL POPULATIONS IN THE BALTIC REGION	Assoc. Prof. Dr. Jonas Kavaliauskas Aistė Meškaitė Mantas Vaitiekus
		3	POST-INDUSTRIAL MEMORY AND COLLECTIVE TRAUMA IN JAPANESE URBAN LANDSCAPES: AN ANTHROPOLOGICAL PERSPECTIVE ON SPACE AND REMEMBRANCE	Prof. Dr. Hiroshi Tanaka Dr. Yuki Nakamura Assoc. Prof. Dr. Kenji Sato Emi Watanabe
		4	THE ROLE OF RITUAL PERFORMANCE IN SHAPING SOCIAL HIERARCHIES IN CONTEMPORARY JAPANESE RURAL COMMUNITIES	Dr. Keiko Fujimori Takumi Hayashi
		5	DIGITAL NOMADISM AND CULTURAL HYBRIDITY: AN ETHNOGRAPHIC STUDY OF TRANSNATIONAL WORKERS IN AMMAN	Prof. Dr. Ahmad Al-Khatib Dr. Lina Al-Masri Omar Nasser
		6	TRADITIONAL HERBAL KNOWLEDGE AND MODERN MEDICAL PRACTICES: ANTHROPOLOGICAL INSIGHTS FROM BEDOUIN COMMUNITIES IN SOUTHERN JORDAN	Assoc. Prof. Dr. Youssef Haddad Dr. Salma Al-Rashid
		7	INDIGENOUS IDENTITY AND TECHNOLOGICAL MODERNIZATION AMONG THE AMIS PEOPLE: CULTURAL TRANSFORMATION IN EASTERN TAIWAN	Prof. Dr. Ming-Chen Lin Dr. Hsiao-Yu Chen

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Assoc. Prof. Dr. Marzhan Iskakova	1	DIGITAL TRANSFORMATION AND INNOVATIVE LEARNING STRATEGIES IN MODERN HIGHER EDUCATION	Prof. Dr. Jonas Petraitis Aistė Kazlauskienė
		2	INCLUSIVE EDUCATION PRACTICES AND STUDENT ENGAGEMENT IN MULTICULTURAL CLASSROOMS	Dr. Eglė Jankauskaitė Assoc. Prof. Dr. Mantas Vaitkus Laura Petrauskaitė
		3	TEACHER TRAINING CHALLENGES AND CURRICULUM DEVELOPMENT IN POST-CONFLICT EDUCATION SYSTEMS	Prof. Dr. Ahmed El-Mahdi Salma Al-Khatib Dr. Omar Farouk
		4	DIGITAL LITERACY AND EDUCATIONAL REFORM STRATEGIES IN SECONDARY SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Noura Ben Ali Hassan Al-Masri Dr. Lina Aboud
		5	ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN PERSONALIZED LEARNING ENVIRONMENTS	Dr. Aigerim Sadykova Prof. Dr. Yerlan Nurgaliyev Dana Tleubayeva
		6	HIGHER EDUCATION QUALITY ASSURANCE AND STUDENT PERFORMANCE EVALUATION MODELS	Assoc. Prof. Dr. Marzhan Iskakova Dr. Timur Akhmetov
		7	AI-ENHANCED LANGUAGE LEARNING AND DIGITAL PEDAGOGY TRANSFORMATION	Prof. Dr. Wei-Lun Chen Dr. Hsin-Yi Lin Mei-Ju Huang
		8	SUSTAINABLE EDUCATION POLICIES AND TECHNOLOGY-DRIVEN CLASSROOM INNOVATION	Assoc. Prof. Dr. Chih-Cheng Wang Prof. Dr. Shu-Fang Lee Dr. Yuting Huang
		9	EMERGING TRENDS IN EDUCATIONAL DATA ANALYTICS AND LEARNING OUTCOME OPTIMIZATION	Dr. Po-Han Liu Assoc. Prof. Dr. Yi-Chen Kuo Hao-Wei Chang

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Assoc. Prof. Dr. Mariam Al-Zawiya	1	PUBLIC SERVICE DIGITAL TRANSFORMATION AND CITIZEN-CENTERED GOVERNANCE MODELS IN THE BAL TIC REGION: A COMPARATIVE ANALYSIS OF E-GOVERNMENT EFFICIENCY AND TRUST FORMATION	Dr. Rūta Jankauskaitė Assoc. Prof. Dr. Mantas Petrauskas Prof. Dr. Eglė Šimaitė
		2	PUBLIC SECTOR INNOVATION AND TRANSPARENCY MECHANISMS IN LOCAL ADMINISTRATIONS: IMPACT OF DATA-DRIVEN POLICY MAKING ON ADMINISTRATIVE PERFORMANCE	Dr. Tomas Vaitiekūnas Assoc. Prof. Dr. Lina Kazlauskienė
		3	PUBLIC ADMINISTRATION REFORM AND POST-CONFLICT GOVERNANCE STRUCTURES: CHALLENGES OF INSTITUTIONAL CAPACITY BUILDING IN NORTH AFRICA	Prof. Dr. Salim Al-Maghrebi Dr. Aisha El-Fitouri Assoc. Prof. Dr. Omar Ben Khaled Dr. Huda Al-Senussi
		4	E-GOVERNMENT IMPLEMENTATION AND DIGITAL SERVICE DELIVERY IN MUNICIPAL GOVERNANCE: EVALUATING ADMINISTRATIVE EFFICIENCY IN EMERGING STATES	Dr. Khaled Al-Din Assoc. Prof. Dr. Mariam Al-Zawiya
		5	STRATEGIC HUMAN RESOURCE MANAGEMENT IN PUBLIC SECTOR ORGANIZATIONS: PERFORMANCE-ORIENTED REFORMS AND POLICY SUSTAINABILITY IN CENTRAL ASIA	Prof. Dr. Ayanbek Sarsembayev Dr. Gulnara Tulegenova Assoc. Prof. Dr. Marat Kassenov
		6	PUBLIC POLICY DESIGN AND REGULATORY GOVERNANCE IN RESOURCE-BASED ECONOMIES: ANALYZING INSTITUTIONAL ADAPTATION AND ECONOMIC RESILIENCE	Dr. Yerzhan Mukashev Assoc. Prof. Dr. Aigul Nursultanova
		7	SMART CITY DEVELOPMENT AND DIGITAL GOVERNANCE TRANSFORMATION IN EAST ASIA: INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO PUBLIC SERVICE DELIVERY	Prof. Dr. Wei-Chen Lin Dr. Hsin-Yu Chen Assoc. Prof. Dr. Chih-Ming Huang Dr. Pei-Ling Tsai
		8	CRISIS MANAGEMENT AND DISASTER GOVERNANCE IN COASTAL METROPOLITAN AREAS: ENHANCING PUBLIC SECTOR RESPONSE CAPACITY THROUGH TECHNOLOGICAL INTEGRATION	Assoc. Prof. Dr. Yu-Ting Wang Dr. Chao-Lin Hsu

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Prof. Dr. Elnur Mammadov	1	CLIMATE-INDUCED MIGRATION PATTERNS AND COASTAL COMMUNITY RESILIENCE IN BANGLADESH DELTAS	Prof. Dr. Rahman Chowdhury Dr. Fatima Akter Shamim Reza Nayeem Hasan
		2	URBAN POOR HOUSING STRATEGIES AND SOCIAL MOBILITY IN DHAKA SLUM SETTLEMENTS	Assoc. Prof. Dr. Khaled Islam Mitu Begum Arif Hossain
		3	NOMADIC PASTORALIST ADAPTATIONS TO MODERNIZATION IN IRANIAN ZAGROS MOUNTAINS	Dr. Reza Mohammadi Soraya Karimi Ali Jafari
		4	GENDER ROLES EVOLUTION IN CONTEMPORARY TEHRANI URBAN FAMILIES	Prof. Dr. Hassan Tavakoli Fatemeh Ahmadi Leila Hosseini
		5	MULTICULTURAL IDENTITY NEGOTIATION AMONG MIGRANT WORKERS IN SINGAPORE'S DORMITORIES	Assoc. Prof. Dr. Wei Ling Dr. Amir Singh Mei Chen
		6	URBAN RITUALS AND SOCIAL COHESION IN SINGAPORE'S HAWKER CENTRE CULTURE	Dr. Rajesh Kumar Siti Nurhaliza Lim Wei Jie
		7	ETHNIC MINORITY INTEGRATION CHALLENGES IN BAKU'S MULTICULTURAL NEIGHBORHOODS	Prof. Dr. Elnur Mammadov Dr. Aysel Karimova Farid Huseynov Nigar Aliyeva
		8	POST-SOVIET RURAL TRADITIONS PRESERVATION AMONG AZERBAIJANI VILLAGE COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Leyla Hasanova Elvin Gurbanov Kamran Abbasov

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Prof. Dr. Lounes Hadji	1	FISCAL DECENTRALIZATION IMPACTS ON LOCAL GOVERNMENT EFFICIENCY IN HUNGARIAN RURAL MUNICIPALITIES	Prof. Dr. István Kovács Dr. Anna Szilágyi Márton Balogh
		2	DIGITAL GOVERNANCE TRANSFORMATION STRATEGIES FOR BUDAPEST PUBLIC ADMINISTRATION	Assoc. Prof. Dr. Gábor Nagy Dr. Eszter Kovács
		3	PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP MODELS FOR ALGERIAN INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT	Dr. Karim Belkacem Nadia Zerhouni Yassine Amrani Samia Haddad
		4	ECONOMIC DIVERSIFICATION POLICIES BEYOND HYDROCARBONS IN ALGERIAN REGIONAL ECONOMIES	Prof. Dr. Lounes Hadji
		5	MALAYSIAN HALAL INDUSTRY CERTIFICATION FRAMEWORKS AND GLOBAL MARKET EXPANSION	Assoc. Prof. Dr. Amina Rahman Dr. Faisal Ismail Siti Nurhaliza
		6	SUSTAINABLE PALM OIL SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN MALAYSIAN AGRO-INDUSTRIAL SECTORS	Zulkifli Ahmad Prof. Dr. Mei Ling Tan
		7	PUBLIC ADMINISTRATION REFORMS FOR EU INTEGRATION IN KOSOVO MUNICIPAL GOVERNMENTS	Dr. Arben Hoxha Liridon Selmani
		8	FOREIGN DIRECT INVESTMENT ATTRACTION STRATEGIES IN KOSOVO EMERGING MARKETS	Assoc. Prof. Dr. Valbona Selimi Emir Hoxhaj Blerta Gashi

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Dr. Jose Padilla	1	ORAL TRADITIONS AND IDENTITY FORMATION AMONG ETHIOPIAN HIGHLAND COMMUNITIES	Prof. Dr. Tadesse Alemu Yonas Berhanu
		2	FOLKLORE SYMBOLISM IN ETHIOPIAN COFFEE CEREMONIES AND SOCIAL RITUALS	Dr. Selamawit Kebede Assoc. Prof. Dr. Dawit Fikru Meron Assefa Elias Tadesse Maria Theresa Cruz
		3	MYTHICAL CREATURES IN PHILIPPINE INDIGENOUS ANIMATION AND CONTEMPORARY STORYTELLING	Assis. Prof. Dr. Luningning Ramos
		4	PRE-COLONIAL EPIC NARRATIVES PRESERVATION THROUGH DIGITAL ARCHIVING IN THE PHILIPPINES	Dr. Jose Padilla Ronaldo Santos Liza Mendoza Elena Vargas
		5	CENTRAL ASIAN SHAMANISTIC MOTIFS IN KAZAKH ORAL EPICS AND MODERN LITERATURE	Assoc. Prof. Dr. Aigerim Nurpeissova Yerzhan Bekzatov
		6	NOMADIC FOLK TALES AND ECOLOGICAL WISDOM IN KAZAKHSTANI STEPPE CULTURE	Dr. Gulnara Tolegenova Nursultan Abildayev Dr. Aidana Sarsen
		7	ALBANIAN BALLAD TRADITIONS AND NATIONAL IDENTITY FORMATION IN KOSOVO	Prof. Dr. Ardian Klosi Prof. Dr. Vesa Maxhuni
		8	WOMEN'S VOICES IN KOSOVAR FOLK SONGS AND GENDER REPRESENTATIONS	Liridon Sinani Besa Gashi Flamur Rexhepi

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	Assoc. Prof. Dr. Moncef Ben Salem	1	AFRICAN UBUNTU PHILOSOPHY AND CONTEMPORARY GLOBAL ETHICS IN POST-COLONIAL CONTEXTS	Prof. Dr. Juma Kibwana Fatuma Ngosi Elias Mponda
		2	EXISTENTIAL CHALLENGES OF CLIMATE JUSTICE THROUGH TANZANIAN INDIGENOUS WORLDVIEWS	Assoc. Prof. Dr. Zawadi Mushi Dr. Kondo Selemani Assis. Prof. Asha Ramadhani
		3	FILIPINO SPIRITUALITY AND PHENOMENOLOGICAL INTERPRETATIONS OF SUFFERING	Dr. Maria Santos Prof. Dr. Jose Rizalino Luz Fernandez
		4	POSTCOLONIAL EPISTEMOLOGY AND KNOWLEDGE PRODUCTION IN PHILIPPINE ACADEMIC DISCOURSE	Assoc. Prof. Dr. Antonio Cruz Elena Vargas
		5	ARABIC LOGIC TRADITIONS AND THEIR INFLUENCE ON CONTEMPORARY ANALYTIC PHILOSOPHY	Prof. Dr. Ahmed Al-Samarrai Layla Hassan Karim Nassar
		6	EXISTENTIALISM IN IRAQI LITERATURE UNDER AUTHORITARIAN REGIMES	Dr. Fatima Zahra Omar Khalid
		7	ISLAMIC PHILOSOPHY OF SCIENCE AND MODERN QUANTUM MECHANICS RECONCILIATION	Assis. Prof. Dr. Mustafa Al-Jabiri Sana Ibrahim
		8	TUNISIAN POST-REVOLUTIONARY POLITICAL PHILOSOPHY AND DEMOCRATIC TRANSITIONS	Prof. Dr. Hedi Ben Abbes Nadia Cherif Youssef Lamine
		9	EXISTENTIAL FREEDOM CONCEPTS IN ARABIC LITERATURE AND CONTEMPORARY EXISTENTIALISM	Assoc. Prof. Dr. Moncef Ben Salem
		10		

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	Dr. Nursultan Abayev	1	FISCAL POLICY RESPONSES TO CLIMATE CHANGE IMPACTS ON PAKISTANI AGRICULTURE	Ahmed Zubair Sana Malik Bilal Rehman
		2	REMITTANCE FLOWS AND THEIR ROLE IN PAKISTANI HOUSEHOLD CONSUMPTION PATTERNS	Hina Gul Assoc. Prof. Dr. Fatima Noor Dr. Omar Siddiqui
		3	EGYPTIAN TOURISM SECTOR RECOVERY STRATEGIES POST-PANDEMIC ECONOMIC SHOCKS	Dr. Karim El-Sayed Nadia Mahmoud Mohamed Salem
		4	FOREIGN DIRECT INVESTMENT PATTERNS IN EGYPT'S SUEZ CANAL ECONOMIC ZONE	Prof. Dr. Ibrahim Hassan Fatima Abdelaziz Omar Khalil
		5	KAZAKHSTANI ENERGY TRANSITION ECONOMICS AND CARBON PRICING MECHANISMS	Yerzhan Bekbolatov Dana Kairatova Assoc. Prof. Dr. Aigerim Tolegenova
		6	CROSS-BORDER E-COMMERCE GROWTH IMPACTS ON KAZAKHSTAN'S RETAIL SECTOR	Dr. Nursultan Abayev Aidana Sarsenova
		7	MOROCCAN PHOSPHATE INDUSTRY VALUE CHAIN OPTIMIZATION FOR GLOBAL COMPETITIVENESS	Assis. Prof. Dr. Amina El-Khatib Youssef Bennani Dr. Karim Alami Fatima Zahraoui
		8	TOURISM-LED GROWTH MODELS AND REGIONAL DISPARITIES IN MOROCCO	Assoc. Prof. Dr. Hassan Rhouma Nadia Belghiti

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES July 3 – 5, 2026 BURSA Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 3 Temmuz / July 3, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 13	Assoc. Prof. Dr. Aigerim	1	CLIMATE CHANGE IMPACTS ON GLACIER RETREAT AND WATER SECURITY IN NORTHERN PAKISTANI HINDUKUSH	Prof. Dr. Arif Malik Sana Rehman Bilal Khan Ayesha Zubair
		2	URBAN HEAT ISLAND EFFECTS AND MITIGATION STRATEGIES IN KARACHI MEGACITY EXPANSION	Zainab Qureshi Hina Aslam
		3	NILOTIC DELTA EROSION PATTERNS AND SEDIMENT DYNAMICS UNDER DAM CONSTRUCTION IMPACTS	Dr. Ahmed El-Sayed Fatima Hassan Omar Khalil
		4	DESERTIFICATION PROCESSES AND LAND USE CHANGE IN SINAI PENINSULA ECOSYSTEMS	Layla Salem Prof. Dr. Nadia Mahmoud Karim Abdelaziz
		5	ARAL SEA ECOLOGICAL DISASTER LEGACIES AND REGIONAL WATER MANAGEMENT SOLUTIONS	Assoc. Prof. Dr. Aigerim
		6	STEPPE LAND DEGRADATION AND PASTORAL NOMADISM TRANSITIONS IN CENTRAL KAZAKHSTAN	Dr. Yerzhan Bekbolatov Aidana Sarsenova Gulnara Abayeva
		7	ATLAS MOUNTAINS HYDROLOGICAL CHANGES FROM CLIMATE VARIABILITY IN MOROCCAN RIF REGION	Dr. Fatima Zahraoui Youssef Bennani Prof. Dr. Amina El-Khatib
		8	COASTAL EROSION RISKS AND URBAN PLANNING CHALLENGES IN CASABLANCA METROPOLITAN AREA	Assoc. Prof. Dr. Hassan Rhouma Nadia Belghiti Omar Lahlou
		9	SAHARA-SAHTEL TRANSITION ZONE VEGETATION SHIFTS UNDER PROLONGED DROUGHT CONDITIONS	Dr. Karim Alami
		10	GROUNDWATER DEPLETION PATTERNS AND SUSTAINABLE MANAGEMENT IN MARRAKECH AGRICULTURAL PLAINS	Prof. Dr. Reem Gamal Tariq El-Badry Mohamed Salem

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING and MATHEMATICS July 3 – 5, 2026 BURSA YÜZ YÜZE				
4 Temmuz / July 4, 2026 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Assoc. Prof. Dr. Cemalettin ŞEN	1	ALIGNING PUBLIC FINANCE WITH ENVIRONMENTAL AND ECOLOGICAL PRIORITIES: THE PRACTICE OF GREEN BUDGETING	Dr. Öğr. Üyesi İlker Yaman
		2	DO EXCHANGE RATE POLICIES AFFECT FOREIGN TRADE? A JOHANSEN COINTEGRATION ANALYSIS OF THE REAL EFFECTIVE EXCHANGE RATE, EXPORTS, AND IMPORTS	Dr. Öğr. Üyesi, Çağrı ULU Gözde KARADAĞ
		3	ULUSLARARASI ÇEVRE POLİTİKALARI BAĞLAMINDA TÜRKİYE’NİN BİYOGÜVENLİK POLİTİKASI	Doktora Öğrencisi Mehmet Ali KOYUNCU Dr. Öğr. Üyesi Şermin ATAÇ ÇOBANOĞLU
		4	TÜRKİYE’NİN SURIYE POLİTİKASI: GÜVENLİK, GÖÇ VE BÖLGESEL DİPLOMASI BOYUTLARI	Doktora Öğrencisi Mehmet Ali KOYUNCU Prof. Dr. Ahmet TUNÇ
		5	STATUTE SCIENCE IN THE CONTEXT OF CONTRIBUTIONS TO THE WORLD OF SCIENCE: FROM THE PERSPECTIVE OF A SCHOLAR OF ISLAMIC LAW	Assoc. Prof. Dr. Cemalettin ŞEN
		6	ON THE REVITALIZATION OF DREAM SCIENCE: FROM THE PERSPECTIVE OF A SCHOLAR OF ISLAMIC LAW	Assoc. Prof. Dr. Cemalettin ŞEN
		7	EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF THE MODIFIED HOLT–WINTERS METHOD FOR MONTHLY RAINFALL FORECASTING IN THE UPPER EUPHRATES BASIN	Doç. Dr. SERKAN ŞENOCAK Yüksek Lisans Öğrencisi, ONUR YANAR
		8	THE CONCEPT OF “DIGITAL LANDSCAPE” IN LANDSCAPE ARCHITECTURE: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW (SLR)	Emre ŞAFAK Prof. Dr. Metin DEMİR

Contents

A GENERALIZATION OF A CESÀRO SUMMABILITY THEOREM.....	1
A NEW EXTENSION OF AN ABSOLUTE SUMMABILITY RESULT	6
On Strategies of Effective Mathematics Education	11
LIE SYMMETRY ANALYSIS, EXACT TRAVELING-WAVE SOLUTIONS, AND CONSERVATION LAWS OF A GENERALIZED KURAMOTO-SIVASHINSKY EQUATION WITH NONLINEAR CONVECTION.....	12
SOME CATEGORICAL PROPERTIES OF 3-GROUPS.....	27
BULANIK KÜMELERİN TIBBİ UYGULAMALARI	28
THE GEOMETRY OF CENTRODES OF CONSTANT SLOPE CURVES.....	29
THE DUAL PYTHAGOREAN CONDITIONS AND THEIR EFFECTS ON CURVES.....	30
YAMABE SOLITON STRUCTURE ON COTANGENT BUNDLE ACCORDING TO RIEMANNIAN EXTENSION METRIC	31
HASSAS TARIM UYGULAMALARI İÇİN AÇIKLANABİLİR HİBRİT CNN–TRANSFORMER MİMARİSİ	42
USAGE OF LUPIN AQUAFABA AS EGG REPLACER IN CAKE PRODUCTION	71
FARKLI TAHİL UNLARINDAN ÜRETİLEN EKMEKLERİN SPESİFİK HACİM, PİŞİRME KAYBI VE SERTLİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	80
PNÖMATİK SÜSPANSİYONLU ROBOT SÜPÜRGE İÇİN DİNAMİK MODELLEME VE SİMÜLASYON ANALİZİ	91
FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE YANGIN RİSKLERİNİN HATA TÜRÜ VE ETKİ ANALİZİ (FMEA) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ VE DONANIMSAL YANGIN ÖNLEME YAKLAŞIMLARI	105
IOT TABANLI ÇOK SENSÖRLÜ SU KALİTESİ İZLEME VE BULANIK MANTIK İLE UÇTA KARAR DESTEK SİSTEMİ	123
A HYBRID AUGMENTED LAGRANGIAN AND FMSG-BASED SOLUTION APPROACH FOR THE QUADRATIC ASSIGNMENT PROBLEM	142
PERDE-ÇERÇEVELİ BETONARME BİR YAPININ ARDIŞIK DEPREM DAVRANIŞININ DOĞRUSAL OLMAYAN ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ İLE İNCELENMESİ.....	143
2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİNDE YIKILAN BETONARME BİR BİNANIN GÖÇME NEDENLERİNİN ANALİZİ VE OPTİMUM GÜÇLENDİRME PERDESİ ORANININ PARAMETRİK OLARAK BELİRLENMESİ.....	155
INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CARBON MESH REINFORCEMENT ON THE FLEXURAL PERFORMANCE OF GEOPOLYMER CONCRETE BEAMS.....	171
COMPARATIVE ANALYSIS OF SEQUENTIAL RULE MINING ALGORITHMS: CMRules, RuleGrowth and ERMiner	183
DATASET OF SEVEN FRUIT AND ONE VEGETABLE CLASSES CAPTURED FOR AGRICULTURAL AI APPLICATIONS.....	192
MEYBEAT: MÜZİK BEAT PAZARYERİ İÇİN TEMİZ MİMARİ TABANLI WEB PLATFORMU TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ	200
ADVANCED CATALYTIC PROCESSES FOR HYDROCARBON REFINING IN KAZAKHSTAN ENERGY SECTOR	208

BURSA 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING and MATHEMATICS
July 3 – 5, 2026 – BURSA
ISBN NR. : 978-625-8795-27-1

SYNTHESIS OF NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION IN KAZAKHSTAN	209
GREEN CHEMISTRY APPROACHES FOR PHOSPHATE INDUSTRY WASTE MANAGEMENT IN MOROCCO	210
ELECTROCHEMICAL SENSOR DEVELOPMENT FOR HEAVY METAL DETECTION IN MOROCCAN WATER SYSTEMS	211
MOLECULAR DESIGN OF ORGANIC SEMICONDUCTORS FOR OPTOELECTRONIC APPLICATIONS IN IRAN	212
CHEMICAL KINETICS AND MECHANISMS OF CORROSION INHIBITION IN IRANIAN OIL PIPELINES.....	214
DESIGN OF HIGH-PERFORMANCE LITHIUM-ION BATTERY MATERIALS FOR ENERGY STORAGE APPLICATIONS IN SINGAPORE	215
SYNTHETIC BIOCHEMISTRY APPROACHES FOR CARBON CAPTURE AND UTILIZATION TECHNOLOGIES IN SINGAPORE	216
ADVANCED NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR ENERGY STORAGE APPLICATIONS IN AZERBAIJANI RESEARCH LABORATORIES	217
CORROSION RESISTANT ALLOY DEVELOPMENT FOR CASPIAN SEA OFFSHORE STRUCTURES	218
SUSTAINABLE BUILDING MATERIALS USING NATURAL FIBERS IN MOROCCAN ECO-CONSTRUCTION .	219
CERAMIC COMPOSITE MATERIALS FOR HIGH TEMPERATURE INDUSTRIAL APPLICATIONS IN MOROCCO	220
GRAPHENE-BASED COMPOSITES FOR FLEXIBLE ELECTRONICS IN INDIAN MATERIAL SCIENCE STUDIES	221
BIODEGRADABLE POLYMER MATERIALS FOR MEDICAL IMPLANTS IN INDIAN BIOMATERIAL RESEARCH	222
THERMAL BARRIER COATINGS FOR AEROSPACE APPLICATIONS IN INDIAN ENGINEERING SECTORS ...	223
SEMICONDUCTOR NANOMATERIALS FOR OPTOELECTRONIC DEVICES IN TAIWANESE TECHNOLOGY DEVELOPMENT	224
ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS FOR SMART SENSORS IN TAIWAN INDUSTRIAL INNOVATION ...	225
SUSTAINABLE HYDROPOWER SYSTEM DESIGN AND OPTIMIZATION IN MOUNTAINOUS REGIONS OF KYRGYZSTAN.....	226
SMART IRRIGATION ENGINEERING SOLUTIONS FOR AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT IN KYRGYZSTAN.....	227
STRUCTURAL ANALYSIS AND EARTHQUAKE-RESISTANT BUILDING DESIGN IN IRAQI URBAN AREAS ...	228
RENEWABLE ENERGY GRID INTEGRATION CHALLENGES IN IRAQ'S POWER INFRASTRUCTURE	229
MACHINE LEARNING APPLICATIONS IN PREDICTIVE MAINTENANCE OF INDUSTRIAL SYSTEMS IN PAKISTAN.....	230
ADVANCED CONSTRUCTION MATERIALS FOR CLIMATE-RESILIENT INFRASTRUCTURE IN PAKISTAN	231
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF LOW-COST SOLAR ENERGY SYSTEMS IN RURAL PAKISTAN	232
WATER SUPPLY AND SANITATION ENGINEERING SOLUTIONS IN RURAL ETHIOPIAN COMMUNITIES...	233
ADVANCED COOLING SYSTEM DESIGN FOR HIGH-RISE BUILDINGS IN QATAR'S EXTREME CLIMATE CONDITIONS	234

SMART INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT USING IOT FOR URBAN TRANSPORT SYSTEMS IN QATAR .	235
SUSTAINABLE BRIDGE ENGINEERING USING BAMBOO-BASED COMPOSITES IN INDONESIAN RURAL AREAS.....	236
EARTHQUAKE-RESISTANT STRUCTURAL DESIGN METHODS FOR INDONESIA'S SEISMIC REGIONS	237
RENEWABLE ENERGY SYSTEM INTEGRATION IN TUNISIAN INDUSTRIAL FACILITIES.....	238
WATER DESALINATION TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE IN TUNISIA	239
AI-BASED PREDICTIVE MAINTENANCE IN TUNISIAN MANUFACTURING SYSTEMS.....	240
URBAN DRAINAGE SYSTEM OPTIMIZATION FOR FLOOD PREVENTION IN ALGERIAN CITIES	241
URBAN DRAINAGE SYSTEM OPTIMIZATION FOR FLOOD PREVENTION IN ALGERIAN CITIES	242
ADVANCED COOLING SYSTEM DESIGN FOR HIGH-RISE BUILDINGS IN QATAR'S EXTREME CLIMATE CONDITIONS	243
SMART INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT USING IOT FOR URBAN TRANSPORT SYSTEMS IN QATAR .	244
SUSTAINABLE BRIDGE ENGINEERING USING BAMBOO-BASED COMPOSITES IN INDONESIAN RURAL AREAS.....	245
EARTHQUAKE-RESISTANT STRUCTURAL DESIGN METHODS FOR INDONESIA'S SEISMIC REGIONS	246
RENEWABLE ENERGY SYSTEM INTEGRATION IN TUNISIAN INDUSTRIAL FACILITIES.....	247
WATER DESALINATION TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE IN TUNISIA	248
AI-BASED PREDICTIVE MAINTENANCE IN TUNISIAN MANUFACTURING SYSTEMS.....	249
URBAN DRAINAGE SYSTEM OPTIMIZATION FOR FLOOD PREVENTION IN ALGERIAN CITIES	250
URBAN DRAINAGE SYSTEM OPTIMIZATION FOR FLOOD PREVENTION IN ALGERIAN CITIES	251
MODIFIED HOLT–WINTERS (MOHW) YÖNTEMİNİN YUKARI FIRAT HAVZASINDA AYLIK YAĞIŞ TAHMİNİNDEKİ PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ	252

A GENERALIZATION OF A CESÀRO SUMMABILITY THEOREM

Prof. Dr. Hikmet Seyhan ÖZARSLAN

Erciyes University, seyhan@erciyes.edu.tr - 0000-0002-0437-032X

Gönül ATAR

Erciyes University, gonulatar123@gmail.com - 0009-0009-2772-0888

ABSTRACT

In this study, a new summability factor theorem is obtained for generalized absolute Cesàro summability methods. By choosing suitable values of the parameters in the general result, the method $|C, \alpha; \delta|_k$ is obtained as a special case of $\varphi - |C, \alpha|_k$ summability method.

Keywords: Absolute summability, Cesàro mean, summability factors, non-decreasing sequence.

1. INTRODUCTION

Let (φ_n) be a sequence of complex numbers and let $\sum a_n$ be a given infinite series with partial sums (s_n) . We denote by u_n^α and t_n^α the n -th Cesàro means of order α ($\alpha > -1$) of the sequences (s_n) and (na_n) , respectively,

$$u_n^\alpha = \frac{1}{A_n^\alpha} \sum_{v=0}^n A_{n-v}^{\alpha-1} s_v, \quad (1)$$

$$t_n^\alpha = \frac{1}{A_n^\alpha} \sum_{v=1}^n A_{n-v}^{\alpha-1} v a_v, \quad (2)$$

where

$$A_n^\alpha = \binom{n+\alpha}{n} = O(n^\alpha), \quad \alpha > -1, \quad (3)$$

$$A_0^\alpha = 1 \text{ and } A_{-n}^\alpha = 0 \text{ for } n > 0.$$

The series $\sum a_n$ is said to be summable $|C, \alpha|_k$, $k \geq 1$ and $\alpha > -1$, if ([1])

$$\sum_{n=1}^{\infty} n^{-1} |t_n^\alpha|^k < \infty, \quad (4)$$

and it is said to be summable $|C, \alpha; \delta|_k$, $k \geq 1$, $\alpha > -1$ and $\delta \geq 0$, if ([2])

$$\sum_{n=1}^{\infty} n^{\delta k-1} |t_n^\alpha|^k < \infty. \quad (5)$$

The series $\sum a_n$ is said to be summable $\varphi - |C, \alpha|_k$, $k \geq 1$, if ([3])

$$\sum_{n=1}^{\infty} |\varphi_n(u_n^\alpha - u_{n-1}^\alpha)|^k < \infty. \quad (6)$$

2. KNOWN RESULT

Bor has proved the following theorem in [4].

Theorem 2.1. Let $0 < \alpha \leq 1$. Let (x_n) be a positive non-decreasing sequence and the sequences (β_n) and (λ_n) such that conditions

$$|\Delta \lambda_n| \leq \beta_n, \quad (7)$$

$$\beta_n \rightarrow 0 \text{ as } n \rightarrow \infty, \quad (8)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} n |\Delta \beta_n| x_n < \infty, \quad (9)$$

$$|\lambda_n| x_n = O(1) \text{ as } n \rightarrow \infty. \quad (10)$$

are satisfied. If there exists an $\varepsilon > 0$ such that the sequence $(n^{\varepsilon-k} |\varphi_n|^k)$ is non-increasing and if the sequence (ω_n^α) , defined by

$$w_n^\alpha = \begin{cases} |t_n^\alpha|, & (\alpha = 1) \\ \max_{1 \leq u \leq n} |t_u^\alpha|, & (0 < \alpha < 1) \end{cases} \quad (11)$$

satisfies the condition

$$\sum_{n=1}^m n^{-k} (|\varphi_n| w_n^\alpha)^k = O(x_m) \text{ as } m \rightarrow \infty,$$

then the series $\sum a_n \lambda_n$ is summable $\varphi - |C, \alpha|_k$, $k \geq 1$.

Lemma 2.1 ([5]). If $0 < \alpha \leq 1$ and $1 \leq v \leq n$, then

$$\left| \sum_{p=1}^v A_{n-p}^{\alpha-1} a_p \right| \leq \max_{1 \leq m \leq v} \left| \sum_{p=1}^m A_{m-p}^{\alpha-1} a_p \right|,$$

where A_n^α is as in (3).

Lemma 2.2 ([6]). Under the conditions on (x_n) , (β_n) and (λ_n) as taken in the statement of Theorem 2.1, the following conditions hold, when (9) is satisfied:

$$n\beta_n x_n = o(1) \text{ as } n \rightarrow \infty,$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \beta_n x_n < \infty.$$

3. MAIN RESULT

In this section, we obtain a summability factor theorem for the absolute Cesàro summability method $|C, \alpha; \delta|_k$ as a consequence of Bor's theorem. There are some other papers on applications of absolute Cesàro summability methods (see [7-10]).

Theorem 3.1. Let $0 < \alpha \leq 1$. Let (x_n) be a positive non-decreasing sequence and the conditions (7)–(11) of Theorem 2.1 are satisfied. If there exists an $\varepsilon > 0$ such that the sequence $(n^{\delta k - 1 + \varepsilon})$ is non-increasing and if the condition

$$\sum_{n=1}^m n^{\delta k - 1} (t_n^\alpha)^k = O(x_m) \text{ as } m \rightarrow \infty,$$

is satisfied, then the series $\sum a_n \lambda_n$ is summable $|C, \alpha; \delta|_k, k \geq 1$.

4. PROOF OF THEOREM 3.1

Let (T_n^α) be the n -th (C, α) means, with $0 < \alpha \leq 1$, of the sequence $(na_n \lambda_n)$. Then, by (2), we have

$$T_n^\alpha = \frac{1}{A_n^\alpha} \sum_{v=1}^n A_{n-v}^{\alpha-1} v a_v \lambda_v$$

Applying Abel's transformation, we get

$$T_n^\alpha = \frac{1}{A_n^\alpha} \sum_{v=1}^{n-1} \Delta \lambda_v \sum_{p=1}^v A_{n-p}^{\alpha-1} p a_p + \frac{\lambda_n}{A_n^\alpha} \sum_{v=1}^n A_{n-v}^{\alpha-1} v a_v$$

so that making use of Lemma 2.1, we have

$$\begin{aligned}
|T_n^\alpha| &\leq \frac{1}{A_n^\alpha} \sum_{v=1}^{n-1} |\Delta \lambda_v| \left| \sum_{p=1}^v A_{n-p}^{\alpha-1} p a_p \right| + \frac{|\lambda_n|}{A_n^\alpha} \left| \sum_{v=1}^n A_{n-v}^{\alpha-1} v a_v \right| \\
&\leq \frac{1}{A_n^\alpha} \sum_{v=1}^{n-1} A_v^\alpha w_v^\alpha |\Delta \lambda_v| + |\lambda_n| w_n^\alpha = T_{n,1}^\alpha + T_{n,2}^\alpha.
\end{aligned}$$

To complete the proof of Theorem 3.1, by Minkowski's inequality for $k > 1$, it is sufficient to show that

$$\sum_{n=1}^{\infty} n^{\delta k - 1} |T_{n,r}^\alpha|^k < \infty \text{ for } r = 1, 2,$$

by (5).

Now, when $k > 1$, applying Hölder's inequality with indices k and k' where $\frac{1}{k} + \frac{1}{k'} = 1$, we get

$$\begin{aligned}
\sum_{n=2}^{m+1} n^{\delta k - 1} |T_{n,1}^\alpha|^k &\leq \sum_{n=2}^{m+1} n^{\delta k - 1} (A_n^\alpha)^{-k} \left\{ \sum_{v=1}^{n-1} A_v^\alpha w_v^\alpha \beta_v \right\}^k \\
&\leq \sum_{n=2}^{m+1} n^{\delta k - 1} (A_n^\alpha)^{-k} \sum_{v=1}^{n-1} A_v^\alpha (w_v^\alpha)^k \beta_v \times \left\{ \sum_{v=1}^{n-1} A_v^\alpha \beta_v \right\}^{k-1} \\
&= O(1) \sum_{n=2}^{m+1} n^{\delta k - 1 - \alpha} \sum_{v=1}^{n-1} v^\alpha (w_v^\alpha)^k \beta_v \\
&= O(1) \sum_{v=1}^m v^\alpha (w_v^\alpha)^k \beta_v \sum_{n=v+1}^{m+1} n^{\delta k - 1 - \alpha} \\
&= O(1) \sum_{v=1}^m v^\alpha (w_v^\alpha)^k \beta_v \sum_{n=v+1}^{m+1} \frac{n^{\delta k - 1 + \varepsilon}}{n^{\alpha + \varepsilon}} \\
&= O(1) \sum_{v=1}^m v^{\alpha + \varepsilon + \delta k - 1} (w_v^\alpha)^k \beta_v \int_v^\infty \frac{dx}{x^{\alpha + \varepsilon}} \\
&= O(1) \sum_{v=1}^m v \beta_v v^{\delta k - 1} (w_v^\alpha)^k \\
&= O(1) \sum_{v=1}^{m-1} \Delta(v \beta_v) \sum_{r=1}^v r^{\delta k - 1} (w_r^\alpha)^k + O(1) m \beta_m \sum_{v=1}^m v^{\delta k - 1} (w_v^\alpha)^k \\
&= O(1) \sum_{v=1}^{m-1} |\Delta(v \beta_v)| x_v + O(1) m \beta_m x_m \\
&= O(1) \sum_{v=1}^{m-1} v |\Delta \beta_v| x_v + O(1) \sum_{v=1}^{m-1} |\beta_{v+1}| x_v + O(1) m \beta_m x_m = O(1) \text{ as } m \rightarrow \infty,
\end{aligned}$$

by virtue of the hypotheses of Theorem 3.1 and Lemma 2.2.

Again, since $|\lambda_n| = O(1/x_n) = O(1)$ by (10), we have

$$\begin{aligned}
 \sum_{n=1}^m n^{\delta_{k-1}} |T_{n,2}^\alpha|^k &= \sum_{n=1}^m n^{\delta_{k-1}} |\lambda_n| |\lambda_n|^{k-1} (w_n^\alpha)^k \\
 &= O(1) \sum_{n=1}^m |\lambda_n| n^{\delta_{k-1}} (w_n^\alpha)^k \\
 &= O(1) \sum_{n=1}^{m-1} \Delta |\lambda_n| \sum_{v=1}^n v^{\delta_{k-1}} (w_v^\alpha)^k + O(1) |\lambda_m| \sum_{v=1}^m v^{\delta_{k-1}} (w_v^\alpha)^k \\
 &= O(1) \sum_{n=1}^{m-1} |\Delta \lambda_n| x_n + O(1) |\lambda_m| x_m \\
 &= O(1) \sum_{n=1}^{m-1} \beta_n x_n + O(1) |\lambda_m| x_m = O(1) \text{ as } m \rightarrow \infty
 \end{aligned}$$

by virtue of the hypotheses of Theorem 3.1 and Lemma 2.2.

Therefore, we get that

$$\sum_{n=1}^m n^{\delta_{k-1}} |T_{n,r}^\alpha|^k = O(1) \text{ as } m \rightarrow \infty \text{ for } r = 1, 2.$$

This completes the proof of Theorem 3.1.

REFERENCES

- [1] Flett, T.M. (1957). On an extension of absolute summability and some theorems of Littlewood and Paley. Proc. London Math. Soc., 7, 113-141.
- [2] Flett, T.M. (1958). Some more theorems concerning the absolute summability of Fourier series and power series. Proc. London Math. Soc., 8, 357-387.
- [3] Balcı, M. (1980). Absolute φ -summability factors. Comm. Fac. Sci. Univ. Ankara Ser. A1, 29, 63-68.
- [4] Bor, H. (1993). Factors for generalized absolute Cesàro summability methods. Publ. Math. Debrecen, 43 (3-4), 297-302.
- [5] Bosanquet, L.S. (1941). A mean value theorem. J. London Math. Soc., 16, 146-148.
- [6] Mishra K.N., Srivastava, R.S.L. (1983–1984). On absolute Cesàro summability factors of infinite series. Portugaliae Math., 42, 53–61.
- [7] Özarslan, H.S. (2007). On absolute Cesàro summability factors of infinite series. Commun. Math. Anal., 3 (1), 53–56.
- [8] Özarslan, H.S. (2010). A note on generalized absolute Cesàro summability. J. Comp. Anal. Appl., 12 (3), 581–585.
- [9] Bor, H. (2013). Almost increasing sequences and their new applications. J. Inequal. Appl. 2013, 207, 5pp.
- [10] Özarslan, H. S. (2021). On the generalized absolute Cesàro summability methods. Russ. Math., 65 (11), 29-33.

A NEW EXTENSION OF AN ABSOLUTE SUMMABILITY RESULT

Prof. Dr. Hikmet Seyhan ÖZARSLAN

Erciyes University, seyhan@erciyes.edu.tr - 0000-0002-0437-032X

Assoc. Prof. Dr. Bağdagül KARTAL ERDOĞAN

Erciyes University, bagdagulkartal@erciyes.edu.tr - 0000-0001-6223-0838

ABSTRACT

In the present paper, we obtain a generalization of a known summability theorem by using a more general absolute summability method. The aim of the study is to extend an existing result established for a particular weighted mean summability method to a broader summability setting. Under suitable assumptions on the related sequences, sufficient conditions are obtained for an infinite series to preserve its summability properties.

Keywords: Absolute summability, Infinite series, Riesz summability, Summability factors

1. INTRODUCTION

Let (λ_n) be a sequence. Observe that $\Delta\lambda_n = \lambda_n - \lambda_{n+1}$, $\Delta^0\lambda_n = \lambda_n$ and for $k = 1, 2, \dots$, the higher-order differences are defined by $\Delta^k\lambda_n = \Delta\Delta^{k-1}\lambda_n$ [1]. Consider the infinite series $\sum b_n$ whose partial sums form the sequence (s_n) . Let (y_n) denote a sequence of real numbers, all of which are positive, such that

$$Y_n = \sum_{i=0}^n y_i \rightarrow \infty \text{ as } n \rightarrow \infty, Y_{-m} = y_{-m} = 0, m \geq 1$$

and the sequence-to-sequence transformation

$$u_n = \frac{1}{Y_n} \sum_{i=0}^n y_i s_i$$

defines the sequence (u_n) of the Riesz mean of (s_n) generated by the sequence (y_n) [1]. Let (ψ_n) be a sequence of positive real numbers. The series $\sum b_n$ is said to be summable $\psi - \left| \overline{N}, y_n; \nu \right|_k$, $k \geq 1$ and $\nu \geq 0$, if (see [2])

$$\sum_{n=1}^{\infty} \psi_n^{\nu k + k - 1} |u_n - u_{n-1}|^k < \infty.$$

In the case $\psi_n = Y_n / y_n$ and $\nu = 0$, the $|\bar{N}, y_n|_k$ summability method is obtained [3].

2. KNOWN RESULT

Bor [4] established the following theorem.

Theorem 2.1. Let (X_n) be a positive sequence and let

$$|s_n| = O(X_n), \quad n \rightarrow \infty. \quad (1)$$

If (λ_n) is a sequence of complex numbers such that

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{y_n}{Y_n} \right) (|\lambda_n| X_n)^k < \infty, \quad (2)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} X_n |\Delta \lambda_n| < \infty, \quad (3)$$

then the series $\sum b_n \lambda_n$ is summable $|\bar{N}, y_n|_k$, $k \geq 1$.

3. MAIN RESULT

In this study, Theorem 2.1 is generalized as described below. More contributions to the theory of summability methods can be found in [5-11].

Theorem 3.1. Let (X_n) be a positive sequence and let the condition (1), (3) be satisfied.

Assume (ψ_n) is a real-valued sequence whose terms are positive and which fulfills

$$\psi_n y_n = O(Y_n), \quad (4)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \psi_n^{\nu k - 1} (|\lambda_n| X_n)^k < \infty, \quad (5)$$

$$\sum_{n=i+1}^{w+1} \psi_n^{\nu k} X_n |\Delta \lambda_n| < \infty, \quad (6)$$

(11)

$$\sum_{n=i+1}^{w+1} \psi_n^{\nu k - 1} \frac{1}{Y_{n-1}} = O\left(\psi_i^{\nu k} \frac{1}{Y_i}\right) \quad \text{as } w \rightarrow \infty, \quad (7)$$

then the series $\sum b_n \lambda_n$ is summable $\psi - |\bar{N}, y_n; \nu|_k$, $k \geq 1$ and $0 \leq \nu < 1/k$.

4. PROOF OF THEOREM 3.1

Let (U_n) be the $(\bar{N}, y_n)$ mean of the series $\sum b_n \lambda_n$. Then, by Abel's transformations,

$$\begin{aligned} U_n - U_{n-1} &= -\frac{y_n}{Y_n Y_{n-1}} \sum_{i=1}^{n-1} y_i s_i \lambda_i + \frac{y_n}{Y_n Y_{n-1}} \sum_{i=1}^{n-1} Y_i s_i \Delta \lambda_i + \frac{y_n s_n \lambda_n}{Y_n} \\ &= U_{n,1} + U_{n,2} + U_{n,3}. \end{aligned}$$

Now, from Hölder's inequality, and the conditions (1), (4), (5), (7),

$$\begin{aligned} \sum_{n=2}^{w+1} \psi_n^{\nu_{k+k-1}} |U_{n,1}|^k &\leq \sum_{n=2}^{w+1} \psi_n^{\nu_{k-1}} \left(\frac{\psi_n y_n}{Y_n} \right)^k \frac{1}{Y_{n-1}^k} \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} y_i |s_i| |\lambda_i| \right\}^k \\ &= O(1) \sum_{n=2}^{w+1} \psi_n^{\nu_{k-1}} \frac{1}{Y_{n-1}} \sum_{i=1}^{n-1} y_i (X_i |\lambda_i|)^k \left\{ \frac{1}{Y_{n-1}} \sum_{i=1}^{n-1} y_i \right\}^{k-1} \\ &= O(1) \sum_{i=1}^w y_i (X_i |\lambda_i|)^k \sum_{n=i+1}^{w+1} \psi_n^{\nu_{k-1}} \frac{1}{Y_{n-1}} \\ &= O(1) \sum_{i=1}^w \psi_i^{\nu_{k-1}} (X_i |\lambda_i|)^k \\ &= O(1) \text{ as } w \rightarrow \infty. \end{aligned}$$

Now, by again Hölder's inequality and the conditions (1), (3), (4), (6), (7),

$$\begin{aligned} \sum_{n=2}^{w+1} \psi_n^{\nu_{k+k-1}} |U_{n,2}|^k &\leq \sum_{n=2}^{w+1} \psi_n^{\nu_{k-1}} \left(\frac{\psi_n y_n}{Y_n} \right)^k \frac{1}{Y_{n-1}^k} \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} Y_i |s_i| |\Delta \lambda_i| \right\}^k \\ &= O(1) \sum_{n=2}^{w+1} \psi_n^{\nu_{k-1}} \frac{1}{Y_{n-1}^k} \left(\sum_{i=1}^{n-1} Y_i X_i |\Delta \lambda_i| \right)^k \\ &= O(1) \sum_{n=2}^{w+1} \psi_n^{\nu_{k-1}} \frac{1}{Y_{n-1}} \sum_{i=1}^{n-1} Y_i X_i |\Delta \lambda_i| \left\{ \frac{1}{Y_{n-1}} \sum_{i=1}^{n-1} Y_i X_i |\Delta \lambda_i| \right\}^{k-1} \\ &= O(1) \sum_{i=1}^w Y_i X_i |\Delta \lambda_i| \sum_{n=i+1}^{w+1} \psi_n^{\nu_{k-1}} \frac{1}{Y_{n-1}} \end{aligned}$$

$$=O(1)\sum_{i=1}^w \psi_i^{\nu_k} X_i |\Delta \lambda_i| = O(1) \text{ as } w \rightarrow \infty.$$

Finally, by (1), (4) and (5),

$$\sum_{n=2}^{w+1} \psi_n^{\nu_{k+k-1}} |U_{n,3}|^k = O(1) \sum_{n=1}^w \psi_n^{\nu_{k-1}} (X_n |\lambda_n|)^k = O(1) \text{ as } w \rightarrow \infty.$$

So, we have

$$\sum_{n=1}^{\infty} \psi_n^{\nu_{k+k-1}} |U_{n,r}|^k < \infty \quad \text{for } r = 1, 2, 3$$

which completes the proof of Theorem 3.1.

5. CONCLUSIONS

In the present study, a general theorem on the $\psi - |\bar{N}, y_n; \nu|_k$ summability method is established. If we set $\psi_n = \frac{Y_n}{y_n}$ in Theorem 3.1, we recover a result from [12] related to the $|\bar{N}, y_n; \nu|_k$ summability of an infinite series. If we set $\psi_n = \frac{Y_n}{y_n}$ and $\nu = 0$ in Theorem 3.1, we get Theorem 2.1.

REFERENCES

- [1] Hardy, G.H. (1949). Divergent Series. Oxford: Oxford University Press.
- [2] Seyhan, H. (1997). On the local property of $\varphi - |\bar{N}, p_n; \delta|_k$ summability of factored Fourier series. Bull. Inst. Math. Acad. Sinica, 25 (4), 311-316.
- [3] Bor, H. (1985). On two summability methods. Math. Proc. Cambridge Philos Soc., 97 (1), 147-149.
- [4] Bor, H. (1991). Factors for $|\bar{N}, p_n|_k$ summability of infinite series. Ann. Acad. Sci. Fenn. Ser. A I Math. 16 (1), 151-154.

- [5] Bor, H., Özarslan, H.S. (2003). A note on absolute summability factors. Adv. Stud. Contemp. Math. (Kyungshang), 6 (1), 1-11.
- [6] Karakaş, A. (2019). A new factor theorem for generalized absolute Riesz summability. Carpathian Math. Publ., 11 (2), 345-349.
- [7] Kartal, B. (2019). New results for almost increasing sequences. Ann. Univ. Paedagog. Crac. Stud. Math., 18, 85-91.
- [8] Kartal, B. (2019). A theorem on absolute summability of infinite series. Cumhuriyet Sci. J., 40, 563-569.
- [9] Özarslan, H.S. (2001). On almost increasing sequences and its applications. Int. J. Math. Math. Sci., 25 (5), 293- 298.
- [10] Özarslan, H.S. (2002). A note on $\left|\bar{N}, p_n; \delta\right|_k$ summability factors. Indian J. Pure Appl. Math., 33 (3), 361-366.
- [11] Özarslan, H.S. (2003). On $\left|\bar{N}, p_n; \delta\right|_k$ summability factors. Kyungpook Math. J., 43 (1) 107–112.
- [12] Bor, H. (1992). Factors for $\left|\bar{N}, p_n; \delta\right|_k$ summability of infinite series. Bull. Calcutta Math. Soc., 84 (4), 371-374.

On Strategies of Effective Mathematics Education

Prof. Dr. İbrahim GÜNALTILI

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik ve Bilgisayar
Bilimleri, Eskişehir, TÜRKİYE.

²ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4346-0758>

ABSTRACT

In this paper, we gave some strategies, which are needed, for effective mathematics education. There are a lot of ways to effective mathematics education. Learning and using student names, improves teaching of mathematics. Effective teaching and mega mentalize (will be called EÖMHT) is key for success both from the students and instructors in front of the black-board. When students are engaged, it means they are motivated, they want to learn and share their knowledge.

Keywords: Strategies, effective teaching, mega mentalize

**LIE SYMMETRY ANALYSIS, EXACT TRAVELING-WAVE SOLUTIONS, AND
CONSERVATION LAWS OF A GENERALIZED KURAMOTO-SIVASHINSKY
EQUATION WITH NONLINEAR CONVECTION**

Assist. Prof. Dr. Bahadır KOPÇASIZ

Kayseri Erciyes University, bahadirkopcasiz@erciyes.edu.tr - 0000-0002-6364-3631

Prof. Dr. Mehmet ŞENOL

Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, msenol@nevsehir.edu.tr - 0000-0001-8110-7739

ABSTRACT

In this study, the generalized Kuramoto-Sivashinsky equation with nonlinear convection is investigated using Lie symmetry analysis, exact solution techniques, numerical verification, and conservation-law theory. The admitted Lie point symmetries, the Lie algebraic structure, the finite transformations, the adjoint representation, and the optimal system of one-dimensional subalgebras are derived. Based on the obtained symmetry generators, similarity reductions are constructed, and the governing nonlinear partial differential equation is reduced to ordinary differential equations. By employing the Riccati equation expansion approach, several classes of exact traveling-wave solutions are obtained, including trigonometric, hyperbolic, and rational wave structures. To verify the analytical results, numerical validation is performed using the classical fourth-order Runge-Kutta method. The numerical solutions are in excellent agreement with the exact traveling-wave profiles, confirming their accuracy. In addition, local conservation laws are derived through the multiplier method. The obtained results provide further insight into the nonlinear wave structures and conservation properties of the generalized Kuramoto-Sivashinsky equation with nonlinear convection.

Keywords: Generalized Kuramoto-Sivashinsky equation; Lie symmetry analysis; Riccati equation expansion approach; exact traveling-wave solutions; Runge-Kutta method; conservation laws via multiplier approach.

1. INTRODUCTION

Nonlinear partial differential equations (NLPDEs) play a fundamental role in the mathematical modeling of complex phenomena arising in fluid dynamics, plasma physics, nonlinear optics, combustion theory, reaction-diffusion systems, and many other branches of applied science. Due to the intricate interactions among nonlinearity, dispersion, dissipation, and instability, such equations can describe a broad spectrum of nonlinear wave phenomena, including solitary waves, periodic structures, pattern formation, bifurcation processes, and chaotic dynamics.

Consequently, the analytical investigation of NLPDEs remains an important and active area of research in mathematical physics [1–3].

Among the most influential nonlinear dissipative evolution equations is the Kuramoto-Sivashinsky (KS) equation [4].

$$u_t + u_{xx} + \sigma u_{xxx} + u_{xxxx} + \alpha u u_x = 0, \quad (1.1)$$

which arises in the modeling of flame front propagation, thin liquid films, plasma instabilities, reaction-diffusion processes, and nonlinear transport phenomena. The KS equation represents a delicate balance among instability, dispersion, dissipation, and nonlinear convection. In particular, the second-order derivative term u_{xx} is associated with destabilizing effects, the dispersive contribution is represented by the third-order term σu_{xxx} , the fourth-order derivative u_{xxxx} provides dissipation, while the nonlinear convection term $\alpha u u_x$ governs nonlinear wave interactions. Owing to the competition among these mechanisms, the KS equation exhibits a rich variety of dynamical behaviors, including traveling waves, coherent structures, pattern formation, and spatiotemporal chaos.

To describe more complex nonlinear transport mechanisms, several generalized versions of the KS equation have been proposed. In this study, we consider the generalized Kuramoto-Sivashinsky equation with nonlinear convection [4].

$$u_t + u_{xx} + \sigma u_{xxx} + u_{xxxx} + \beta u u_x + \chi (u^2)_{xx} = 0, \quad (1.2)$$

where σ , β and χ are real parameters associated with dispersion, nonlinear convection, and nonlinear transport effects, respectively. Compared with the classical KS equation, the additional nonlinear transport term $(u^2)_{xx}$ enriches the mathematical structure of the model and allows the description of more intricate nonlinear wave propagation phenomena. The interaction among dispersive, dissipative, and nonlinear transport mechanisms gives rise to a wider range of nonlinear wave behaviors and invariant structures.

Over the past decades, numerous analytical techniques have been employed to investigate the KS equation and its generalized variants, including Painlevé analysis, Hirota-type methods, Lie symmetry techniques, auxiliary equation approaches, and various expansion methods. These studies have produced a broad spectrum of exact solutions, including solitary waves, periodic waves, rational solutions, and elliptic-function structures. In particular, Kudryashov investigated Eq. (1.2) through Painlevé analysis and derived analytical solutions expressed in terms of Weierstrass elliptic functions and Painlevé transcendents. Despite these developments, a comprehensive investigation of Eq. (1.2) that combines Lie symmetry analysis, Lie algebraic structures, finite transformations, the adjoint representation, optimal system classification, similarity reductions, exact traveling-wave solutions, numerical verification, and conservation laws has not yet been reported in the existing literature. This observation motivates the present study.

The main objective of this work is to establish a unified symmetry-based analytical framework for the generalized Kuramoto-Sivashinsky equation with nonlinear convection. First, the admitted Lie point symmetries, the Lie algebraic structure, finite transformations, the adjoint representation, and the optimal system of one-dimensional subalgebras are derived [3-5]. Subsequently, similarity reductions are obtained and used to transform the governing nonlinear partial differential equation into a system of ordinary differential equations. Exact traveling-wave solutions are then constructed via the Riccati equation expansion approach [6]. To assess the reliability of the obtained analytical results, a numerical verification is performed using the classical fourth-order Runge-Kutta method [7]. Finally, local conservation laws are derived using the multiplier method [8], while the corresponding conserved vectors are constructed via the homotopy integral formula, thereby providing additional information about the invariant and transport properties of the model.

The remainder of this paper is organized as follows. In Section 2, the Lie symmetry structure of the generalized Kuramoto-Sivashinsky equation is established, along with finite transformations, the adjoint representation, the optimal system, and similarity reductions. Section 3 is devoted to the construction of exact traveling-wave solutions by means of the Riccati equation expansion approach. In Section 4, the obtained analytical solutions are numerically verified using the fourth-order Runge-Kutta method. Conservation laws are derived in Section 5 through the multiplier method. Finally, concluding remarks are presented in Section 6.

2. LIE SYMMETRY ANALYSIS

Consider the generalized Kuramoto-Sivashinsky equation with nonlinear convection

$$u_t + u_{xx} + \sigma u_{xxx} + u_{xxxx} + \beta u u_x + \chi(u^2)_{xx} = 0.$$

To determine its Lie point symmetries, we introduce the infinitesimal generator

$$X = \xi(x, t, u) \frac{\partial}{\partial x} + \tau(x, t, u) \frac{\partial}{\partial t} + \eta(x, t, u) \frac{\partial}{\partial u}. \quad (2.1)$$

Applying the fourth prolongation and imposing the invariance condition

$$\text{pr}^{(4)} X(\Delta) \Big|_{\Delta=0} = 0, \quad (2.2)$$

with

$$\Delta = u_t + u_{xx} + \sigma u_{xxx} + u_{xxxx} + \beta u u_x + \chi(u^2)_{xx}$$

yields

$$\xi = c_2, \quad \tau = c_1, \quad \eta = 0, \quad (2.3)$$

where c_1 and c_2 are arbitrary constants. Therefore, the admitted Lie point symmetry generators are

$$X_1 = \frac{\partial}{\partial t}, \quad X_2 = \frac{\partial}{\partial x}. \quad (2.4)$$

Hence, Eq. (1.2) possesses temporal and spatial translational invariance and admits a two-dimensional Abelian Lie algebra.

2.1. Finite Group Transformations

The finite transformations corresponding to the admitted Lie symmetry generators are obtained by integrating the associated Lie equations.

For the temporal translation generator

$$X_1 = \frac{\partial}{\partial t},$$

the Lie equations are

$$\frac{d\tilde{x}}{d\varepsilon} = 0, \quad \frac{d\tilde{t}}{d\varepsilon} = 1, \quad \frac{d\tilde{u}}{d\varepsilon} = 0.$$

Integrating yields

$$\tilde{x} = x, \quad \tilde{t} = t + \varepsilon, \quad \tilde{u} = u.$$

Similarly, for the spatial translation generator

$$X_2 = \frac{\partial}{\partial x},$$

the corresponding Lie equations are

$$\frac{d\tilde{x}}{d\varepsilon} = 1, \quad \frac{d\tilde{t}}{d\varepsilon} = 0, \quad \frac{d\tilde{u}}{d\varepsilon} = 0,$$

which give

$$\tilde{x} = x + \varepsilon, \quad \tilde{t} = t, \quad \tilde{u} = u.$$

Therefore, the admitted Lie group consists of temporal and spatial translations, reflecting the invariance of the governing equation under shifts in time and space. Combining the two one-parameter transformations, the corresponding two-parameter Lie group action can be written as

$$G(\varepsilon_1, \varepsilon_2) : (x, t, u) \rightarrow (\tilde{x}, \tilde{t}, \tilde{u}) = (x + \varepsilon_1, t + \varepsilon_2, u). \quad (2.5)$$

Equivalently, if $u = f(x, t)$ is a solution of the governing equation, then the transformed function

$$\tilde{u}(\tilde{x}, \tilde{t}) = f(\tilde{x} - \varepsilon_1, \tilde{t} - \varepsilon_2) \quad (2.6)$$

is also a solution. Hence, the admitted Lie group represents the two-dimensional translation group acting on the independent variables x and t .

2.2. Adjoint Representation

The adjoint representation of a Lie group on its Lie algebra is defined by

$$\text{Ad}(e^{\varepsilon X_i})X_j = X_j - \varepsilon[X_i, X_j] + \frac{\varepsilon^2}{2!}[X_i, [X_i, X_j]] - \dots$$

For the generalized Kuramoto-Sivashinsky equation with nonlinear convection, the admitted symmetry generators are

$$X_1 = \frac{\partial}{\partial t}, \quad X_2 = \frac{\partial}{\partial x}.$$

Since the Lie algebra is Abelian,

$$[X_1, X_2] = 0, \quad [X_1, X_1] = 0, \quad [X_2, X_2] = 0.$$

Therefore, all higher-order commutators vanish identically, and the adjoint action reduces to

$$\text{Ad}(e^{\varepsilon X_1})X_1 = X_1, \quad \text{Ad}(e^{\varepsilon X_1})X_2 = X_2, \quad \text{Ad}(e^{\varepsilon X_2})X_1 = X_1, \quad \text{Ad}(e^{\varepsilon X_2})X_2 = X_2.$$

The corresponding adjoint table is given in Table 1.

Table 1. Adjoint representation of the admitted Lie algebra.

$\text{Ad}(e^{\varepsilon X_i})X_j$	X_1	X_2
X_1	X_1	X_2
X_2	X_1	X_2

2.3. Optimal System of One-Dimensional Subalgebras

The construction of an optimal system is based on the adjoint action of the admitted Lie group on its Lie algebra. Consider the general element

$$X = aX_1 + bX_2, \tag{2.7}$$

where a and b are arbitrary constants, not simultaneously zero.

Since the admitted Lie algebra is Abelian and the adjoint representation acts trivially,

$$\text{Ad}\left(e^{\varepsilon X_i}\right) X_j = X_j, \quad i, j = 1, 2, \quad (2.8)$$

no nontrivial simplifications of the coefficients (a, b) , can be achieved through adjoint transformations.

In Eq. (2.7), if $a \neq 0$, scaling the generator by a^{-1} yields

$$X = X_1 + cX_2, \quad c = \frac{b}{a}. \quad (2.9)$$

If $a = 0$ and $b \neq 0$, Eq. (2.7) reduces to

$$X = X_2. \quad (2.10)$$

Similarly, when $b = 0$ and $a \neq 0$, Eq. (2.7) reduces to

$$X = X_1. \quad (2.11)$$

Therefore, an optimal system of one-dimensional subalgebras is given by

$$\langle X_1 \rangle, \quad \langle X_2 \rangle, \quad \langle X_1 + cX_2 \rangle \quad (2.12)$$

where c is an arbitrary constant.

The generators $\langle X_1 \rangle$ and $\langle X_2 \rangle$ correspond to pure temporal and spatial translations, respectively. The mixed generator $\langle X_1 + cX_2 \rangle$ combines both invariances and produces traveling-wave type similarity reductions. Since traveling-wave structures constitute the primary wave propagation mechanism of the present model, the reduction associated with $\langle X_1 + cX_2 \rangle$ is of particular interest and will be investigated in the following section.

2.4. Similarity Reductions

In this subsection, the similarity reductions associated with the one-dimensional optimal system are derived. The optimal system is represented by

$$\langle X_1 \rangle, \quad \langle X_2 \rangle, \quad \langle X_1 + cX_2 \rangle. \quad (2.13)$$

2.4.1. Reduction with respect to $\langle X_1 \rangle$

For the temporal translation generator

$$X_1 = \frac{\partial}{\partial t}, \quad (2.14)$$

the associated characteristic system is

$$\frac{dt}{1} = \frac{dx}{0} = \frac{du}{0}. \quad (2.15)$$

Integrating the characteristic equations yields the invariants

$$\xi = x, \quad u(x, t) = U(\xi). \quad (2.16)$$

Thus, the invariant solutions associated with X_1 are stationary and independent of time.

Substituting

$$u_t = 0, \quad u_x = U', \quad u_{xx} = U'', \quad u_{xxx} = U''', \quad u_{xxxx} = U'''' \quad (2.17)$$

into Eq. (1.2), we obtain the reduced ordinary differential equation

$$U'' + \sigma U''' + U'''' + \beta U U' + \chi (U^2)'' = 0. \quad (2.18)$$

2.4.2. Reduction with respect to $\langle X_2 \rangle$

For the spatial translation generator

$$X_2 = \frac{\partial}{\partial x}, \quad (2.19)$$

The characteristic system is

$$\frac{dt}{0} = \frac{dx}{1} = \frac{du}{0}. \quad (2.20)$$

Thus, the invariants are

$$\xi = t, \quad u(x, t) = U(\xi). \quad (2.21)$$

Since u is independent of x , all spatial derivatives vanish:

$$u_x = u_{xx} = u_{xxx} = u_{xxxx} = 0. \quad (2.22)$$

Therefore, Eq. (1.2) reduces to

$$U'(\xi) = 0. \quad (2.23)$$

Hence,

$$U(\xi) = C, \quad (2.24)$$

where C is an arbitrary constant.

2.4.3. Reduction with respect to $\langle X_1 + cX_2 \rangle$

For the combined generator

$$X = X_1 + cX_2 = \frac{\partial}{\partial t} + c \frac{\partial}{\partial x}, \quad (2.25)$$

the associated characteristic system is

$$\frac{dt}{1} = \frac{dx}{c} = \frac{du}{0}. \quad (2.26)$$

Integrating the characteristic equations gives the similarity variable

$$\xi = x - ct, \quad (2.27)$$

while u remains invariant along the group orbits. Therefore, the invariant solution takes the form

$$u(x, t) = U(\xi). \quad (2.28)$$

Substituting the traveling-wave transformation into Eq. (1.2) yields

$$-cU' + U'' + \sigma U''' + U'''' + \beta U U' + \chi(U^2)'' = 0. \quad (2.29)$$

Using the identity

$$(U^2)'' = 2(U')^2 + 2UU'', \quad (2.30)$$

Eq. (2.29) can be rewritten in the explicit form

$$-cU' + U'' + \sigma U''' + U'''' + \beta U U' + 2\chi(U')^2 + 2\chi U U'' = 0. \quad (2.31)$$

3. EXACT WAVE STRUCTURES VIA THE RICCATI EQUATION EXPANSION APPROACH

The Riccati equation expansion approach assumes that the solution of Eq. (2.31) can be expressed as [6].

$$U(\xi) = \sum_{i=0}^N a_i \phi^i(\xi), \quad (3.1)$$

where $\phi(\xi)$ satisfies the Riccati equation

$$\phi'(\xi) = \lambda + \mu \phi^2(\xi). \quad (3.2)$$

The Riccati equation (3.2) admits the explicit solutions:

$$\phi(\xi) = \sqrt{\frac{\lambda}{\mu}} \tan(\sqrt{\lambda\mu}\xi), \quad \lambda\mu > 0, \quad (3.3)$$

$$\phi(\xi) = -\sqrt{\frac{\lambda}{\mu}} \cot(\sqrt{\lambda\mu}\xi), \quad \lambda\mu > 0, \quad (3.4)$$

$$\phi(\xi) = \sqrt{\frac{\lambda}{\mu}} \left[\tan(2\sqrt{\lambda\mu}\xi) \pm \sec(2\sqrt{\lambda\mu}\xi) \right], \quad \lambda\mu > 0, \quad (3.5)$$

$$\phi(\xi) = -\sqrt{-\frac{\lambda}{\mu}} \tanh(\sqrt{-\lambda\mu}\xi), \quad \lambda\mu < 0, \quad (3.6)$$

$$\phi(\xi) = -\sqrt{-\frac{\lambda}{\mu}} \coth\left(\sqrt{-\lambda\mu}\xi\right), \quad \lambda\mu < 0, \quad (3.7)$$

and

$$\phi(\xi) = -\frac{1}{\mu\xi}, \quad \lambda = 0. \quad (3.8)$$

3.1. Application of the Riccati Equation Expansion Approach

According to the explicit form of the reduced equation (2.31), balancing the dominant highest-order derivative term U''' with the nonlinear term UU'' gives

$$N + 4 = 2N + 2, \quad (3.9)$$

which yields

$$N = 2. \quad (3.10)$$

Therefore, the solution is assumed in the polynomial form

$$U(\xi) = \sum_{i=0}^2 a_i \phi^i(\xi) = a_0 + a_1 \phi(\xi) + a_2 \phi^2(\xi), \quad (3.11)$$

where a_0, a_1 , and a_2 are constants to be determined, and $\phi(\xi)$ satisfies the Riccati equation (3.2).

Substituting Eq. (3.11) together with Eq. (3.2) into Eq. (2.31), expressing all derivatives in terms of powers of $\phi(\xi)$, and equating the coefficients of identical powers of $\phi(\xi)$ to zero yield an overdetermined algebraic system for the unknown parameters a_0, a_1, a_2, c and χ .

Solving the resulting algebraic system, we obtain

$$c = \frac{2}{3} \lambda \mu \sigma + \frac{\sigma^3}{36} - \frac{\sigma}{6}, \quad \chi = \frac{3\beta}{\sigma}, \quad (3.12)$$

and

$$a_0 = -\frac{48\lambda\mu\sigma - \sigma^3 + 6\sigma}{36\beta}, \quad a_1 = -\frac{\mu\sigma^2}{3\beta}, \quad a_2 = -\frac{2\mu^2\sigma}{\beta}. \quad (3.13)$$

Substituting the parameter relations (3.12)-(3.13) into Eq. (3.11) and employing the explicit solutions of the Riccati equation (3.2), several classes of exact traveling-wave solutions are obtained. These solution families are presented below.

For the trigonometric Riccati solutions, the following exact traveling-wave structures are obtained.

$$u_{1,1}(x, t) = -\frac{\sigma}{36\beta} \left[72\lambda\mu \tan^2\left(\sqrt{\lambda\mu}(x - ct)\right) + 12\sqrt{\lambda\mu} \tan\left(\sqrt{\lambda\mu}(x - ct)\right) + 48\lambda\mu - \sigma^2 + 6 \right]. \quad (3.14)$$

$$u_{1,2}(x,t) = \frac{\sigma}{36\beta} \left[72\lambda\mu \cot^2(\sqrt{\lambda\mu}(x-ct)) - 12\sqrt{\lambda\mu} \cot(\sqrt{\lambda\mu}(x-ct)) + 48\lambda\mu - \sigma^2 + 6 \right]. \quad (3.15)$$

$$u_{1,3}(x,t) = -\frac{\sigma}{36\beta} \left[72\lambda\mu \tan^2 \Theta + 144\lambda\mu \tan \Theta \sec \Theta + 72\lambda\mu \sec^2 \Theta + 12\sqrt{\lambda\mu} \tan \Theta + 12\sqrt{\lambda\mu} \sec \Theta + 48\lambda\mu - \sigma^2 + 6 \right], \quad (3.16)$$

where $\Theta = 2\sqrt{\lambda\mu}(x-ct)$.

For the hyperbolic Riccati solutions, the following exact traveling-wave structures are obtained.

$$u_{2,1}(x,t) = \frac{\sigma}{36\beta} \left[72\lambda\mu \tanh^2(\sqrt{-\lambda\mu}(x-ct)) + 12\sqrt{-\lambda\mu} \tanh(\sqrt{-\lambda\mu}(x-ct)) - 48\lambda\mu + \sigma^2 - 6 \right]. \quad (3.17)$$

$$u_{2,2}(x,t) = \frac{\sigma}{36\beta} \left[72\lambda\mu \coth^2(\sqrt{-\lambda\mu}(x-ct)) + 12\sqrt{-\lambda\mu} \coth(\sqrt{-\lambda\mu}(x-ct)) - 48\lambda\mu + \sigma^2 - 6 \right]. \quad (3.18)$$

For the rational Riccati solution, the following exact traveling-wave structure is obtained:

$$u_3(x,t) = \frac{\sigma}{36\beta(x-ct)^2} \left[(\sigma^2 - 6)(x-ct)^2 + 12\sigma(x-ct) - 72 \right]. \quad (3.19)$$

4. NUMERICAL VERIFICATION BY THE FOURTH-ORDER RUNGE-KUTTA METHOD

To validate the obtained analytical traveling-wave solution, a numerical verification is performed using the classical fourth-order Runge-Kutta (RK4) method. In particular, we consider the exact hyperbolic traveling-wave solution $u_{2,1}(x,t)$ obtained in Eq. (3.17).

We choose the parameter values

$$\sigma = 1, \quad \beta = 1, \quad \lambda = 1, \quad \mu = -1. \quad (4.1)$$

From the parameter relations given in Eq. (1.2), we obtain

$$\chi = \frac{3\beta}{\sigma} = 3, \quad c = -\frac{29}{36}. \quad (4.2)$$

Under these parameter values, Eq. (3.17) reduces to

$$U_{\text{exact}}(\xi) = -2 \tanh^2(\xi) + \frac{1}{3} \tanh(\xi) + \frac{43}{36}, \quad \xi = x - ct. \quad (4.3)$$

The traveling-wave equation is integrated once with respect to ξ to obtain

$$U''' + \sigma U'' + U' - cU + \frac{\beta}{2} U^2 + \chi(U^2)' = A, \quad (4.4)$$

where substitution of Eq. (4.3) yields

$$A = -\frac{697}{2592}. \quad (4.5)$$

Introducing

$$Y_1 = U, \quad Y_2 = U', \quad Y_3 = U'', \quad (4.6)$$

Eq. (4.4) is transformed into a first-order dynamical system:

$$\begin{cases} Y_1' = Y_2, \\ Y_2' = Y_3, \\ Y_3' = A + cY_1 - Y_2 - \sigma Y_3 - \frac{\beta}{2} Y_1^2 - 2\chi Y_1 Y_2. \end{cases} \quad (4.7)$$

The initial conditions are obtained directly from the exact solution at $\xi = -2$:

$$Y_1(-2) = U_{\text{exact}}(-2), \quad Y_2(-2) = U'_{\text{exact}}(-2), \quad Y_3(-2) = U''_{\text{exact}}(-2). \quad (4.8)$$

The numerical integration is performed on the computational interval

$$-2 \leq \xi \leq 2. \quad (4.9)$$

The numerical and analytical profiles are compared in Figure 1. In addition, the numerical accuracy is quantified through the maximum error norm

$$L_{\infty} = \max_i |U_{\text{RK4}}(\xi_i) - U_{\text{exact}}(\xi_i)|, \quad (4.10)$$

and the discrete L_2 norm

$$L_2 = \left(h \sum_i |U_{\text{RK4}}(\xi_i) - U_{\text{exact}}(\xi_i)|^2 \right)^{1/2}. \quad (4.11)$$

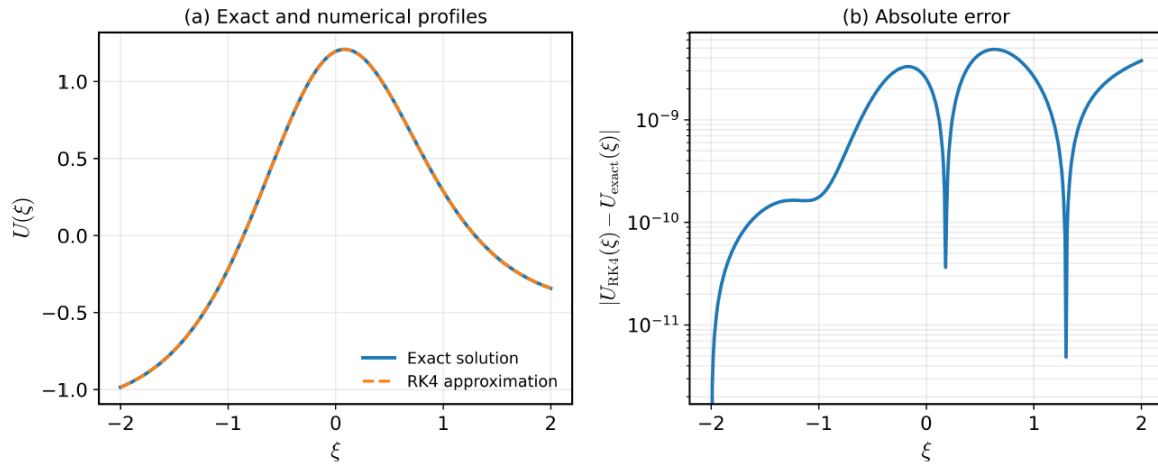


Figure 1. (a) Comparison between the exact hyperbolic traveling-wave solution obtained from Eq. (3.17) and the numerical fourth-order Runge-Kutta approximation. (b) Absolute error distribution $E(\xi) = |U_{\text{RK4}}(\xi) - U_{\text{exact}}(\xi)|$ throughout the computational domain.

The numerical and analytical profiles overlap almost perfectly, while the error remains extremely small, confirming the accuracy and fourth-order convergence of the RK4 scheme.

Table 2. Numerical verification of the exact hyperbolic traveling-wave solution by the fourth-order Runge-Kutta method

Step size h	L_{∞} error	L_2 error	Observed order
0.0200	7.7693×10^{-8}	7.3270×10^{-8}	–
0.0100	4.8518×10^{-9}	4.5574×10^{-9}	4.0012
0.0050	3.0314×10^{-10}	2.8415×10^{-10}	4.0005
0.0025	1.8943×10^{-11}	1.7737×10^{-11}	4.0003

Figure 1 and Table 2 demonstrate an excellent agreement between the analytical traveling-wave solution and the RK4 approximation. As the step size is successively halved, the numerical error decreases with a convergence rate very close to 4, confirming both the correctness of the exact solution obtained and the expected fourth-order accuracy of the RK4 scheme.

5. CONSERVATION LAWS VIA THE MULTIPLIER METHOD

In this section, local conservation laws for the generalized Kuramoto-Sivashinsky equation with nonlinear convection are derived using the multiplier method. The corresponding conserved vectors are subsequently obtained through the homotopy integral formula. Consider Eq. (1.2) in the form

$$F = u_t + u_{xx} + \sigma u_{xxx} + u_{xxxx} + \beta u u_x + \chi (u^2)_{xx} = 0. \quad (5.1)$$

A multiplier is a function

$$\Lambda = \Lambda(x, t, u, u_x, u_{xx}, u_{xxx}, u_{xxxx}), \quad (5.2)$$

satisfying the Euler-Lagrange condition

$$E_u(\Lambda F) = 0, \quad (5.3)$$

where E_u denotes the Euler operator with respect to u .

Solving the corresponding determining equations gives

$$\Lambda = C_1 + C_2 \exp\left(\frac{\beta x}{2\chi} + \kappa t\right), \quad (5.4)$$

where

$$\kappa = \frac{\beta^2(-2\beta\chi\sigma + \beta^2 + 4\chi^2)}{16\chi^4}. \quad (5.5)$$

This result is obtained under the restrictions

$$\chi \neq 0, \quad \beta \neq 0, \quad -2\beta\chi\sigma + \beta^2 + 4\chi^2 \neq 0. \quad (5.6)$$

Thus, two linearly independent multipliers are

$$\Lambda_1 = 1 \quad (5.7)$$

and

$$\Lambda_2 = \exp\left(\frac{\beta x}{2\chi} + \kappa t\right). \quad (5.8)$$

For the constant multiplier $\Lambda_1 = 1$, the first conserved vector is obtained as

$$T_1 = u, \quad (5.9)$$

and

$$X_1 = u_x + \sigma u_{xx} + u_{xxx} + \frac{\beta}{2} u^2 + \chi (u^2)_x. \quad (5.10)$$

Therefore,

$$D_t(T_1) + D_x(X_1) = u_t + u_{xx} + \sigma u_{xxx} + u_{xxxx} + \beta u u_x + \chi (u^2)_{xx} = F. \quad (5.11)$$

Hence Λ_1 yields a mass-type conservation law.

For the exponential multiplier Λ_2 , the second conserved density is

$$T_2 = u \exp\left(\frac{\beta x}{2\chi} + \kappa t\right). \quad (5.12)$$

The corresponding flux component is

$$X_2 = \exp\left(\frac{\beta x}{2\chi} + \kappa t\right) \left[2\chi u u_x + \sigma u_{xx} + u_x + u_{xxx} - \frac{\beta}{2\chi} (\sigma u_x + u + u_{xx}) + \frac{\beta^2}{4\chi^2} (\sigma u + u_x) - \frac{\beta^3}{8\chi^3} u \right]. \quad (5.13)$$

Thus,

$$D_t(T_2) + D_x(X_2) = \Lambda_2 F, \quad (5.14)$$

and consequently

$$D_t(T_2) + D_x(X_2) = 0 \quad (5.15)$$

on the solution set of Eq. (1.2). Therefore, Λ_2 generates a nontrivial weighted exponential conservation law.

Consequently, Eq. (1.2) admits two independent local conservation laws associated with the multipliers Λ_1 and Λ_2 . The first one is a mass-type conservation law, while the second one is a weighted exponential conservation law obtained through the homotopy integral construction and verified symbolically.

6. CONCLUSION

In this work, the generalized Kuramoto-Sivashinsky equation with nonlinear convection has been investigated through a combination of Lie symmetry analysis, exact solution construction, numerical verification, and conservation-law analysis. The admitted Lie point symmetries of the model were derived, and the corresponding Lie algebraic structure, finite transformations, adjoint representation, and optimal system of one-dimensional subalgebras were established. The obtained symmetry generators revealed the invariance of the governing equation under temporal and spatial translations and provided the foundation for the associated similarity reductions. By employing the optimal system, several similarity reductions were constructed. In particular, the traveling-wave reduction transformed the original nonlinear partial differential equation into an ordinary differential equation suitable for analytical treatment. The Riccati equation expansion approach was then applied to obtain several classes of exact traveling-wave solutions. The resulting solution families include trigonometric, hyperbolic, and rational wave structures, demonstrating the rich variety of nonlinear propagation regimes admitted by the model. To assess the validity of the obtained analytical solutions, a numerical verification was carried out using the classical fourth-order Runge-Kutta method. The numerical solutions were found to be in excellent agreement with the exact traveling-wave profiles. Furthermore, the computed error norms and convergence rates confirmed the expected fourth-order accuracy of the numerical scheme, thereby supporting the correctness and reliability of the analytical results. In addition, local conservation laws were derived by means of the multiplier method. Two independent multipliers were obtained, yielding both a mass-type conservation law and a nontrivial weighted exponential conservation law. These conservation-law structures provide additional information regarding the invariant and transport properties of the generalized Kuramoto-Sivashinsky equation with nonlinear convection. Overall, the coexistence of Lie

symmetries, exact traveling-wave solutions, numerical consistency, and conservation laws demonstrates that the considered model possesses a rich mathematical structure governed by the interplay of nonlinear convection, dispersion, dissipation, and nonlinear transport effects. The analytical framework developed in this work may also be applied to other nonlinear evolution equations arising in mathematical physics and related areas, where symmetry methods and conservation laws play a fundamental role in understanding nonlinear wave phenomena.

REFERENCES

- [1] Drazin, P. G., Johnson, R. S., Solitons: an introduction, Vol. 2, Cambridge University Press, Cambridge, 1989.
- [2] Ablowitz, M. J., Nonlinear dispersive waves: asymptotic analysis and solitons, Vol. 47, Cambridge University Press, Cambridge, 2011.
- [3] Olver, P. J., Applications of Lie groups to differential equations, Vol. 107, Springer Science & Business Media, 1993.
- [4] Kudryashov, N. A., Traveling wave solutions of the Kuramoto-Sivashinsky equation with nonlinear convection, Physics Letters A, 131644, 2026.
- [5] Bluman, G. W., Anco, S. C., Symmetry and integration methods for differential equations, Springer New York, New York, NY, 2002.
- [6] Mirzazadeh, M., Ekici, M., Sonmezoglu, A., Eslami, M., Zhou, Q., Kara, A. H., ... Belić, M., Optical solitons with complex Ginzburg–Landau equation, Nonlinear Dynamics, 85(3), 1979-2016, 2016.
- [7] Butcher, J. C., Numerical methods for ordinary differential equations, John Wiley & Sons, 2016.
- [8] Naz, R., Conservation laws for some compacton equations using the multiplier approach, Applied Mathematics Letters, 25(3), 257-261, 2012.

SOME CATEGORICAL PROPERTIES OF 3-GROUPS

MİRAC YILMAZ

Bilecik Şeyh Edebali University, mtmiracyilmaz@gmail.com 0009-0002-0121-365X

Doç. Dr. Elif ILGAZ ÇAĞLAYAN

Bilecik Şeyh Edebali University, elif.caglayan@bilecik.edu.tr-0000-0002-4202-6570

Abstract

We know that crossed modules serve as an algebraic model for 2-dimensional groups. For 3-dimensional groups however crossed squares cat2-groups 2-crossed modules quadratic modules and simplicial groups of length 2 can be provided as algebraic models. In this study we will work with the categories of crossed squares and cat2-groups which are categorically equivalent to each other. Stating that these categories are categorically equivalent to one another we will also include the definitions of the concept of action within these categories.

Keywords: Crossed Modules, Crossed Squares, Cat²-groups, Action

BULANIK KÜMELERİN TIBBİ UYGULAMALARI

Prof. Dr. Himmet CAN

Erciyes Üniversitesi, can@erciyes.edu.tr-0000-0001-8485-6815

Ufuk ÖNER

Erciyes Üniversitesi, onerufuk1907@gmail.com-0009-0007-0817-7926

ÖZET

Bu araştırma; tıpta tanı ve tedavi için, bulanık küme teorisinden nasıl faydalanılacağını somut bir şekilde örneklendirerek, hastalıkların tedavisinin tasarlamada ve kullanılacak ilaçların miktarının doz ayarlarının ne düzeyde olacağına dair karar verme sürecini belirleyen bir matematiksel model oluşturmada bulanık küme teorisinin nasıl kullanılacağı gösterilmektedir. Bulanık küme, klasik kümeden farklı olarak bir derecelendirmeyi, bir geçişi ve sürekliliği ifade etmektedir. Bu araştırma da ilk aşama olarak bulanık küme kavramı ve temel kavramlar ele alınacaktır. İkinci aşama da bulanık kümelerde birleşim, kesişim, tümleme ve kapsama başlıkları altında bulanık kümelerde mantıksal işlemler ele alınacaktır. Üçüncü aşamada ögelere dayalı (genişletme) aritmetik işlemler başlığı altında toplama işlemi, çıkarma işlemi, çarpma işlemi, bölme işlemi tanımlanacak olup, alfa kesimi ile aritmetik işlemler başlığı altında alfa kesimine göre bulanık sayıların toplanması, çıkarılması, çarpılması ve bölünmesi konuları ele alınacaktır. Bulanık sayılar ile yapılan işlemler sonucunda elde edilen yeni bulanık kümeden bir çıkarım yapılarak, yani bulanık sayılar ile yapılan işlemlerden sonra elde edilen bulanık çıktı kümesinin kesin bir değere dönüştürülmesi için durulaştırma konusu tanımlanacaktır. Bu anlayış ve yaklaşım biyolojik süreçlerin dolayısıyla da tıbbın doğasına uymaktadır. Ayrıca son zamanlarda tıpta artan bir biçimde teknoloji ile bütünleşmekte ve bunun sonucu olarak tıp ve tıbbi uygulamalar adeta mühendislik uygulamalarına dönüşmektedir. Bu nedenle, bulanık kümeler ve bunun bir sonucu olan bulanık mantık, hem tıbbın doğasını ifade etme de hem de tıpta tanı ve tedavi uygulamalarını açıklamada ve tasarlamakta kullanılmaktadır. Bu çalışma da kullanılacak ilaçların miktarını doz gramajlarının nasıl ayarlanacağına dair karar verme sürecini belirleyen bir matematiksel model oluşturmada bulanık küme teorisinin nasıl kullanılacağı gösterilmektedir. Bu model kişiye özel tedavi planlaması ve ilaçların hangi miktarda verileceğine yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Küme, Bulanık kümelerde dört işlem, Tıbbi uygulamalar.

THE GEOMETRY OF CENTRODES OF CONSTANT SLOPE CURVES

Asst. Prof. Dr. ÇAĞLA RAMİS İLGÜZ

Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, cramis@nevsehir.edu.tr - 0000-0002-2809-8324

ABSTRACT

Constant slope curves can be defined as spatial curves whose specified vector fields make a constant angle with a fixed axis. These types of curves occupy a central role in classical differential geometry, modern computer-aided geometric design (CAGD), mechanism design, and biomechanics. In this study, the intrinsic geometry of constant slope curves is investigated through their centrodes. We obtain remarkable relations between several members of the constant slope family and their centrodes. Furthermore, the kinematical interpretation of the centrodes leads to new conclusions through the duality between these curves.

Keywords : Centrode, helical curves, rectifying curve, Salkowski curve.

THE DUAL PYTHAGOREAN CONDITIONS AND THEIR EFFECTS ON CURVES

Asst. Prof. Dr. ÇAĞLA RAMİS İLGÜZ

Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, cramis@nevsehir.edu.tr - 0000-0002-2809-8324

Batuhan ÖZKARA

Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, batuhanozkara30@gmail.com - 0009-0009-9682-3581

ABSTRACT

Polynomial and rational curves can be seen as applicable materials for robotics, mechanics, computer-aided design, and animation. In differential geometry, in order to make these materials more convenient for engineering calculations, some additional conditions are investigated. The first one is to check whether the hodograph, or velocity vector field, of a curve can be defined by a polynomial Pythagorean triple. If the answer is yes, then the second condition is based on the Pythagorean condition for the norm of the cross product of its velocity and acceleration vector fields. If both conditions are satisfied, then the curve and its orthonormal frame become rational, and the behavior of the curve can be interpreted by specific curves. In this study, we investigate both conditions for specific curves such as cylindrical helices and proper slant helices.

Keywords : Pythagorean theorem, hodograph, proper slant helix.

YAMABE SOLITON STRUCTURE ON COTANGENT BUNDLE ACCORDING TO RIEMANNIAN EXTENSION METRIC

Assoc. Prof. Dr. Lokman BİLEN

Iğdır University, lokman.bilen@igdir.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8240-5359

ABSTRACT

Geometric flows serve as crucial analytical tools in differential geometry, facilitating the study of metric deformation. Let $T^*(M)$ be the cotangent bundle with the Riemannian extension metric on an n -dimensional Riemannian manifold M . Our aim in this article is to investigate the structures of Yamabe soliton, conformal Yamabe soliton and quasi Yamabe soliton with respect to the Riemannian extension metric on the cotangent bundle.

Keywords: Yamabe flow, Yamabe solitons, cotangent bundle, Riemannian extension metric, conformal vector fields.

1. INTRODUCTION

Geometric flows represent a class of partial differential equations that describe how geometric structures, particularly metrics, evolve over time on differentiable manifolds. Among these, the *Ricci flow*, introduced by Hamilton [6], is one of the most influential. The Ricci flow evolves the metric of a Riemannian manifold in a way that tends to "smooth out" irregularities in curvature, playing a central role in Grigori Perelman's proof of the Poincare conjecture. Another important flow is the *Yamabe flow*, originally proposed by Hidehiko Yamabe. This flow modifies the metric to achieve a uniform scalar curvature while preserving the conformal class of the metric. The Yamabe flow is especially significant in problems concerning conformal geometry and scalar curvature deformation. Yamabe solitons are self-similar solutions to the Yamabe flow and are defined by the existence of a vector field X on a Riemannian manifold (M, g) such that the metric satisfies a particular soliton equation involving the Yamabe curvature. These structures serve as steady, shrinking, or expanding models of the Yamabe flow and provide insights into its long-term behavior. A Yamabe soliton is said to be of gradient type if the vector field X is the gradient of a smooth function. These solitons reflect fixed geometric configurations under the Yamabe flow, and their study reveals important properties about curvature and topology of the underlying manifold. Negative Yamabe curvature in such soliton settings typically implies contraction behaviors and is indicative of certain topological and geometric features. Ricci and Yamabe solitons can be viewed as fixed points or self-similar solutions to their respective flows. These structures not only contribute to the study of geometric analysis but also provide valuable tools for addressing broader questions in differential geometry.

“Several authors have explored Yamabe soliton structures in different contexts. For instance, Chen and Deshmukh [4] introduced the concept of quasi-Yamabe solitons on Riemannian manifolds. Güler and Crasmareanu [10] introduced the notion of Ricci-Yamabe flow by considering a scalar combination of the Ricci flow and Yamabe flow. Dey and Majhi [6] studied generalized gradient Ricci-Yamabe solitons on complete Sasakian 3-manifolds. Gezer, Bilen and De [7] explored almost Ricci and almost Yamabe soliton structures on the tangent bundle using the ciconia metric. Recently, De, De and Gezer [5] studied k -almost Yamabe solitons for the perfect fluid spacetime of general relativity. They obtain a number of interesting results. In particular, they constructed two examples to prove the existence of k -almost Yamabe solitons. Yan, Li, Bilen and Gezer [15] explore Yamabe and gradient Ricci-Yamabe solitons on the tangent bundle TM according to the twisted Sasaki metric. Ghosh [9] study Yamabe soliton and quasi Yamabe soliton on Kenmotsu manifold[7].” In [13] the authors demonstrating a rigorous theoretical exploration of gradient almost Yamabe solitons, deep connections to manifold theory through sophisticated geometric analysis and similarly in [3] the researchers presents a rigorous mathematical analysis of gradient Yamabe solitons, offering substantial theoretical contributions through a novel global warped product structure and comprehensive classification theorem. Also Venkatesha and Naik[14] in their research provides a comprehensive theoretical analysis of Yamabe solitons on contact metric manifolds, demonstrating rigorous geometric insights through original proofs about scalar curvature, Sasakian properties, and flow vector field behaviors. The study offers substantial contributions to manifold theory by exploring intricate mathematical relationships between geometric structures, flow dynamics, and curvature conditions.

In summary geometric flows such as the Ricci and Yamabe flows, along with their associated soliton solutions, constitute a fundamental area of research in modern differential geometry. They provide powerful mathematical tools for comprehending manifold evolution and changes, contributing to the derivation of numerous mathematical theorems and results. Their applications extend from pure mathematical theory to theoretical physics. Ongoing studies continue to uncover deeper connections between flow dynamics, curvature evolution, and manifold topology.

2. PRELIMINARIES

2.1. The Cotangent Bundle

Let M be an n –dimensional differentiable manifold with a torsion-free connection ∇ , T^*M be its cotangent bundle and π be the natural projection $\pi : T^*M \rightarrow M$. A system of local coordinates (U, x^i) , $i = 1, \dots, n$ in M induces on T^*M a system of local coordinates $(\pi^{-1}(U), x^i, x^{\bar{i}} = p_i)$, $\bar{i} = n + i = n + 1, \dots, 2n$, where $x^{\bar{i}} = p_i$ are components of covectors p in each cotangent space T_x^*M , $x \in U$ with respect to the natural coframe $\{dx^i\}$.

“Let $X = X^i \partial_i$ and $\omega = \omega_i dx^i$ be the local expressions in U of a vector field X and covector (1-form) field ω on M , respectively. Then the vertical lift $^V\omega$ of ω , the horizontal lift $^H X$ and the complete lift $^C X$ of X are given, with respect to the induced coordinates, by

$${}^V\omega = \omega_i \partial_{\bar{i}}, \quad (1)$$

$${}^H X = X^i \partial_i + p_h \Gamma_{ij}^h X^j \partial_{\bar{i}} \quad (2)$$

and

$${}^C X = X^i \partial_i - p_h \partial_i X^h \partial_{\bar{i}},$$

where $\partial_i = \frac{\partial}{\partial x^i}$, $\partial_{\bar{i}} = \frac{\partial}{\partial x^{\bar{i}}}$ and Γ_{ij}^h are the coefficients of a symmetric (torsion-free) affine connection ∇ on M .

The Lie bracket operation of vertical and horizontal vector fields on T^*M is given by the formulas

$$\begin{aligned} [{}^H X, {}^H Y] &= {}^H [X, Y] + {}^V (p \circ R(X, Y)), \\ [{}^H X, {}^V \omega] &= {}^V (\nabla_X \omega), \\ [{}^V \theta, {}^V \omega] &= 0 \end{aligned}$$

for any $X, Y \in \mathfrak{S}_0^1(M)$ and $\theta, \omega \in \mathfrak{S}_1^0(M)$, where R is the curvature tensor of the symmetric connection ∇ defined by $R(X, Y) = [\nabla_X, \nabla_Y] - \nabla_{[X, Y]}$, (for details, see [16]).”

2.2. Expressions in the Adapted Frame

“We will use the adapted frame that simplifies our tensor calculations in the cotangent bundle T^*M . With the symmetric affine connection ∇ in M , we can introduce the adapted frame on each induced coordinate neighbourhood $\pi^{-1}(U)$ of T^*M . In each local chart $U \subset M$, if we write

$$X_{(j)} = \frac{\partial}{\partial x^j}, \theta^{(j)} = dx^j, j = 1, \dots, n,$$

then from (1) and (2), we can see that these vector fields have, respectively, the local expressions

$$\begin{aligned} {}^H X_{(j)} &= \partial_j + p_a \Gamma_{hj}^a \partial_{\bar{h}}, \\ {}^V \theta^{(j)} &= \partial_{\bar{j}} \end{aligned}$$

with respect to the natural frame $\{\partial_j, \partial_{\bar{j}}\}$. These $2n$ – vector fields are linearly independent and they generate the horizontal distribution of ∇ and the vertical distribution of T^*M , respectively. The set $\{{}^H X_{(j)}, {}^V \theta^{(j)}\}$ is called the frame adapted to connection ∇ in $\pi^{-1}(U) \subset T^*M$. By putting

$$\begin{cases} E_j = {}^H X_{(j)}, \\ E_{\bar{j}} = {}^V \theta^{(j)}, \end{cases} \quad (3)$$

we can write the adapted frame as $\{E_\alpha\} = \{E_j, E_{\bar{j}}\}$.

Using (1), (2) and (3), we have ${}^V \omega = \omega_j E_{\bar{j}}$ and ${}^H X = X^j E_j$ with respect to the adapted frame $\{E_\alpha\}$ ” (for details, see [16]). By the straight-forward calculations, we have the lemma below.

“Lemma 1. *The Lie brackets of the adapted frame of T^*M satisfy the following identities*

$$\begin{aligned}[E_i, E_j] &= p_s R_{ijl}^s E_{\bar{l}}, \\ [E_i, E_{\bar{j}}] &= -\Gamma_{il}^j E_{\bar{l}}, \\ [E_{\bar{i}}, E_{\bar{j}}] &= 0,\end{aligned}$$

where R_{ijl}^s denote the components of the curvature tensor of the symmetric connection ∇ ” [16].

2.3. The Riemannian Extension Metric on the Cotangent Bundle

“The Riemannian extension metric $\tilde{g} \in \mathfrak{S}_2^0(T^*M)$ describes a pseudo-Riemannian metric in T^*M . The line element of the Riemannian extension $\tilde{g}$ is determined by

$$\tilde{g} = -p_a \Gamma_{ij}^a dx^i dx^j + 2\delta_i^j dx^i \delta p_j$$

where $\delta p_i = dp_i - p_h \Gamma_{ji}^h dx^j$. The pseudo-Riemannian metric $\tilde{g}$ has the components

$$(\tilde{g})_{IJ} = \begin{pmatrix} -p_a \Gamma_{ij}^a & \delta_i^j \\ \delta_j^i & 0 \end{pmatrix}$$

with respect to induced coordinates (x^i, p_i) , where Γ_{ij}^s are the coefficients of the Levi-Civita connection ∇ .

The Riemannian extension $\{(\tilde{g})_{IJ}\}$ and its inverse $\{(\tilde{g})^{IJ}\}$ have the following components with respect to the adapted frame $\{E_\alpha\}$, respectively,

$$(\tilde{g})_{IJ} = \begin{pmatrix} 0 & \delta_i^j \\ \delta_j^i & 0 \end{pmatrix}$$

and

$$(\tilde{g})^{IJ} = \begin{pmatrix} 0 & \delta_i^j \\ \delta_j^i & 0 \end{pmatrix}$$

Now, we will calculate the Levi-Civita connection $\tilde{\nabla}$ of the Riemannian extension $\tilde{g}$. The coefficients of the Levi-Civita connection $\tilde{\nabla}$ can be found with

$$\tilde{\Gamma}_{\gamma\beta}^\alpha = \frac{1}{2} \tilde{g}^{\alpha\varepsilon} (E_\gamma \tilde{g}_{\varepsilon\beta} + E_\beta \tilde{g}_{\gamma\varepsilon} - E_\varepsilon \tilde{g}_{\gamma\beta}) + \frac{1}{2} (\Omega_{\gamma\beta}^\alpha + \Omega_{\gamma\beta}^\alpha + \Omega_{\beta\gamma}^\alpha),$$

where

$$\begin{aligned}\Omega_{\gamma\beta}^\alpha &= \tilde{g}^{\alpha\varepsilon} \tilde{g}_{\delta\beta} \Omega_{\varepsilon\gamma}^\delta, \\ \Omega_{ji}^{\bar{h}} &= p_s R_{jih}^s, \\ \Omega_{j\bar{i}}^{\bar{h}} &= -\Omega_{ij}^{\bar{h}} = -\Gamma_{jh}^i\end{aligned}$$

and it will be used as $\gamma = j, \bar{j}$ $\beta = i, \bar{i}$ $\alpha = h, \bar{h}$ $\varepsilon = k, \bar{k}$ $\delta = m, \bar{m}$.

For the Levi-Civita connection $\tilde{\nabla}$ of the Riemannian extension $\tilde{g}$, we give the following proposition.” [12].

Proposition 2. [2] “Let (M, g) be a Riemannian manifold and $(T^*M, \tilde{g})$ be its cotangent bundle with the Riemannian extension. The Levi-Civita connection $\tilde{\nabla}$ of the Riemannian extension $\tilde{g}$ on T^*M is locally given by

$$\begin{aligned}\tilde{\nabla}_{E_i} E_j &= \Gamma_{ij}^h E_h + p_s R_{hji}^s E_{\bar{h}} \\ \tilde{\nabla}_{E_i} E_{\bar{j}} &= -\Gamma_{ih}^j E_{\bar{h}} \\ \tilde{\nabla}_{E_{\bar{i}}} E_j &= 0 \\ \tilde{\nabla}_{E_{\bar{i}}} E_{\bar{j}} &= 0\end{aligned}$$

where R is the Riemannian curvature tensor of g .”

“The Riemannian curvature tensor are found with

$$\tilde{R}_{\delta\gamma\beta}^{\alpha} = E_{\delta} \tilde{\Gamma}_{\gamma\beta}^{\alpha} - E_{\gamma} \tilde{\Gamma}_{\delta\beta}^{\alpha} + \tilde{\Gamma}_{\delta\varepsilon}^{\alpha} \tilde{\Gamma}_{\gamma\beta}^{\varepsilon} - \tilde{\Gamma}_{\gamma\varepsilon}^{\alpha} \tilde{\Gamma}_{\delta\beta}^{\varepsilon} - \Omega_{\delta\gamma}^{\varepsilon} \tilde{\Gamma}_{\varepsilon\beta}^{\alpha}.$$

Here it will be used as $\gamma = j, \bar{j}$ $\beta = i, \bar{i}$ $\alpha = h, \bar{h}$ $\varepsilon = k, \bar{k}$ $\delta = m, \bar{m}$. In the following proposition, we give components of the Riemannian curvature tensor of the Riemannian extension $\tilde{g}$.” [7]

Proposition 3. “Let (M, g) be a Riemannian manifold and $(T^*M, \tilde{g})$ be its cotangent bundle with the Riemannian extension. Then the corresponding Riemannian curvature tensor $\tilde{R}$ is locally given by

$$\begin{aligned}\tilde{R}_{ijk}^h &= R_{ijk}^h, \\ \tilde{R}_{ijk}^{\bar{h}} &= p_s (\nabla_i R_{hjk}^s - \nabla_j R_{hki}^s), \\ \tilde{R}_{ij\bar{k}}^{\bar{h}} &= R_{jih}^k, \\ \tilde{R}_{i\bar{j}k}^{\bar{h}} &= R_{khi}^j, \\ \tilde{R}_{\bar{i}jk}^{\bar{h}} &= R_{hjk}^i\end{aligned}$$

and other components are zero” (see also [8]).

Now, we consider the Ricci and scalar curvature tensors. With the help of Proposition 3 and standard calculations give the following results.

Proposition 4. “[7] Let (M, g) be a Riemannian manifold and $(T^*M, \tilde{g})$ be its cotangent bundle with the Riemannian extension. Then the corresponding Ricci curvature tensor is given by

$$\begin{aligned}\tilde{R}_{jk} &= R_{jk} + R_{kj} = 2R_{jk}, \\ \tilde{R}_{j\bar{k}} &= R_{j\bar{k}} + R_{\bar{k}j} = 0.\end{aligned}\tag{4}$$

Using (4), we calculate

$$\tilde{r} = (\tilde{g})^{\alpha\beta} \tilde{R}_{\alpha\beta} = (\tilde{g})^{jk} \tilde{R}_{jk} + (\tilde{g})^{\bar{j}k} \tilde{R}_{\bar{j}k} + (\tilde{g})^{j\bar{k}} \tilde{R}_{j\bar{k}} + (\tilde{g})^{\bar{j}\bar{k}} \tilde{R}_{\bar{j}\bar{k}} = 0.”$$

Hence, we have

Proposition 5. “[7]Let (M, g) be a Riemannian manifold and $(T^*M, \tilde{g})$ be its cotangent bundle with the Riemannian extension. Then the corresponding scalar curvature tensor $\tilde{r}$ is zero”.

3. MAIN RESULTS

3.1. Yamabe Soliton Structure

“In recent years, some geometric flows and their possible singularity models as called solitons have become popular following Grigori Perelman’s proof of the Geometrization Conjecture. One of the most notable of these flow equations is the Yamabe flow equation, introduced Hidehiko Yamabe, is a distinct type of geometric flow. Its goal is to adjust the metric structure of a Riemannian manifold while keeping the Yamabe curvature constant. The Yamabe curvature reflects a particular property of the manifold’s metric, and this flow emphasizes those features. Yamabe flow is fundamental in geometric analysis, offering insights into the transformation and development of metric structures on manifolds. Hamilton in the 1980s to prove the Yamabe problem, which searches for a metric on a compact Reimannian manifold (M, g) of dimension $n \geq 3$ that obeys the original metric g while preserving a constant scalar curvature. Yamabe flow, introduced by a Yamabe flow deforms a given manifold by evolving its metric $g(t)$ according to

$$\frac{\partial}{\partial t} g(t) = -r_{g(t)} g(t), \quad g(0) = g_0$$

where $r_{g(t)}$ denotes the scalar curvature of $g(t)$. Yamabe solitons are mathematical tools used to analyze and describe the metric structures of Riemannian manifolds. These solitons represent a unique class, defined on a Riemannian manifold (M, g) via a particular vector field X . The vector field X defines a soliton that influences the Yamabe curvature of the manifold, which serves as a measure of the metric’s geometric properties. A negative Yamabe curvature signifies distinct curvature and contraction behaviors within the manifold. Yamabe solitons, which are self-similar solutions of the Yamabe flow, are defined by a smooth vector field V on a Riemannian manifold (M, g) as follows:

$$\frac{1}{2} L_V g = (r - \lambda) g$$

for $\lambda \in \mathbb{R}$, and L_V represents the Lie derivative along V , denoted as the soliton vector field. Based on whether $\lambda > 0$, $\lambda = 0$ or $\lambda < 0$, (M, g) is called shrinking, steady or expanding Yamabe soliton respectively.” [7]

Theorem 6. “[7]Let (M, g) be a Riemannian manifold of diemension $n \geq 2$, $\tilde{g} = 2\delta_i^j dx^i \delta p_j$ is a Riemannian extension metric on cotangent bundle T^*M . The $(T^*M, \tilde{g}, \lambda)$ is a Yamabe soliton if and only if $\tilde{X}$ is a conformal vector field and following conditions are satisfy

- i. $\lambda = -\frac{1}{n} (\nabla_j v^j + \partial_{\bar{j}} v^{\bar{i}}),$
- ii. $v^a R_{ka j}^s + \Gamma_{hk}^s (\partial_{\bar{h}} v^{\bar{j}}) = 0$
- iii. $\nabla_k v^{\bar{j}} = 0.$

where $\tilde{X} = v^a E_a + v^{\bar{a}} E_{\bar{a}}$ is a vector field on cotangent bundle according to adapted frame $\{E_\beta\}$.”

Proof. To carry out our proof, we need to find the scalar λ that satisfies the $\frac{1}{2} L_{\tilde{X}} \tilde{g}_{IJ} = (\tilde{r} - \lambda) \tilde{g}_{IJ}$ condition. For this, we can write the following equations.

$$\frac{1}{2} L_{\tilde{X}} \tilde{g}_{ij} = -\lambda \tilde{g}_{ij} \quad (5)$$

and

$$\frac{1}{2} L_{\tilde{X}} \tilde{g}_{\bar{i}\bar{j}} = -\lambda \tilde{g}_{\bar{i}\bar{j}}. \quad (6)$$

From (5), we can write $p_s v^a R_{kaj}^s - v^{\bar{a}} \Gamma_{kj}^{\bar{a}} + (E_k v^{\bar{j}}) = 0$.

From which, we have following equalities

$$v^a R_{kaj}^s + \Gamma_{hk}^s (\partial_{\bar{h}} v^{\bar{j}}) = 0$$

and

$$\nabla_k v^{\bar{j}} = 0.$$

Also, the following equation is written from equation (6)

$$E_j v^k + v^a \Gamma_{aj}^k + (E_{\bar{k}} v^{\bar{j}}) = -\lambda \delta_j^k.$$

Contracting with both sides of last equation, the following conclusion is reached

$$\lambda = -\frac{1}{n} (\nabla_j v^j + \partial_{\bar{j}} v^{\bar{i}}).$$

However, because of the scalar curvature of Riemannian extension metric is zero, we can write

$$L_{\tilde{X}} \tilde{g} = -2\lambda \tilde{g}.$$

This means that the vector field $\tilde{X}$ is a conformal vector field. By following the above steps in reverse, the statements of the theorem can be easily established. Thus, the proof is complete.

3.2. Quasi-Yamabe Soliton Structure

“In 2018, the notion of a quasi-Yamabe soliton on a Riemannian manifold is defined by Chen and Deshmukh [4], as follows:

$$(L_V g)(\xi_1, \xi_2) = 2(r - \lambda)g(\xi_1, \xi_2) + 2\mu V^\#(\xi_1) \otimes V^\#(\xi_2), \quad (7)$$

for any vector fields ξ_1 and ξ_2 . Here $V^\#$ is the dual 1 – form of potential vector field V , λ is a constant and μ is a smooth function.”

Now we will express the following two Lemma that we will use in the proof of our theorem.

Lemma 7. The Lie derivative of Riemannian extension metric, with respect to fibre-preserving vector field ${}^c X$ is given as follows:

$$L_{c_X} \tilde{g} = 2(v^a \Gamma_{ai}^j) dx^i \delta p_j + 2p_s \left(v^a R_{jai}^s - \nabla_j (\partial_i v^s) \right) dx^i dx^j$$

where potential vector field ${}^c X = (v^h, -p_s \partial_h v^s)$ is a fibre-preserving vector field on cotangent bundle T^*M according to adapted frame $\{E_\beta\}$.

Here, the vector field ${}^c X^\#$, which is the dual of the vector field ${}^c X$ concerning the Riemannian extension metric $\tilde{g}$, is expressed as follows in our forthcoming theorem.

$$\begin{aligned} {}^c X_j^\# &= {}^c X^l \tilde{g}_{lj} = {}^c X^i \tilde{g}_{ij} + {}^c X^{\bar{i}} \tilde{g}_{\bar{i}j} = -p_s \partial_j v^s, \\ {}^c X_{\bar{j}}^\# &= {}^c X^l \tilde{g}_{l\bar{j}} = {}^c X^i \tilde{g}_{i\bar{j}} + {}^c X^{\bar{i}} \tilde{g}_{\bar{i}\bar{j}} = v^j \end{aligned}$$

and hence

$$({}^c X^\#) = \begin{bmatrix} {}^c X_j^\# \\ {}^c X_{\bar{j}}^\# \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -p_s \partial_j v^s \\ v^j \end{bmatrix}.$$

Additionally, obtaining the following equalities, which we will use in our upcoming theorem, will provide convenience

$$\begin{aligned} {}^c X_l^\# \otimes {}^c X_j^\# &= {}^c X_l^\# \otimes {}^c X_j^\# + {}^c X_l^\# \otimes {}^c X_{\bar{j}}^\# + {}^c X_{\bar{l}}^\# \otimes {}^c X_j^\# + {}^c X_{\bar{l}}^\# \otimes {}^c X_{\bar{j}}^\# \\ &= [p_s p_l (\partial_i v^s) (\partial_j v^l)] dx^i dx^j + 2[p_s (\partial_i v^s) v^j] dx^i \delta p_j + [v^i v^j] \delta p_i \delta p_j. \end{aligned}$$

Theorem 8. Let (M, g) be a Riemannian manifold of dimension $n \geq 2$, $\tilde{g} = 2\delta_i^j dx^i \delta p_j$ is a Riemannian extension metric on cotangent bundle T^*M . The $(T^*M, \tilde{g}, {}^c X, \lambda, \mu)$ is a quasi Yamabe soliton if and only if following conditions are satisfy

- i. $\lambda = -\frac{1}{2n} \Gamma_{ia}^i v^a$,
- ii. $v^a R_{jai}^s = \nabla_j (\partial_i v^s)$,
- iii. $(\partial_i v^s) v^j = 0$,
- iv. $(\partial_i v^s) (\partial_j v^l) = 0$,
- v. $v^i v^j = 0$

where potential vector field is consider as ${}^c X = (v^h, -p_s \partial_h v^s)$ is a fibre-preserving vector field on cotangent bundle T^*M according to adapted frame $\{E_\beta\}$ and $\lambda \in \mathbb{R}$.

Proof. From the equation (7), we have

$$\begin{aligned} L_{c_X} \tilde{g}_{IJ} &= -2\lambda \tilde{g}_{IJ} + 2\mu {}^c X_I^\# \otimes {}^c X_J^\#, \\ (v^a \Gamma_{ai}^j) dx^i \delta p_j + p_s \left(v^a R_{jai}^s - \nabla_j (\partial_i v^s) \right) dx^i dx^j &= -\lambda \delta_i^j dx^i \delta p_j + \mu [p_s p_l (\partial_i v^s) (\partial_j v^l)] dx^i dx^j \\ &\quad + 2\mu [p_s (\partial_i v^s) v^j] dx^i \delta p_j + \mu [v^i v^j] \delta p_i \delta p_j. \end{aligned}$$

Form which, we can write

$$p_s \left(v^a R_{jai}^s - \nabla_j (\partial_i v^s) \right) = \mu p_s p_l (\partial_i v^s) (\partial_j v^l), \quad (8)$$

$$v^a \Gamma_{ai}^j = -\lambda \delta_i^j + 2\mu p_s (\partial_i v^s) v^j \quad (9)$$

and

$$\mu v^i v^j = 0.$$

From the equation (8), we obtain $v^a R_{jai}^s = \nabla_j (\partial_i v^s)$ and $(\partial_i v^s)(\partial_j v^l) = 0$.

In equation (9), we have $(\partial_i v^s) v^j = 0$ and contracting with $-\frac{1}{2n} \delta_j^i$, both sides of the equation (9), the following conclusion is reached

$$\lambda = -\frac{1}{2n} \Gamma_{ia}^i v^a.$$

By following the above steps in reverse, the statements of the theorem can be easily established. Thus, the proof is complete.

3.3. Conformal Yamabe Soliton Structure

“A Riemannian or pseudo-Riemannian manifold (M, g) of dimension n is considered to admit a conformal Yamabe soliton if it satisfies the equation:

$$L_V g + \left[2\lambda - 2r - \left(\rho + \frac{2}{n} \right) \right] g = 0,$$

where $L_V g$ represents the Lie derivative of the metric g along the vector field V , r is the scalar curvature and λ is a constant, ρ is a scalar non-dynamical field (time dependent scalar field), n is the dimension of the manifold. The conformal Yamabe soliton is classified as shrinking, steady, or expanding, depending on whether λ is positive, zero, or negative, respectively. Furthermore, the conformal Yamabe soliton defined on the cotangent bundle T^*M with the Riemannian extension metric $\tilde{g}$, can be expressed as:

$$L_{\tilde{X}} \tilde{g} + \left[2\lambda - 2\tilde{r} - \left(\rho + \frac{1}{n} \right) \right] \tilde{g} = 0. \quad (10)$$

Here, $\tilde{r}$ denotes the scalar curvature of $\tilde{g}$, $\tilde{X}$ is potential vector field and $\lambda \in \mathbb{R}$.” [7]

Theorem 9. Let (M, g) be a Riemannian manifold of dimension $n \geq 2$, $\tilde{g} = 2\delta_i^j dx^i \delta p_j$ is a Riemannian extension metric on cotangent bundle T^*M . The $(T^*M, \tilde{g}, {}^cX, \lambda)$ is a conformal Yamabe soliton if and only if following conditions are satisfy

$$i. \lambda = -\frac{1}{2n} v^a \Gamma_{ai}^i + \frac{1}{2} \rho + \frac{1}{2n}$$

$$ii. v^a R_{jai}^s = \nabla_j (\partial_i v^s)$$

where potential vector field is consider as ${}^cX = (v^h, -p_s \partial_h v^s)$ is a fibre-preserving vector field on cotangent bundle T^*M according to adapted frame $\{E_\beta\}$ and $\lambda \in \mathbb{R}$.

Proof. Using Lemma 7 in equation (10), we can write

$$(v^a \Gamma_{ai}^j) dx^i \delta p_j + p_s (v^a R_{jai}^s - \nabla_j (\partial_i v^s)) dx^i dx^j + \left[2\lambda - 2\tilde{r} - \left(\rho + \frac{1}{n} \right) \right] \delta_i^j dx^i \delta p_j = 0.$$

From which, we get

$$v^a \Gamma_{ai}^j + \left(2\lambda - \rho - \frac{1}{n}\right) \delta_i^j = 0 \quad (11)$$

and

$$v^a R_{jai}^s - \nabla_j (\partial_i v^s) = 0.$$

Contracting with δ_j^i , both sides equation (11) and necessary actions are taken, we have

$$\lambda = -\frac{1}{2n} v^a \Gamma_{ai}^i + \frac{1}{2} \rho + \frac{1}{2n}.$$

By following the above steps in reverse, the statements of the theorem can be easily established. Thus, the proof is complete.

REFERENCES

- [1] Abbassi, M. T. K., Sarih, M. On some hereditary properties of Riemannian g-natural metrics on tangent bundles of Riemannian manifolds, Difer. Geom. Appl., 22, 1, 19-47, 2005.
- [2] Aslanci, S., Kazimova, S., Salimov, A.A. Some notes concerning Riemannian extensions, Ukrainian Math. J., 62, 661-675, 2010.
- [3] Cao, H.D., Sun, X., Zhang, Y. On the structure of gradient Yamabe solitons, Math. Res. Lett., 19, 767-774, 2012.
- [4] Chen, B., Deshmukh, S. Yamabe and Quasi-Yamabe Solitons on Euclidean Submanifolds, Mediterranean Journal of Mathematics, 15,194, 2018.
- [5] De, K., De, U. C., Gezer, A. Perfect fluid spacetimes and k -almost Yamabe solitons, Turkish J. Math., 47, 4, 1236-1246, 2023.
- [6] Dey, D., Majhi, P. Sasakian 3-metric as a generalized Ricci-Yamabe soliton, Quaest. Math., 45, 3, 409–421, 2022.
- [7] Gezer, A., Bilen, L., De, U. C. Conformal vector fields and geometric solitons on the tangent bundle with the ciconia metric, Filomat, 37, 24, 8193–8204, 2023.
- [8] Gezer, A., Bilen, L., Çakmak, A. Properties of modified Riemannian extensions, Zh. Mat. Fiz. Anal. Geom., 11, 159-173, 2015.
- [9] Ghosh, A. Yamabe soliton and quasi Yamabe soliton on Kenmotsu manifold, Mathematica Slovaca, 70, 1, 151-160, 2020.
- [10] Güler, S., Crasmareanu, M. Ricci-Yamabe maps for Riemannian flows and their volume variation and volume entropy, Turkish Journal of Mathematics, 43, 5, 2631–2641, 2019.
- [11] Hamilton, R. S. The Ricci flow on surfaces, Contemp. Math., 71, 237-262, 1988.

- [12] Patterson, E.M., Walker, A.G., Riemann Extensions, Quart. J. Math. Oxford Ser., 3, 19–28, 1952.
- [13] Tokura, W., Adriano, L., Batista, E., Bezerra, A. Gradient almost Yamabe solitons immersed into a Riemannian warped product manifold, Turkish Journal of Mathematics, 48, 3, 2024.
- [14] Venkatesha, V., Naik, D. M. Yamabe Solitons on 3-dimensional contact metric manifolds with $Q\varphi = \varphi Q$, Int. J. Geom. Methods Mod. Phys., 16, 3, 1950039, 2019.
- [15] Yan, L., Li, Y., Bilen, L., Gezer, A. Analyzing curvature properties and geometric solitons of the twisted Sasaki metric on the tangent bundle over a statistical manifold, Mathematics, 12, 9, 1395, 2024.
- [16] Yano, K., Ishihara, S. *Tangent and Cotangent Bundles*, Marcel Dekker, Inc. New York, 1973.

HASSAS TARIM UYGULAMALARI İÇİN AÇIKLANABİLİR HİBRİT CNN- TRANSFORMER MİMARİSİ

Dr. Öğr. Üyesi, Erol KINA

Van YYÜ, erolkina@yyu.edu.tr - 0000-0002-7785-646X

ÖZET

Bu çalışmada, ürün verimi ve kalite üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiler nedeniyle tarımsal üretim ve gıda güvenliği açısından önemli bir problem oluşturan pirinç yaprak hastalıklarının otomatik ve açıklanabilir biçimde teşhis edilmesine yönelik hibrit bir derin öğrenme yaklaşımı önerilmiştir. Bu kapsamda, yerel ve küresel özellik öğrenimini birlikte gerçekleştirebilen RiceHybridFormer adı verilen yeni bir mimari geliştirilmiştir. Yerel özelliklerin çıkarımı için Evrişimsel Sinir Ağlarını (CNN), küresel bağlamsal bilgilerin öğrenilmesi için ise Transformer encoder yapısını birlikte kullanan bu yapıya, modelin temsil gücünü ve hesaplama verimliliğini artırmak amacıyla depthwise separable convolution, dilated convolution, residual bağlantılar ve squeeze-excitation tabanlı dikkat mekanizmaları entegre edilmiştir. Ayrıca görüntü ön işleme aşamasında Guided Filtering ve CLAHE yöntemlerinden faydalanılmış, modelin yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla ise Grad-CAM tabanlı açıklanabilir yapay zekâ yaklaşımı kullanılmıştır.

Önerilen modelin performansı, toplam 11.790 görüntü içeren Kaggle tabanlı pirinç yaprak hastalığı veri seti üzerinde değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar, modelin eğitim aşamasında %89.4, doğrulama aşamasında %88.1 ve test aşamasında %87.9 doğruluk oranına ulaştığını göstermiştir. Ayrıca modelin precision değeri %87.2, recall değeri %87.5 ve F1-skoru ise %87.1 olarak hesaplanmıştır. Karşılaştırmalı analizler, önerilen mimarinin ResNet-50, Vision Transformer (ViT), EfficientNet-B0 ve MobileNetV2 modellerine kıyasla doğruluk ve sınıflandırma metrikleri açısından daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Çalışma sonunda elde edilen bulgular, önerilen RiceHybridFormer mimarisinin hassas tarım uygulamaları için etkili, açıklanabilir ve hesaplama açısından verimli bir çözüm sunduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Hibrit derin öğrenme, CNN-Transformer, Açıklanabilir yapay zekâ, Grad-CAM

AN EXPLAINABLE HYBRID CNN–TRANSFORMER ARCHITECTURE FOR PRECISION AGRICULTURE APPLICATIONS

ABSTRACT

In this study, a hybrid deep learning approach is proposed for the automated and explainable diagnosis of rice leaf diseases, which constitute a significant threat to agricultural production and food security due to their adverse effects on crop yield and quality. In this context, a novel architecture called RiceHybridFormer, capable of jointly learning local and global features, was developed. The proposed framework combines Convolutional Neural Networks (CNNs) for local feature extraction with a Transformer encoder structure for global contextual learning. In addition, depthwise separable convolution, dilated convolution, residual connections, and squeeze-excitation-based attention mechanisms were integrated into the architecture to enhance representational capability and computational efficiency. Furthermore, Guided Filtering and CLAHE techniques were employed during the image preprocessing stage, while a Grad-CAM-based explainable artificial intelligence approach was utilized to improve model interpretability.

The performance of the proposed model was evaluated using a Kaggle-based rice leaf disease dataset containing a total of 11,790 images. Experimental results demonstrated that the model achieved accuracy rates of 89.4%, 88.1%, and 87.9% during the training, validation, and testing phases, respectively. In addition, the model obtained a precision value of 87.2%, a recall value of 87.5%, and an F1-score of 87.1%. Comparative analyses indicated that the proposed architecture outperformed benchmark models such as ResNet-50, Vision Transformer (ViT), EfficientNet-B0, and MobileNetV2 in terms of classification accuracy and performance metrics. The findings of the study demonstrate that the proposed RiceHybridFormer architecture provides an effective, explainable, and computationally efficient solution for precision agriculture applications.

Keywords: Hybrid deep learning, CNN–Transformer, Explainable artificial intelligence, Grad-CAM

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun büyük bir kısmının temel besin kaynaklarından biri olup küresel gıda güvenliği açısından stratejik öneme sahip olan pirinç, özellikle gelişmekte olan ülkelerde hem ekonomik hem de sosyal açıdan önemli bir tarımsal ürün olarak değerlendirilmektedir. Ancak pirinç üretimi; bacterial leaf blight, brown spot, leaf blast, sheath blight ve tungro gibi fungal,

bakteriyel ve viral hastalıklar nedeniyle ciddi verim kayıplarıyla karşı karşıya kalmaktadır. Bu hastalıklar yalnızca ürün miktarını değil aynı zamanda kaliteyi de olumsuz etkileyerek önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle hastalıkların erken dönemde doğru şekilde belirlenmesi, uygun müdahale stratejilerinin uygulanabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Geleneksel bitki hastalığı teşhis yöntemleri çoğunlukla uzman gözlemine dayalı manuel incelemelerle gerçekleştirilmektedir. Ancak bu yöntemler zaman alıcı, öznel değerlendirmelere açık ve geniş tarım alanlarında uygulanması zor yöntemlerdir. Ayrıca farklı ışık koşulları, karmaşık arka plan yapıları ve hastalık belirtilerindeki değişkenlik, teşhis doğruluğunu olumsuz etkileyebilmektedir. Bu sınırlılıklar, bilgisayarlı görü ve yapay zekâ tabanlı otomatik hastalık tespit sistemlerine olan ilgiyi artırmıştır [1].

Son yıllarda derin öğrenme tabanlı yöntemler, özellikle Evrişimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks – CNN), bitki hastalıklarının sınıflandırılmasında başarılı sonuçlar ortaya koymuştur. CNN tabanlı modeller, el ile özellik çıkarımına ihtiyaç duymadan görüntülerden ayırt edici mekânsal özellikleri otomatik olarak öğrenebilmektedir [1]. Bu avantajlarına rağmen geleneksel CNN mimarileri çoğunlukla yerel doku özelliklerine odaklanmakta ve görüntü içerisindeki uzun menzilli ilişkileri yeterince modelleyememektedir. Bu problemi aşmak amacıyla alternatif yöntemler arayan araştırmacılar, son yıllarda self-attention mekanizmasına dayalı Transformer tabanlı mimarilere yönelmişlerdir [2]. CNN ve Transformer yapılarının birlikte kullanılması, özellikle karmaşık tarımsal görüntü verilerinde daha yüksek sınıflandırma başarımı elde edilmesine olanak sağlamaktadır [3], [4].

Bu doğrultuda, bu çalışmada pirinç yaprak hastalıklarının açıklanabilir ve yüksek doğrulukla sınıflandırılabilmesi amacıyla RiceHybridFormer adı verilen hibrit bir derin öğrenme modeli önerilmiştir. CNN tabanlı yerel özellik çıkarımı ile Transformer tabanlı küresel bağlamsal modellemeyi birleştiren bu modelde, depthwise separable convolution, dilated convolution, residual bağlantılar ve squeeze-excitation dikkat mekanizmaları kullanılarak hem çok ölçekli özellik öğrenimi hem de hesaplama verimliliği artırılmıştır. Ayrıca modelin yorumlanabilirliğini geliştirmek amacıyla Gradyan Tabanlı Sınıf Aktivasyon Haritalama (Grad-CAM) tabanlı açıklanabilir yapay zekâ (XAI) yöntemleri sisteme entegre edilmiştir [5]. Kaggle tabanlı pirinç yaprak hastalığı veri seti üzerinde gerçekleştirilen deneyler ile modelin performansı değerlendirilmiş ve gerçek zamanlı tarımsal uygulamalara uygunluğu analiz edilmiştir [6].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, pirinç yaprak hastalıklarının doğru ve açıklanabilir şekilde sınıflandırılması amacıyla RiceHybridFormer adı verilen hibrit bir derin öğrenme modeli geliştirilmiştir. Önerilen mimari, Evrimsel Sinir Ağlarının (CNN) yerel özellik çıkarım yeteneği ile Transformer tabanlı yapıların küresel bağlamsal modelleme gücünü bir araya getirmektedir. Sistem genel olarak görüntü ön işleme, özellik çıkarımı, Transformer tabanlı bağlamsal öğrenme, sınıflandırma ve açıklanabilir yapay zekâ (XAI) aşamalarından oluşmaktadır. Çalışmanın iş akış diagramı Şekil 1’de verilmiştir.

2.1. Veri Seti

Çalışmada, Kaggle platformunda publicly available olarak sunulan pirinç yaprak hastalığı veri seti kullanılmıştır. Veri seti toplam 11.790 adet pirinç yaprak görüntüsünden oluşmaktadır. Veri setinde hem sağlıklı yaprak örnekleri hem de Bakteriyel yaprak yanıklığı, Kahverengi leke, Sağlıklı yaprak, Yaprak yanıklığı, Boyun yanıklığı, Pirinç hispası gibi farklı hastalık sınıflarına ait görüntüler bulunmaktadır.

Veri seti; eğitim (%70), doğrulama (%15) ve test (%15) olmak üzere üç alt kümeye ayrılmıştır. Bu yaklaşım sayesinde sınıflar arasındaki dağılım korunmuş ve model performansının güvenilir şekilde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Tüm görüntüler model eğitiminden önce 224×224 piksel boyutuna yeniden ölçeklendirilmiştir.

2.2. Görüntü Ön İşleme ve Veri Arttırma

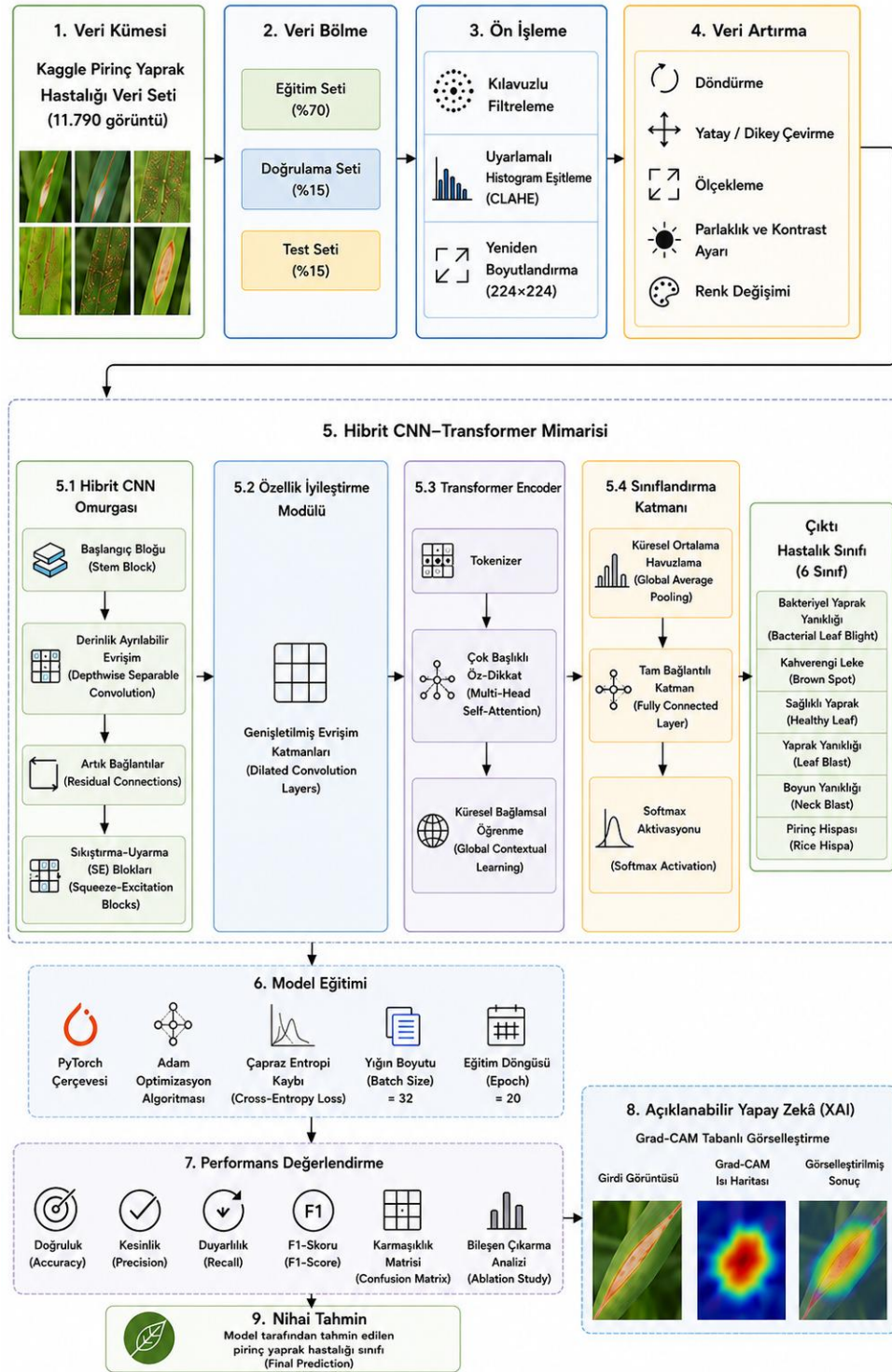
Görüntü kalitesini artırmak ve hastalığa ait belirgin bölgeleri daha görünür hale getirmek amacıyla Guided Filtering ve Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) tabanlı bir ön işleme süreci uygulanmıştır. Guided Filtering yöntemi görüntüdeki gürültüyü azaltırken kenar bilgilerini korumakta, CLAHE yöntemi ise lokal kontrastı artırarak lezyon ve renk değişimlerinin daha belirgin hale gelmesini sağlamaktadır.

Modelin genelleme yeteneğini artırmak ve aşırı öğrenmeyi azaltmak amacıyla eğitim aşamasında çeşitli veri artırma teknikleri uygulanmıştır. Bu işlemler; yatay ve dikey çevirme, döndürme, ölçekleme, parlaklık ve kontrast değişimleri ile renk değişim (color jittering) işlemlerini içermektedir. Böylece modelin farklı çevresel koşullar altında daha dayanıklı özellikler öğrenmesi hedeflenmiştir.

2.3. Önerilen RiceHybridFormer Mimarisi

Önerilen RiceHybridFormer mimarisi hem yerel doku özelliklerini hem de küresel mekânsal ilişkileri öğrenebilen hafif yapılı hibrit bir model olarak tasarlanmıştır. İlk aşamada giriş görüntüleri; başlangıç bloğu (stem block), derinlik ayrılabilir evrişim (depthwise separable

convolution), artık bağlantılar (residual connections) ve sıkıştırma-uyarma dikkat mekanizmaları (squeeze-excitation (SE) attention mechanisms) içeren CNN tabanlı bir omurga yapısı üzerinden işlenmiştir. Bu yapı sayesinde çok ölçekli özellik çıkarımı gerçekleştirilirken hesaplama maliyeti azaltılmıştır. Bağlamsal özellik öğrenimini güçlendirmek amacıyla modele genişletilmiş evrişim katmanları (dilated convolution layers) eklenmiştir. Bu katmanlar alıcı alanı (receptive field) genişleterek farklı ölçeklerdeki hastalık desenlerinin daha etkili şekilde öğrenilmesini sağlamaktadır.



Şekil 1. Çalışmanın İş Akış Modeli

CNN tabanlı özellik çıkarımının ardından elde edilen özellik haritaları belirteç dizilerine (token sequences) dönüştürülmüş ve Transformer kodlayıcı (Transformer encoder) yapısına aktarılmıştır.

2.4. Açıklanabilir Yapay Zeka (EAI)

Son aşamada küresel ortalama havuzlama (global average pooling) ve tam bağlantılı katmanlar (fully connected layers) kullanılarak hastalık sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma katmanında softmax aktivasyon fonksiyonu (softmax activation function) kullanılmıştır. Önerilen modelin yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla Grad-CAM tabanlı açıklanabilir yapay zekâ yöntemi kullanılmıştır [5]. Grad-CAM ısı haritaları, modelin sınıflandırma sırasında hangi görüntü bölgelerine odaklandığını görsel olarak ortaya koymaktadır. Böylece modelin karar verme süreci daha şeffaf hale getirilmiş ve özellikle tarımsal uygulamalarda kullanıcı güveninin artırılması hedeflenmiştir [7].

2.5. Deneysel Kurulum

Önerilen model, PyTorch derin öğrenme kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiş ve Windows 11 Pro işletim sistemine sahip bir iş istasyonunda eğitilmiştir. Deneysel çalışmalarda AMD Ryzen 9 9950X3D 16 çekirdekli işlemci, 128 GB RAM ve 24 GB VRAM kapasitesine sahip AMD Radeon RX 7900 XTX ekran kartı kullanılmıştır. Model eğitim sürecinde Adam optimizasyon algoritması ve kategorik çapraz entropi kayıp fonksiyonu (categorical cross-entropy loss function) tercih edilmiştir.

Başlangıç öğrenme oranı 0.0001 olarak belirlenmiş, batch size değeri 32 seçilmiş ve model toplam 50 epoch boyunca eğitilmiştir. Deneysel analizler sonucunda, 20 epoch sonrasında doğrulama performansında anlamlı bir iyileşme gözlenmemesi ve aşırı öğrenme eğiliminin ortaya çıkması nedeniyle eğitim süreci 20 epoch ile sınırlandırılmıştır. Eğitim sürecinde aşırı öğrenmeyi azaltmak ve model kararlılığını artırmak amacıyla dropout ve batch normalization tekniklerinden yararlanılmıştır.

Model performansının değerlendirilmesinde doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), duyarlılık (recall) ve F1-skoru (F1-score) metrikleri kullanılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Genel Sınıflandırma Performansı

Önerilen model, Kaggle tabanlı pirinç yaprak hastalığı veri seti üzerinde değerlendirilmiş ve performans sonuçları Çizelge 1’de sunulmuştur. Modelin eğitim, doğrulama ve test aşamalarındaki doğruluk değerleri sırasıyla %89.4, %88.1 ve %87.9 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 1. Test Veri Seti Performans Sonuçları (%)

Metrik	Test Sonucu
Accuracy	87.9
Precision	87.2
Recall	87.5
F1-Score	87.1

Eğitim ve doğrulama doğrulukları arasındaki düşük fark, modelin eğitim verisine aşırı uyum göstermediğine ve benzer performansı doğrulama verisi üzerinde de koruyabildiğine işaret etmektedir. Bu durum, literatürde genelleme boşluğunun (generalization gap) düşük olmasıyla ilişkilendirilmekte olup modelin aşırı öğrenme eğiliminin sınırlı düzeyde olduğunu göstermektedir [8]. Elde edilen performans değerleri, önerilen mimarinin farklı hastalık sınıflarını güvenilir şekilde ayırt edebildiğini göstermektedir. Benzer şekilde literatürde, evrişimli sinir ağlarının (CNN) bitki yaprak hastalıklarının sınıflandırılmasında yüksek doğruluk ve ayırt edici özellik öğrenme kapasitesi sayesinde etkili sonuçlar verdiği rapor edilmiştir [9], [10].

3.2. Sınıf Bazlı Performans Analizi

Sınıf bazlı değerlendirme sonuçları Çizelge 2’ de verilmiştir. Tüm sınıflar için kesinlik (precision), duyarlılık (recall) ve F1-skor değerlerinin 0.88–0.91 aralığında olduğu görülmüştür. Model özellikle neck blast ve rice hispa sınıflarında yüksek F1 skoru değerine ulaşmıştır.

Çizelge 2. Sınıf Bazlı Performans Sonuçları

Hastalık Sınıfı	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Skoru
Bakteriyel Yaprak Yanıklığı (Bacterial Leaf Blight)	0.884	0.891	0.887
Kahverengi Leke (Brown Spot)	0.901	0.895	0.898
Sağlıklı Yaprak (Healthy Leaf)	0.892	0.903	0.897
Yaprak Yanıklığı (Leaf Blast)	0.881	0.892	0.886
Boyun Yanıklığı (Neck Blast)	0.910	0.907	0.908
Pirinç Hispası (Rice Hispa)	0.906	0.904	0.905

3.3. Karşılaştırmalı Model Analizleri

Önerilen hibrit CNN–Transformer modeli, yaygın olarak kullanılan ResNet-50, Vision Transformer (ViT), EfficientNet-B0 ve MobileNetV2 derin öğrenme mimarileri ile

karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar Çizelge 3’te sunulmuştur. Önerilen modelin hem sınıflandırma doğruluğu hem de çıkarım süresi bakımından başarılı bir performans sergilediğini ortaya koymuştur.

Çizelge 3. Karşılaştırmalı Performans Sonuçları

Model	Doğruluk (Accuracy)	Çıkarım Süresi (ms)
Önerilen Hibrit CNN–Transformer	%89.4	9.1
ResNet-50	%86.2	13.8
EfficientNet-B0	%84.1	6.9
Vision Transformer (ViT)	%84.5	9.8
MobileNetV2	%83.0	5.8

MobileNetV2 gibi hafif mimariler daha düşük çıkarım sürelerine sahip olmasına rağmen, sınıflandırma doğruluğu açısından önerilen modelin gerisinde kalmıştır. Önerilen hibrit CNN–Transformer modeli ise doğruluk ile hesaplama verimliliği arasında dengeli bir yapı sunarak gerçek zamanlı tarımsal uygulamalar için uygun bir çözüm olduğunu göstermiştir. Vision Transformer (ViT), görüntü sınıflandırma problemleri için geliştirilen Transformer tabanlı bir derin öğrenme mimarisidir. Geleneksel CNN tabanlı modellerden farklı olarak ViT, görüntüyü küçük parçalara (patch) ayırarak bu parçaları token dizileri şeklinde işler ve self-attention mekanizması sayesinde görüntü içerisindeki küresel ilişkileri öğrenir. Özellikle büyük ölçekli veri setlerinde başarılı sonuçlar veren ViT modelleri, görüntü sınıflandırma alanında önemli bir alternatif yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, sınırlı veri setlerinde CNN tabanlı yöntemlere kıyasla daha fazla veri ihtiyacı duyabilmekte ve hesaplama maliyeti açısından daha yoğun yapılar oluşturabilmektedir.

3.4. Bileşen Çıkarma Analizi

Önerilen mimaride yer alan bileşenlerin model performansına katkısını değerlendirmek amacıyla bileşen çıkarma analizi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4). Elde edilen sonuçlar, Transformer blokları, squeeze-excitation (SE) modülleri ve örüntü güçlendirici katmanların model doğruluğuna önemli düzeyde katkı sağladığını göstermiştir. Özellikle yalnızca CNN omurga yapısının kullanıldığı durumda doğruluk değerinin belirgin şekilde düştüğü gözlenmiş, bu durum önerilen hibrit mimarinin etkinliğini ortaya koymuştur.

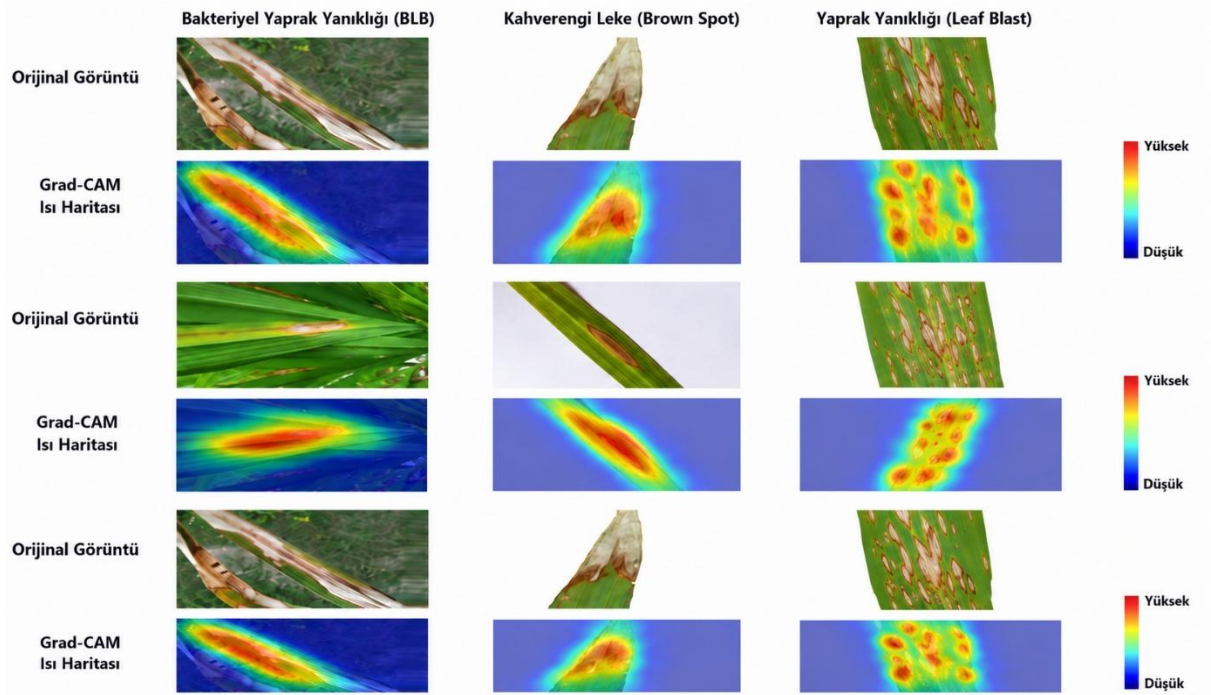
Çizelge 4. Bileşen Çıkarma Analizi Sonuçları (%)

Model Varyantı	Doğruluk (Accuracy)
Tam Önerilen Model	89.4
Transformer Blokları Çıkarılmış Model	85.1
SE Modülleri Çıkarılmış Model	86.0
Örüntü Güçlendirici Katman Çıkarılmış Model	86.4
Yalnızca CNN Omurga Yapısı	83.2

Özellikle Transformer bloklarının çıkarılması durumunda doğruluk değerinde belirgin düşüş meydana gelmiştir. Bu durum, küresel bağlamsal modellemenin pirinç yaprak hastalıklarının sınıflandırılmasında kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca SE blokları ve residual bağlantılar da daha kararlı özellik öğrenimi sağlayarak model performansını artırmıştır.

3.5. Grad-CAM Görselleştirme ve Açıklanabilirlik Analizi

Önerilen RiceHybridFormer modelinin yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla Grad-CAM tabanlı görselleştirme teknikleri kullanılmıştır. Elde edilen ısı haritaları (Şekil 2), modelin sınıflandırma sırasında hastalığa ait lezyon bölgelerine başarılı şekilde odaklandığını ve arka plan bölgelerini büyük ölçüde göz ardı ettiğini ortaya koymuştur. Grad-CAM sonuçları incelendiğinde modelin özellikle renk değişimi, nekrotik doku yapıları, lezyon sınırları ve hastalıklı bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, modelin sınıflandırma kararlarını yalnızca rastgele görsel örüntülere değil, doğrudan hastalıkla ilişkili bölgelere dayandığını göstermektedir. Bu çalışmada Grad-CAM görselleştirme analizlerinde yalnızca Bakteriyel Yaprak Yanıklığı (BLB), Kahverengi Leke (Brown Spot) ve Yaprak Yanıklığı (Leaf Blast) sınıflarına ait örnek sonuçlar sunulmuştur. Bunun temel nedeni, bu hastalık sınıflarının veri setinde en belirgin lezyon çeşitliliğini ve görsel karmaşıklığı temsil etmesidir. Özellikle renk değişimi, nekrotik doku yapıları ve lezyon dağılımlarındaki farklılıklar nedeniyle bu sınıflar, modelin dikkat mekanizmasının değerlendirilmesi açısından daha açıklayıcı sonuçlar sunmuştur.



Şekil 2. Grad-Cam Isı Haritası Uygulanan Örnekler

Elde edilen görsel açıklamalar, önerilen sistemin şeffaflığını artırmakta ve kullanıcı güvenliğini desteklemektedir. Özellikle hassas tarım uygulamalarında açıklanabilir yapay zekâ yöntemlerinin kullanılması, model çıktılarının uzmanlar tarafından daha kolay yorumlanabilmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak önerilen RiceHybridFormer mimarisi, yalnızca yüksek sınıflandırma başarısı değil, aynı zamanda açıklanabilir ve güvenilir tahminleme yeteneği de sunmaktadır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, pirinç yaprak hastalıklarının otomatik sınıflandırılması amacıyla açıklanabilir hibrit CNN–Transformer tabanlı bir derin öğrenme mimarisi önerilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, önerilen modelin kullanılan Kaggle tabanlı pirinç yaprak hastalığı veri seti üzerinde başarılı ve dengeli bir sınıflandırma performansı sağladığını göstermiştir. CNN tabanlı yerel özellik çıkarımı ile Transformer tabanlı küresel bağlamsal modelleme yapısının birlikte kullanılması, hastalık sınıfları arasındaki ayırt edici özelliklerin daha etkili şekilde öğrenilmesine katkı sağlamıştır.

Önerilen modelin hafif yapısı, doğruluk ve çıkarım süresi arasında dengeli bir performans sunarak gerçek zamanlı tarımsal uygulamalar, mobil platformlar ve uç bilişim ortamları için uygun bir yapı ortaya koymuştur. Ayrıca Grad-CAM tabanlı açıklanabilir yapay zekâ

yöntemlerinin kullanılması sayesinde modelin karar verme süreci görsel olarak yorumlanabilir hale getirilmiştir.

Sonuç olarak önerilen hibrit CNN–Transformer mimarisi; hesaplama verimliliği, açıklanabilirlik ve başarılı sınıflandırma performansı ile hassas tarım uygulamaları için etkili bir çözüm sunmaktadır. Gelecek çalışmalarda federated learning tabanlı yapılar, gerçek tarla ortamlarında gerçekleştirilecek test süreçleri ve farklı çevresel koşullarda model dayanıklılığının değerlendirilmesi hedeflenebilir.

Önerilen RiceHybridFormer mimarisi, pirinç yaprak hastalıklarının sınıflandırılmasında yüksek performans göstermiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, hibrit CNN–Transformer yapısının hem yerel lezyon özelliklerini hem de küresel bağlamsal bilgileri başarılı şekilde öğrenebildiğini ortaya koymuştur. Böylece farklı hastalık sınıfları arasında daha etkili ayırım yapılabilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Mohanty, S. P., Hughes, D. P., Salathé, M. Using deep learning for image-based plant disease detection. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1419, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01419>
- [2] Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., . Housby, N. An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. *International Conference on Learning Representations (ICLR)*. 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.11929>
- [3] Chen, J., Lu, Y., Yu, Q., Luo, X., Adeli, E., Wang, Y., Zhou, Y. TransUNet: Transformers make strong encoders for medical image segmentation. *arXiv preprint arXiv:2102.04306*, 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2102.04306>
- [4] Thakur, P. S., Chaturvedi, S., Khanna, P., Sheorey, T., Ojha, A. Vision transformer meets convolutional neural network for plant disease classification. *Ecological Informatics*, 77, 102245, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102245>
- [5] Selvaraju, R. R., Cogswell, M., Das, A., Vedantam, R., Parikh, D., Batra, D. Grad-CAM: Visual explanations from deep networks via gradient-based localization. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 618–626., 2017. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.74>
- [6] <https://www.kaggle.com/code/sirishau/rice-leaf/notebook> (Erişim tarihi: 16.05.2026)
- [7] Ghosal, S., Blystone, D., Singh, A. K., Ganapathysubramanian, B., Sarkar, S., Singh, A. An explainable deep machine vision framework for plant stress phenotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(18), 4613–4618, 2018. <https://doi.org/10.1073/pnas.1716999115>

- [8] Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. Deep learning, Cambridge, MIT Press, 2016.
- [9] Sladojevic, S., Arsenovic, M., Anderla, A., Culibrk, D., Stefanovic, D. Deep neural networks based recognition of plant diseases by leaf image classification, Computational Intelligence and Neuroscience, 3289801, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3289801>
- [10] Geetharamani, G. A. P. J., Pandian, A. Identification of plant leaf diseases using a nine-layer deep convolutional neural network, Computers & Electrical Engineering, 76, 323-338, 2019.

**MARUL (*Lactuca sativa* L) BİTKİSİNDE FE TUZUNUN SALİSİLİK ASİT
UYGULAMASI İLE BÜYÜME VE GELİŞİMİNE ETKİSİ**

Duygu AYHAN

Kırıkkale Üniversitesi Delice MYO, duygukaan2015@gmail.com

Dr.Öğr.Üyesi Nursal KOCA

Kırıkkale Üniversitesi Delice MYO, nursalkoca@kku.edu.tr , 0000-0002-6332-6230

Bekir AKSÖZ

Kırıkkale Üniversitesi Delice MYO, bekiraksoz11@gmail.com

ÖZET

Bu çalışma, farklı demir (Fe) ve salisilik asit (SA) kombinasyonlarının Marul (*Lactuca sativa* L.) bitkisinin morfolojik gelişim parametreleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırma, Kırıkkale Üniversitesi Delice Meslek Yüksekokulu uygulama alanında saksı koşullarında tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre kurulmuştur. Denemede üç farklı demir dozu (0, 5 ve 10) ile üç farklı salisilik asit dozu (0, 75 ve 150 mg L⁻¹) birlikte uygulanmıştır. Demir uygulamaları kök bölgesine sulama yoluyla, salisilik asit uygulamaları ise yapraktan püskürtme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Hasat döneminde yaprak boyu, yaprak eni, yaprak sayısı, bitki yaş ağırlığı ve bitki kuru ağırlığı parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen parametreler iki yönlü varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiş, ortalamalar arasındaki farklılıklar Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılarak belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, demir ve salisilik asit uygulamalarının birlikte uygulanması büyüme parametreleri üzerinde önemli etkiler oluşturmıştır. Yaprak boyu ve yaprak eni bakımından en yüksek değerler Fe5 + SA150 uygulamasında elde edilirken, bitki yaş ağırlığı bakımından en yüksek değer Fe10 + SA150 uygulamasında belirlenmiştir. Yaprak sayısı açısından Fe5 + SA75 uygulaması öne çıkarken, kuru ağırlık bakımından Fe0 + SA75 ve Fe5 + SA0 uygulamaları daha yüksek değerler göstermiştir. Tüm incelenen özelliklerde Fe × SA etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı bulunması (p<0,001), salisilik asidin bitki gelişimi üzerindeki etkisinin demir düzeyine bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, demir ve salisilik asidin birlikte uygulanmasının marul yetiştiriciliğinde büyüme performansını artıracak etkili bir biyostimülant stratejisi olduğu değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, sürdürülebilir bitki besleme uygulamalarına katkı sağlayabilecek niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Marul, demir, salisilik asit, biyostimülant, bitki gelişimi.

Abstract

This study was conducted to determine the effects of different iron (Fe) and salicylic acid (SA) combinations on the morphological growth parameters of lettuce (*Lactuca sativa* L.). The experiment was carried out under pot conditions at the experimental field of Delice Vocational School, Kırıkkale University, using a factorial experimental design arranged in a completely randomized design. Three iron doses (0, 5, and 10 mg L⁻¹) and three salicylic acid doses (0, 75, and 150 mg L⁻¹) were applied in combination. Iron treatments were supplied to the root zone through irrigation, whereas salicylic acid was applied as a foliar spray. At harvest, leaf length, leaf width, number of leaves, fresh weight, and dry weight were measured. The obtained data were analyzed using two-way analysis of variance (ANOVA), and differences among treatment means were determined by Tukey's multiple comparison test. The results demonstrated that the combined application of iron and salicylic acid significantly affected plant growth parameters. The highest leaf length and leaf width values were obtained from the Fe5 + SA150 treatment, whereas the greatest fresh weight was recorded in the Fe10 + SA150 treatment. The Fe5 + SA75 treatment produced the highest number of leaves, while the Fe0 + SA75 and Fe5 + SA0 treatments resulted in the highest dry weight values. The significant Fe × SA interaction for all evaluated traits ($p < 0.001$) indicated that the effect of salicylic acid on plant growth varied depending on the iron level. In conclusion, the combined application of iron and salicylic acid may serve as an effective biostimulant strategy to improve growth performance in lettuce cultivation. These findings provide valuable insights for the development of sustainable plant nutrition practices.

Keywords: *Lactuca sativa* L., iron, salicylic acid, biostimulant, plant growth, sustainable plant nutrition.

1. GİRİŞ

Bitkiler doğaları gereği yaşamları boyunca büyüme ve gelişmelerini olumsuz yönde etkileyecek birden fazla stres unsurları ile karşılaşılırlar. Tarımsal üretimde stres faktörleri, biyotik ve abiyotik olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir. Abiyotik stres faktörü olarak ele alınan kuraklık, tuzluluk, sıcaklık, ağır metal alımı vb. bitkisel üretimde verim ve verim unsurlarını sınırlayan, ürün nicelik ve niteliğini olumsuz yönde etkileyen faktörlerdir (Büyük ve ark., 2012). Bu abiyotik stres faktörleri tarımsal faaliyetlerin aksamasına, çevrenin bozulmasına neden olan en önemli tehditlerdir (Shulaeva ve ark.,2008). Bu stres faktörleri bitkilerde metabolik süreçleri olumsuz etkileyerek büyüme, fotosentez ve hücresel yapıda bozulmalara neden olmaktadır. Tarımda karşılaşılan bu stres faktörleri, bitkilerin büyüme ve gelişim süreçlerini doğrudan etkileyerek verim ve kaliteyi sınırlandırmaktadır. Bu bağlamda, özellikle stres koşullarına karşı hassas olan bitkilerde uygun yetiştirme koşulları, tür seçimi, besin uygulamaları, salisilik asit (SA), poliaminler (PA), absisik asit (ABA) ve jasmonik asit (JA) gibi birçok büyüme düzenleyicilerin kullanımı büyük önem taşımaktadır. Örneğin, marul

(*Lactuca sativa*) gibi değerli sebzeler, uygun çevresel koşullarda ve uygulamalar ile yetiştirilerek verim artırılabilir ve kalitenin devamlılığı sağlanabilir.

Marul (*Lactuca sativa* L.) bitkisi Compositae familyasının bir üyesi olup, tek yıllık serin iklim sebzesidir (Eşiyok, 2012). Marul (*Lactuca sativa* L.), düşük kalori içeriğine sahip olmakla birlikte su, diyet lifi, vitaminler, mineral maddeler ve fenolik bileşikler bakımından önemli bir yapraklı sebzedir. Özellikle A, C ve K vitaminleri ile folat, demir ve potasyum gibi mineral maddeleri içermesi nedeniyle insan beslenmesinde değerli bir yere sahiptir (Kim et al., 2016; Shi et al., 2022). Marul ve diğer ürünlerin yetiştirilmesinde toprak, iklim faktörleri ile uygulanan besin madde uygulamaları marul bitkisinin içeriğinde değişikliklere neden olmaktadır (Özbucak ve Alan, 2024). Salata ve marullar, sonbahar-kış-ilkbahar dönemlerinde çoğunlukla açıkta yetiştirildiği gibi aynı zamanda örtü altında yetiştiriciliği de yapılabilen önemli kışlık sebzelerden biridir (Ergün ve ark.,2024). Dünya ve Türkiye’de marul üretimi değerlendirildiğinde üretim miktarı bakımın birinci sırayı Çin, onu sırasıyla Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Hindistan takip etmekte, Türkiye ise sekizinci sırada yer almaktadır (FAO 2024). TÜİK verilerine göre 2024 yılında ülkemizde toplam 602.848 ton marul üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim, ağırlıklı olarak Ankara, Adana ve Antalya illerinde yoğunlaşmakta olup, bu iller Türkiye marul üretiminde önemli bir paya sahiptir. ((TÜİK 2023). Ayrıca marul bitkisi hakkında son bilgiler, ülkedeki tarım sektörü içinde en yüksek gelir getiren sebzeler arasında yer aldığını göstermektedir (Kandemir ve Balkaya 2022)). Marul gibi sebzelerde verimi ve kaliteyi artırmak için uygulanan bitki büyüme düzenleyicilerinin etkisi ise giderek daha fazla ilgi çekmektedir. Özellikle salisilik asit (SA) uygulamaları, bitkinin besin maddesi alımını düzenleyerek kök ve gövde gelişimini olumlu yönde etkilemektedir. SA’nin, bitkilerdeki stres toleransını artırma ve büyümeyi destekleme yeteneği, marul üretiminde de etkili bir strateji olarak değerlendirilmektedir (Khan ve ark., 2015; Hayat ve ark., 2010).

Bu bakımdan salisilik asit (SA), bitkilerde biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı savunma mekanizmalarını düzenleyen önemli bir bitki hormonu olarak kabul edilir. Bitkiler, salisilik asidi savunma yanıtlarını aktive etmek, büyümeyi desteklemek ve çeşitli stres faktörlerine adaptasyon sağlamak için kullanır. SA, oksidatif stresin azaltılmasına katkıda bulunarak antioksidan sistemlerin aktivitesini artırır ve bu yolla bitki sağlığını destekler. Salisilik asidin, klorofil kaybını azaltarak fotosentez etkinliğini koruduğu da bildirilmiştir (Khan ve ark., 2015). Fe, Cu, Zn gibi ağır metallerin aşırı birikimi, bitkilerde toksik etkilere yol açarak kök ve yaprak gelişimini olumsuz etkileyebilir. Salisilik asit, bitkilerdeki metal toksisitesini azaltmada önemli bir rol oynamaktadır (Hayat ve ark., 2010).

Son zamanlarda, salisilik asit (SA), poliaminler (PA), absisik asit (ABA) ve jasmonik asit (JA) gibi bazı bitki büyüme düzenleyicilerinin bitkilerde kompleks fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler farklılıklara neden olan çevresel stresler içsel bitki büyüme düzenleyicilerinin düzey ve miktarlarını etkileyebilmektedir (Wang ve ark. 2005; Ashraf ve ark., 2008). Bu farklılıklar stres koşullarında bitki büyüme ve gelişimini sınırlandıran metabolik aksaklıklara sebep olmaktadır. Salisilik asit (SA), bitkilerde çok sayıda metabolik ve fizyolojik süreci düzenleyen ve bitki büyüme ve gelişmesinde önemli görev üstlenen içsel bir bitki büyüme düzenleyicisidir (Hayat ve ark.,2010). Bitkilerde hastalık direncini sağlayabilen SA, çok sayıda stres faktörlerine karşı bitki yanıtlarını da düzenleyebilmektedir (Shirasu ve ark., 1997). Salisilik asit bitki

büyüme ve gelişmesi, fotosentez, stomatal düzenleme, solunum, çiçeklenme, senesens ve iyon alımında önemli görev üstlenmektedir. (Vicente and Plasencia 2011). Salisilik asit ve diğer bitki büyüme düzenleyicilerinin, bitkilerde çeşitli stres koşullarında ortaya çıkan fizyolojik ve biyokimyasal değişimlere olan katkısı göz önüne alındığında, mikro elementlerin etkisi de ayrıca önem kazanmaktadır. Özellikle demir (Fe), bitki gelişimi ve fotosentez için kritik olan klorofil sentezi gibi süreçlerde doğrudan rol oynar ve böylece bitkilerin büyüme yanıtını destekleyerek stres koşullarına adaptasyonunu güçlendirir (Marschner, 1995; Taiz ve Zeiger, 2002).

Demir (Fe) bitki gelişimi için temel bir mikro elementtir ve birçok hayati süreçte önemli bir role sahiptir. Fe eksikliği özellikle klorofil sentezi ve fotosentez gibi kritik işlevleri doğrudan etkiler. İşte demir tuzlarının bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki başlıca etkileri: Demir eksikliği fotosentez oranını azaltır; çünkü bitki yeterince klorofil üretmediğinde, ışık enerjisini etkin bir şekilde kullanamaz. Yeterli Fe ile beslenen bitkilerde ise daha yüksek klorofil içeriği ve dolayısıyla daha verimli fotosentez görülür (Marschner, 1995). Fe uygulaması, enerji metabolizmasını destekleyerek bitkilerin daha sağlıklı büyümesini sağlar (Taiz & Zeiger, 2002). Fe, kök hücre bölünmesini destekleyerek kök gelişimini artırır. Kök gelişiminin sağlıklı olması, bitkinin topraktan su ve besin alımını iyileştirir, bu da bitkinin genel büyümesini destekler. Fe tuzları, özellikle çimlenme ve genç bitkilerde kök gelişimini teşvik etmek için kullanılır (Briat et al., 2007). Fe, büyüme hormonlarından biri olan oksinin sentezinde dolaylı bir rol oynar. Fe eksikliğinde oksin üretimi düşebilir, bu da bitkilerin uzama ve gelişim süreçlerini olumsuz etkiler. Yeterli Fe ile beslenen bitkiler, daha hızlı ve dengeli bir şekilde büyüebilir (Römheld & Marschner, 1990). Fe eksikliğinde ise bitkilerde cılız büyüme, küçük yapraklar ve düşük verimlilik görülür. Fe eksikliğinin giderilmesi, bu verim kayıplarını azaltarak daha sağlıklı ve verimli bitkiler elde edilmesini sağlar (Marschner, 1995). Bu iki faktör birlikte ele alındığında, bitkilerde hem büyüme düzenleyiciler hem de mikro elementlerin dengeli bir şekilde sağlanmasının, genel bitki sağlığı ve verimliliği üzerinde önemli etkilere sahip olacağı düşünülmektedir. Bütün bitkilerde olduğu gibi marul bitkisinin fotosentez kapasitesi ve genel verimliliği üzerinde kritik rol oynayan demir (Fe), klorofil sentezi ve enerji metabolizmasında önemli bir yere sahiptir. Böylece hem büyüme düzenleyicilerinin hem de temel mikro elementlerin dengeli uygulanması, marul bitkisinin sağlıklı gelişimi ve yüksek verimliliği için etkili bir strateji sunmaktadır. Ayrıca bu çalışmanın özgün değeri, marul bitkisi üzerinde stres koşulları altında salisilik asit (SA) ve demir (Fe) uygulamalarının sinerjik etkilerini detaylı bir şekilde incelemektir. Marul, ülkemizde ve dünya genelinde ekonomik değeri yüksek bir sebze olup, yetiştirme koşullarındaki iyileştirmeler ile verim ve kalite açısından daha da değer kazanabilir. Çalışma, özellikle abiyotik stres koşullarına karşı SA gibi büyüme düzenleyicilerinin ve Fe gibi mikro elementlerin bitkinin biyokimyasal, fizyolojik ve morfolojik tepkilerindeki rollerini inceleyerek, bu alanda literatüre yeni bir katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu kapsamda çalışma, tarım sektöründeki uygulamalara yönelik özgün veriler sağlayarak, sürdürülebilir tarım uygulamaları ve stres toleransı yüksek bitki yetiştiriciliği için bilimsel bir temel oluşturmayı hedeflemektedir. Elde edilecek bulgular, marul üreticilerine ve bilimsel araştırma topluluklarına, stres yönetiminde büyüme düzenleyicilerin ve mikro elementlerin

etkili kullanımını ve alımını göstererek, hem verimi hem de kaliteyi artırmada rehber olacağı düşünülmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Materyal

Proje kapsamında standart marul çeşiti denemenin materyalini oluşturmuştur

Denemenin Kurulması ve yapılması

Bu çalışma, farklı demir (Fe) ve Salisik asit dozları altında Marul (*Lactuca sativa* L.) bitki büyüme özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla Kırıkkale Üniversitesi Delice MYO Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü uygulama alanında yürütülmüştür. Çalışma saksı denemesi olarak tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre hazırlanmıştır. Marul bitkisinde farklı Demir (Fe) dozları (0, %5, %10 ve %20) ve Salisilik asit dozları (0, 75 ve 150 mg/l) uygulanmıştır. Demir (Fe) uygulaması marul bitkisi 3-4 yaprak olunca fidelerin kök bölgesine sulama yoluyla uygulanmıştır. Salisilik asit uygulaması ise demir uygulaması ile aynı zamanda başlamış olup sprey şeklinde yaprakdan iki defa uygulanmıştır. Araştırmada, yetiştirme ortamı fide harcı kullanılmıştır. Saksılara yetiştirme ortamı harcı doldurularak saksı başına 3-4 adet tohumu ekilmiştir. Kültürel uygulamalar ihtiyaç duyulduğunda; zamanında ve usulüne yürütülmüştür. Marul bitkileri 2–4 gerçek yapraklı döneme ulaştığında, her saksıda bir bitki kalacak şekilde seyreltme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hasat döneminde, her uygulamayı temsil edecek şekilde her tekerrürden rastgele seçilen üç bitki üzerinde ölçüm ve gözlemler yapılmıştır. Araştırmada fide boyu (cm), yaprak sayısı (adet/bitki), toprak üstü yaş ve kuru ağırlığı (mg/bitki) ile kök yaş ve kuru ağırlığı (mg/bitki) parametreleri belirlenmiştir.

Fide boyu, bitkinin kök boğazı (toprak yüzeyi) ile sürgün uç noktası arasındaki mesafe kumpas yardımıyla ölçülerek santimetre (cm) cinsinden kaydedilmiştir. Yaprak sayısı ise hasat edilen bitkiler üzerindeki tam gelişmiş tüm yaprakların sayılmasıyla adet/bitki olarak belirlenmiştir.

Toprak üstü yaş ağırlığının belirlenmesi amacıyla, hasat edilen bitkilerin sürgün kısımları toprak yüzeyinden kesilmiş ve hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları mg/bitki cinsinden kaydedilmiştir. Toprak üstü kuru ağırlığının belirlenmesi için ise yaş ağırlıkları ölçülen sürgün örnekleri 80 °C'de 24 saat süreyle etüvde kurutulmuş, ardından hassas terazide tartılarak kuru ağırlıkları mg/bitki olarak hesaplanmıştır.

Kök yaş ağırlığının belirlenmesi amacıyla bitkiler dikkatlice sökülmüş, kökler akan su altında yıkanarak üzerindeki toprak kalıntılarından arındırılmış ve sürgün kısmından ayrıldıktan sonra hassas terazide tartılarak kök yaş ağırlıkları mg/bitki olarak belirlenmiştir. Kök kuru ağırlığının belirlenmesi için kök örnekleri 70 °C'de 48 saat süreyle etüvde kurutulmuş, daha sonra hassas terazide tartılarak kök kuru ağırlıkları mg/bitki cinsinden hesaplanmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Marul bitkisinde farklı demir (Fe: 0, 5 ve 10) ve salisilik asit (SA: 0, 75 ve 150) uygulamalarının bitki gelişim parametreleri üzerine etkisi 3×3 faktöriyel deneme düzeni kapsamında değerlendirilmiştir. Her Fe $\times$ SA uygulama kombinasyonu için altı gözlem olacak şekilde toplam 54 gözlem analiz edilmiştir. Yaprak boyu, yaprak eni, yaprak sayısı, bitki yaş ağırlığı ve bitki kuru ağırlığı çalışma değişkenleri olarak ele alınmıştır. Tanımlayıcı istatistikler ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde sunulmuştur. Analiz öncesinde iki yönlü varyans analizinin temel varsayımları değerlendirilmiştir. Model artıklarının normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ve Q-Q grafikleri ile incelenmiştir. Varyans homojenliği Levene testi ile değerlendirilmiştir. Ayrıca aykırı gözlemler kutu grafikleri ve artık değerler üzerinden görsel olarak kontrol edilmiştir. Fe ve SA ana etkileri ile Fe $\times$ SA etkileşimi iki yönlü varyans analizi kullanılarak incelenmiştir. Uygulama kombinasyonları arasındaki farklılıklar Tukey çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiş ve tabloda farklılıklar harflendirme yöntemiyle belirtilmiştir. Etkileşim etkisinin anlamlı olduğu durumlarda yorumlar ana etkilerden ziyade uygulama kombinasyonları üzerinden yapılmıştır. Etki büyüklüğünün değerlendirilmesinde parsiyel eta-kare değerleri kullanılmıştır. Tüm analizler Jamovi v2.6 istatistik yazılımı ile gerçekleştirilmiş ve $p < 0,05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

Fe ve SA uygulama kombinasyonlarına göre marul bitkisinde incelenen gelişim parametrelerine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 1’de sunulmuştur. Genel olarak, yaprak boyu ve yaprak eni bakımından Fe5 + SA150 uygulaması öne çıkarken, bitki yaş ağırlığı bakımından en yüksek ortalama Fe10 + SA150 grubunda gözlenmiştir. Yaprak sayısı açısından Fe5 + SA75 uygulaması daha yüksek değer göstermiştir. Kuru ağırlık bakımından ise Fe0 + SA75 ve Fe5 + SA0 grupları benzer şekilde yüksek ortalamalara sahiptir.

Çizelge 1. Fe ve SA uygulama kombinasyonlarına göre marul gelişim parametrelerinin tanımlayıcı istatistikleri

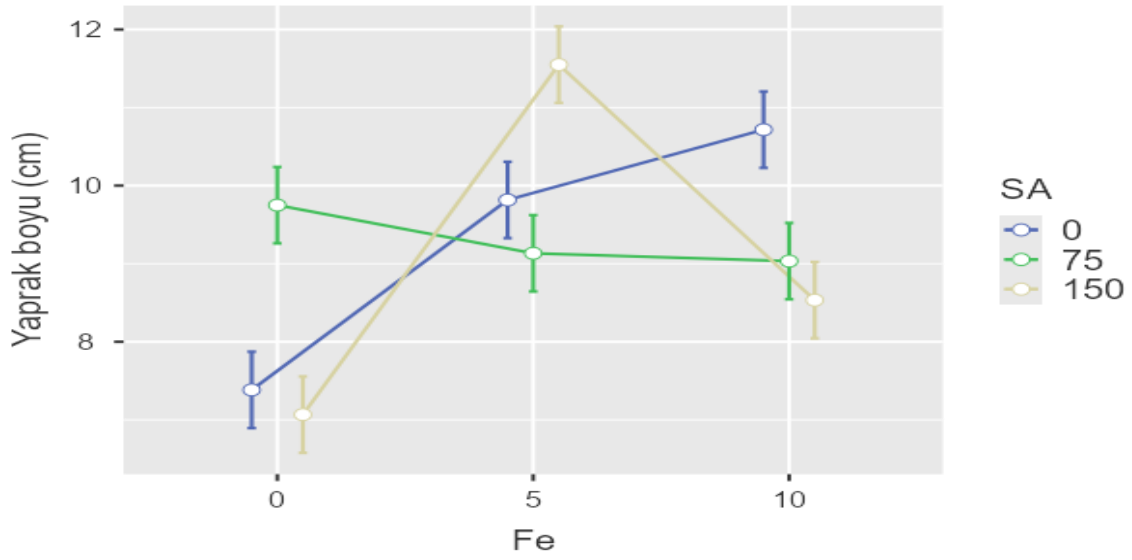
^{a,b,c,d,e} Aynı sütunda farklı harf taşıyan gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

Fe	SA	Yaprak boyu, cm	Yaprak eni, cm	Yaprak sayısı	Kök Yaş ağırlık, g	Kök Kuru ağırlık, g
0	0	7,38 ± 0,99 ^{ac}	7,80 ± 0,32 ^{ac}	16,67 ± 1,21 ^{ac}	49,83 ± 2,93 ^c	0,015 ± 0,002 ^c
0	75	9,75 ± 0,31 ^{bd}	8,25 ± 0,37 ^a	16,50 ± 2,17 ^{ac}	61,50 ± 4,93 ^{bfc}	0,022 ± 0,002 ^a
0	150	7,07 ± 0,10 ^c	6,57 ± 0,22 ^{bc}	12,50 ± 1,87 ^b	44,17 ± 2,79 ^{cd}	0,013 ± 0,001 ^d
5	0	9,82 ± 0,40 ^{bd}	8,23 ± 1,15 ^a	16,00 ± 0,00 ^{ac}	30,17 ± 19,26 ^d	0,022 ± 0,002 ^a
5	75	9,13 ± 0,15 ^b	6,08 ± 0,38 ^b	17,67 ± 1,21 ^a	78,00 ± 12,81 ^{acf}	0,014 ± 0,001 ^{cd}
5	150	11,55 ± 1,35 ^a	8,78 ± 1,31 ^a	14,33 ± 2,07 ^{bc}	80,50 ± 3,33 ^{ac}	0,020 ± 0,001 ^{ab}
10	0	10,72 ± 0,64 ^{ad}	8,75 ± 1,31 ^a	14,50 ± 1,87 ^{bc}	69,83 ± 12,42 ^{bc}	0,019 ± 0,002 ^b
10	75	9,03 ± 0,33 ^b	8,22 ± 0,25 ^a	15,50 ± 1,87 ^{ab}	51,50 ± 11,33 ^{bc}	0,014 ± 0,001 ^{cd}
10	150	8,53 ± 0,97 ^{bc}	8,03 ± 0,19 ^a	16,83 ± 0,75 ^{ac}	92,00 ± 5,87 ^a	0,019 ± 0,001 ^{ab}
		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Fe: demir uygulaması; SA: salisilik asit uygulaması.

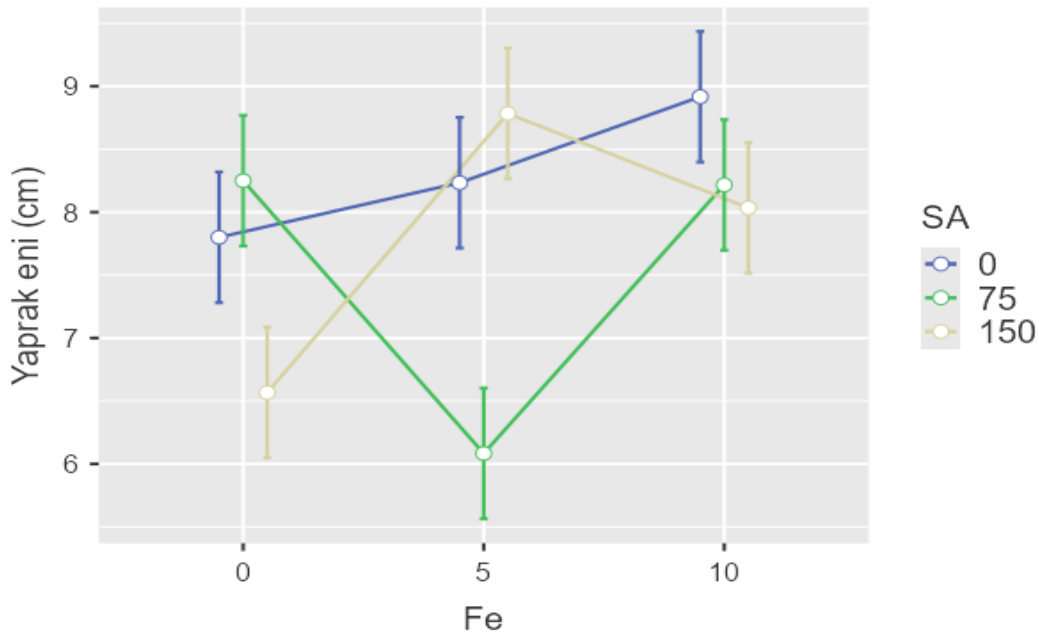
Yaprak boyu bakımından Fe ana etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur, $F(2, 45) = 40,16$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,641$. Buna karşılık SA ana etkisi anlamlı değildir, $F(2, 45) = 0,77$, $p = 0,469$, $\eta^2 = 0,033$. Bununla birlikte Fe × SA etkileşimi anlamlıdır, $F(4, 45) = 29,17$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,722$. Çalışmada elde edilen sonuçlar, SA uygulamasının yaprak boyu üzerindeki etkisinin Fe düzeyine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Bulgular incelendiğinde, en yüksek yaprak boyu Fe5 + SA150 grubunda gözlenmiştir (11,55 ± 1,35 cm). Bunu Fe10 + SA0 grubu 10,72 ± 0,64 cm ile izlemiştir. En düşük yaprak boyu ise Fe0 + SA150 grubunda 7,07 ± 0,10 cm olarak belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Fe ve SA uygulamalarının yaprak boyu üzerine etkileşim etkisi.

Yaprak eni üzerinde Fe ana etkisi anlamlı bulunmuştur, $F(2, 45) = 5,44$, $p = 0,008$, $\eta^2 = 0,195$. SA ana etkisi de istatistiksel olarak anlamlıdır, $F(2, 45) = 4,36$, $p = 0,019$, $\eta^2 = 0,162$. Ayrıca $Fe \times SA$ etkileşimi de anlamlıdır, $F(4, 45) = 12,89$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,534$ (Şekil 2).

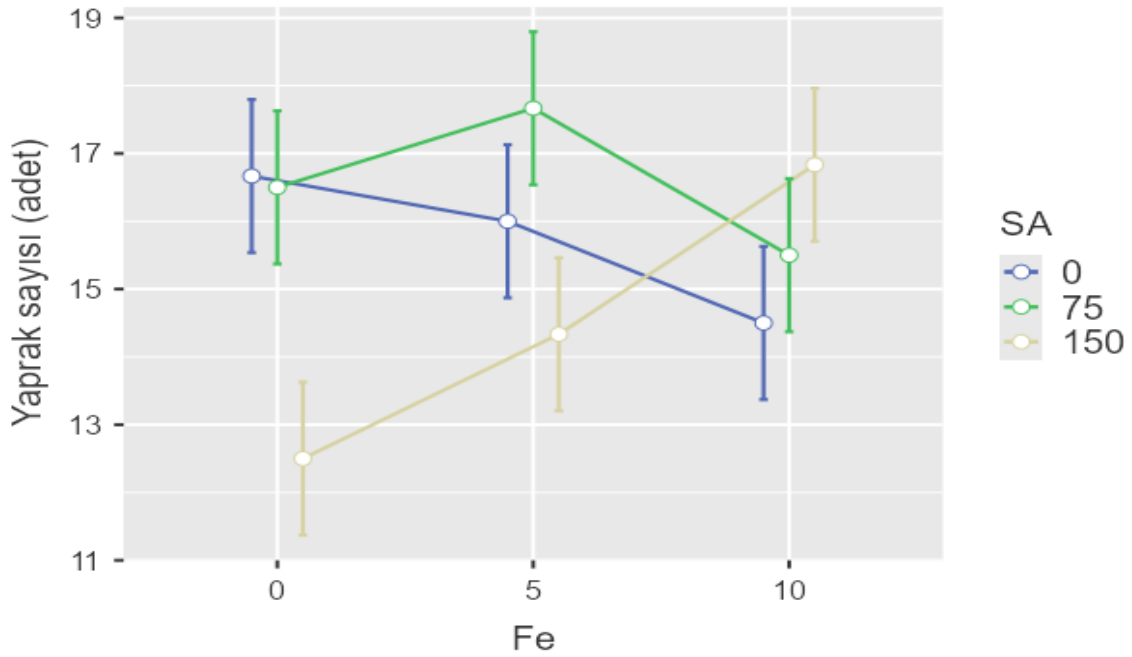


Şekil 2.

Fe düzeylerine göre farklı SA uygulamalarında yaprak eni ortalamaları

Yaprak eni bakımından en yüksek ortalama Fe5 + SA150 grubunda $8,78 \pm 1,31$ cm olarak gözlenmiştir. Fe10 + SA0 grubu $8,75 \pm 1,31$ cm ile benzer şekilde yüksek değer göstermiştir. En düşük yaprak eni ise Fe5 + SA75 grubunda $6,08 \pm 0,38$ cm olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, yaprak eni yanıtının Fe ve SA uygulamalarının birlikte etkisine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

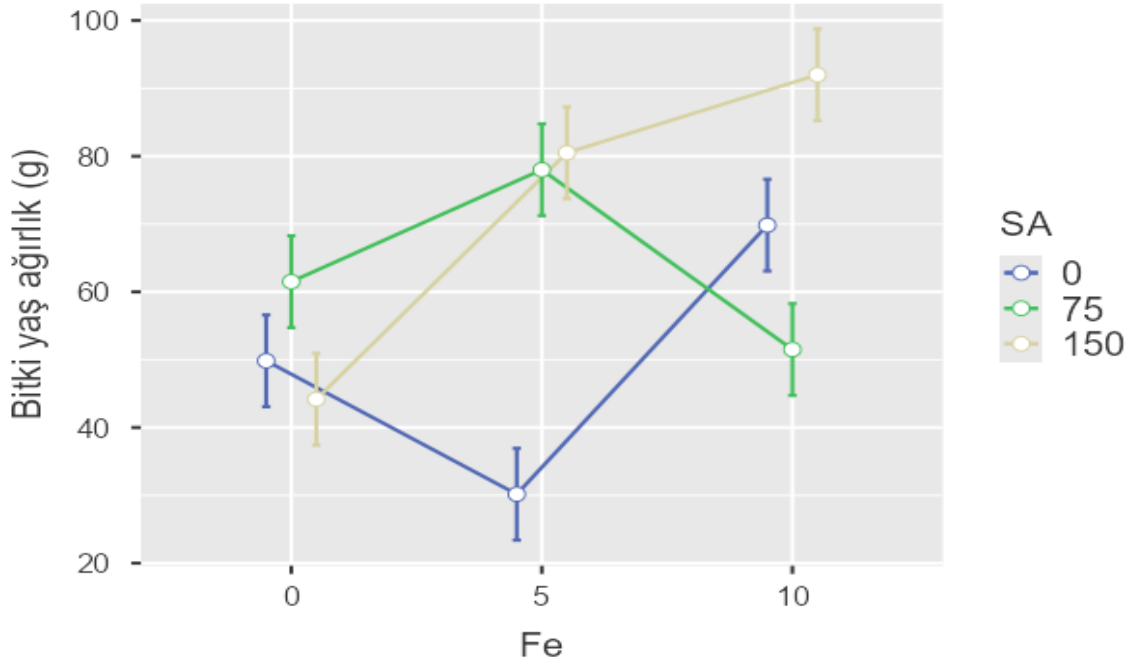
Yaprak sayısı açısından Fe ana etkisi anlamlı bulunmamıştır, $F(2, 45) = 1,07$, $p = 0,353$, $\eta^2 = 0,045$. Buna karşılık SA ana etkisi anlamlıdır, $F(2, 45) = 7,12$, $p = 0,002$, $\eta^2 = 0,240$. Fe $\times$ SA etkileşimi de istatistiksel olarak anlamlıdır, $F(4, 45) = 7,86$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,411$ (Şekil 3).



Şekil 3. Fe düzeylerine göre farklı SA uygulamalarında yaprak sayısı ortalamaları

En yüksek yaprak sayısı Fe5 + SA75 grubunda $17,67 \pm 1,21$ olarak belirlenmiştir. Fe10 + SA150 grubunda da yüksek bir yaprak sayısı ortalaması gözlenmiştir $16,83 \pm 0,75$. En düşük değer ise Fe0 + SA150 grubunda $12,50 \pm 1,87$ olarak bulunmuştur. Bu durum, SA uygulamasının yaprak sayısı üzerindeki etkisinin Fe düzeyine göre farklılaştığını göstermektedir.

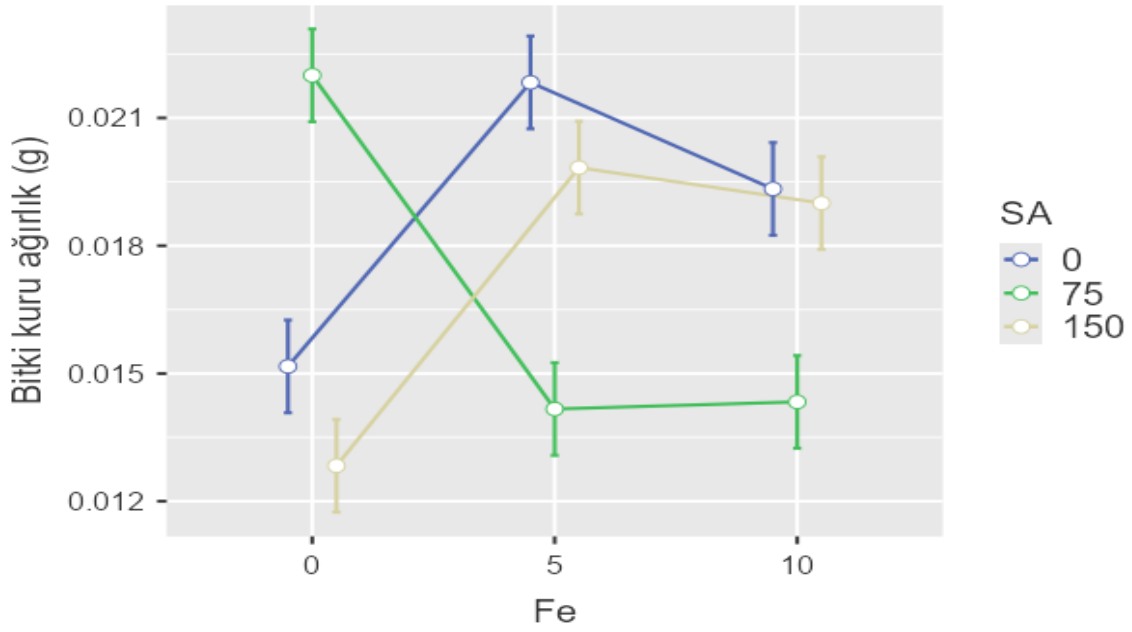
Bitki yaş ağırlığı üzerinde Fe ana etkisi anlamlı bulunmuştur, $F(2, 45) = 16,78$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,427$. SA ana etkisi de anlamlıdır, $F(2, 45) = 22,64$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,502$. Ayrıca Fe $\times$ SA etkileşimi güçlü düzeyde anlamlıdır, $F(4, 45) = 27,35$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,709$ (Şekil 4).



Şekil 4. Fe düzeylerine göre farklı SA uygulamalarında bitki yaş ağırlığı ortalamaları

En yüksek yaş ağırlık Fe10 + SA150 grubunda $92,00 \pm 5,87$ g olarak elde edilmiştir. Bunu Fe5 + SA150 grubu $80,50 \pm 3,33$ g ve Fe5 + SA75 grubu $78,00 \pm 12,81$ g izlemiştir. En düşük yaş ağırlık ise Fe5 + SA0 grubunda $30,17 \pm 19,26$ g olarak bulunmuştur. Bu gruptaki yüksek standart sapma, grup içi değişkenliğin fazla olduğunu göstermektedir. Özellikle Fe10 + SA150 kombinasyonu, yaş biyokütle artışı açısından en belirgin olumlu yanıtı oluşturmuştur.

Bitki kuru ağırlığı bakımından Fe ana etkisi anlamlı bulunmuştur, $F(2, 45) = 9,82$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,304$. SA ana etkisi de anlamlıdır, $F(2, 45) = 7,39$, $p = 0,002$, $\eta^2 = 0,247$. Fe $\times$ SA etkileşimi ise oldukça güçlü düzeyde anlamlıdır, $F(4, 45) = 55,39$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,831$ (Şekil 5).



Şekil 5. Fe düzeylerine göre farklı SA uygulamalarında bitki kuru ağırlığı ortalamaları

En yüksek kuru ağırlık ortalaması Fe0 + SA75 grubunda $0,022 \pm 0,002$ g ve Fe5 + SA0 grubunda $0,022 \pm 0,002$ g olarak gözlenmiştir. Fe5 + SA150 ve Fe10 + SA150 gruplarında da kuru ağırlık değerleri görece yüksek bulunmuştur. En düşük kuru ağırlık ise Fe0 + SA150 grubunda $0,013 \pm 0,001$ g olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kuru madde birikiminin Fe ve SA kombinasyonlarına oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Fe ve SA uygulamalarının marul gelişim parametreleri üzerindeki etkilerinin çoğunlukla bağımsız ana etkilerden ziyade uygulama kombinasyonlarına bağlı olduğu görülmüştür. Yaprak boyu, yaprak eni, yaprak sayısı, yaş ağırlık ve kuru ağırlık değişkenlerinin tamamında Fe $\times$ SA etkileşimi anlamlı bulunmuştur. Bu durum, SA uygulamasına verilen bitki yanıtının Fe düzeyine göre değiştiğini göstermektedir.

Özellikle Fe5 + SA150 kombinasyonu yaprak boyu ve yaprak eni açısından öne çıkarken, Fe10 + SA150 kombinasyonu yaş ağırlık bakımından en yüksek değeri vermiştir. Yaprak sayısı bakımından Fe5 + SA75 uygulaması daha avantajlı görünmektedir. Kuru ağırlık açısından ise Fe0 + SA75 ve Fe5 + SA0 grupları yüksek değerler göstermiştir. Bu bulgular, marulda Fe ve SA uygulamalarının büyüme parametreleri üzerinde farklı yönlerde etkiler oluşturabileceğini ve en uygun uygulama kombinasyonunun değerlendirilen büyüme kriterine göre değişebileceğini göstermektedir.

Elde edilen bulgular, marul bitkisinde demir ve salisilik asit uygulamalarının büyüme ve gelişme parametreleri üzerinde tek başına değil, uygulama kombinasyonlarına bağlı olarak farklı düzeylerde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle Fe $\times$ SA etkileşiminin tüm incelenen özelliklerde istatistiksel olarak anlamlı bulunması, salisilik asidin bitkide oluşturduğu fizyolojik yanıtın demir düzeyine bağlı olarak değişebildiğini göstermektedir. Demir, klorofil sentezi, fotosentetik elektron taşınımı ve birçok enzimatik reaksiyonda temel bir mikro besin

elementi olarak görev yaparken, salisilik asit bitki büyümesini düzenleyen ve stres koşullarında savunma mekanizmalarını aktive eden önemli bir sinyal molekülüdür. Bu nedenle, araştırmada belirlenen farklı uygulama kombinasyonlarının büyüme parametreleri üzerindeki etkilerinin, demir beslenmesi ile salisilik asidin fizyolojik ve biyokimyasal işlevleri arasındaki etkileşimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar, bu mekanizmalar çerçevesinde literatürde bildirilen benzer çalışmalarla karşılaştırılarak aşağıda tartışılmıştır.

Demir, bitki yaşamı için mutlak gerekli mikro besin elementlerinden biri olup fotosentetik elektron taşınımı, kloroplast gelişimi, solunum ve enerji metabolizmasında görev alan çok sayıda enzimin yapısında yer almaktadır (Marschner, 2012). Bitkilerde yeterli demir beslenmesi fotosentetik kapasitenin artmasına, karbon asimilasyonunun hızlanmasına ve sonuç olarak daha fazla biyokütle oluşumuna katkı sağlamaktadır. Nitekim marulda Fe, Zn ve Mn eksikliğinin fotosentetik pigmentler ve klorofil floresansı üzerine etkilerini inceleyen Roosta ve ark. (2018), özellikle Fe eksikliğinin fotosentetik pigmentleri ve fizyolojik performansı olumsuz etkileyebileceğini bildirmiştir. Bu çerçevede çalışmamızda Fe uygulamalarının yaprak boyu, yaprak eni, yaş ağırlık ve kuru ağırlık üzerinde anlamlı etkiler oluşturması beklenen bir sonuçtur. Çalışmamızda Fe uygulamalarının özellikle yaprak boyu ve yaprak eni üzerinde önemli etkiler oluşturması, demirin fotosentetik aktiviteyi artırıcı rolü ile açıklanabilir. Benzer şekilde Briat ve ark. (2015), yeterli demir beslenmesinin bitki büyümesi ve ürün kalitesi üzerinde doğrudan etkili olduğunu bildirmiştir.

Araştırmada en yüksek yaprak boyu değerinin Fe5+SA150 uygulamasında elde edilmesi önemli bir farklılık olarak değerlendirilmiştir. Bu durum, salisilik asidin büyümeyi düzenleyici etkisinin orta düzey demir uygulaması ile birlikte daha etkin hale geldiğini göstermektedir. Salisilik asit, bitkilerde yalnızca savunma mekanizmalarını düzenleyen bir sinyal molekülü değil, aynı zamanda büyüme ve gelişmeyi etkileyen önemli bir metabolik düzenleyicidir. SA'nın hücre bölünmesini teşvik ettiği, klorofil sentezini desteklediği ve fotosentez etkinliğini artırdığı bildirilmektedir (Hayat ve ark., 2010). Bu nedenle çalışmada gözlenen yaprak gelişimi artışının, Fe'nin fotosentetik kapasiteyi artırıcı etkisi ile SA'nın metabolik düzenleyici rolünün birleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yaprak eni sonuçları da benzer şekilde değerlendirilmiştir. Yaprak alanı bitkinin ışık yakalama kapasitesini belirleyen temel özelliklerden biridir. Yaprak enindeki artış, daha geniş fotosentetik yüzey alanı oluşturarak karbon fiksasyonunu artırabilmektedir. Fe5+SA150 uygulamasında elde edilen yüksek yaprak eni değerleri, bu kombinasyonun fotosentetik verimlilik açısından avantaj sağlayabileceğini göstermektedir. Nitekim Khan ve ark. (2015), salisilik asit uygulamalarının yaprak gelişimini ve fotosentetik performansı artırdığını bildirmiştir.

Bununla birlikte SA150 uygulamasının Fe0 koşulunda yaprak boyu, yaprak eni, yaprak sayısı ve kuru ağırlık bakımından düşük değerler oluşturması, SA'nın etkisinin besin elementi durumuna bağlı olarak değiştiğini göstermesi açısından önemlidir. Fe bulunmayan ya da yetersiz koşullarda yüksek SA düzeyi, bitkide savunma metabolizmasını ve antioksidan yanıtları artırırken büyümeye ayrılan karbon ve enerji miktarını sınırlandırabilir. Bu durum

biyostimülant veya hormon benzeri uygulamalarda sık görülen doz-bağımlı yanıtla uyumludur. Lam ve ark. (2024), yüksek SA konsantrasyonlarının bazı büyüme değişkenlerinde azalmaya yol açabildiğini, buna karşılık orta düzey SA uygulamalarının klorofil ve antioksidan kapasiteyi artırabildiğini bildirmiştir. Dolayısıyla çalışmamızda Fe0 + SA150 grubundaki düşük performans, yüksek SA dozunun Fe yetersizliği koşulunda büyüme yerine stres/savunma metabolizmasını daha fazla uyarmış olabileceği şeklinde yorumlanabilir.

Yaprak sayısı bakımından en yüksek değerin Fe5+SA75 uygulamasında belirlenmesi, farklı büyüme parametrelerinin uygulamalara farklı düzeylerde yanıt verebildiğini göstermektedir. Bitki gelişimi yalnızca besin elementi düzeylerinden değil, aynı zamanda hormonal denge ve çevresel koşullardan da etkilenmektedir. Bu nedenle bazı uygulamalarda yaprak sayısı artarken biyokütle artışının aynı oranda gerçekleşmemesi beklenen bir durumdur. Yaprak sayısındaki artışın özellikle orta düzey Fe ve SA uygulamalarında ortaya çıkması, bitkinin büyüme kaynaklarını yeni yaprak oluşumuna yönlendirdiğini düşündürmektedir.

Çalışmanın en dikkat çekici sonuçlarından biri kök gelişiminde gözlenmiştir. Kök yaş ağırlığı bakımından en yüksek değerin Fe10+SA150 uygulamasında elde edilmesi, Fe ve SA uygulamalarının kök sisteminin gelişimi üzerinde güçlü bir sinerjik etki oluşturduğunu göstermektedir. Kök sistemi, bitkinin su ve besin maddesi alımını belirleyen temel organ olduğundan, kök biyokütlesindeki artış doğrudan bitki performansına yansımaktadır. Demirin kök hücre bölünmesini desteklediği ve kök büyümesini teşvik ettiği bilinmektedir (Römheld ve Marschner, 1990). Salisilik asit ise kök gelişimini destekleyerek lateral kök oluşumunu artırabilmekte ve besin maddesi kullanım etkinliğini iyileştirebilmektedir (Vicente ve Plasencia, 2011). Bu nedenle yüksek Fe ve SA kombinasyonlarında gözlenen kök gelişimi artışı biyolojik açıdan beklenen bir sonuç olarak değerlendirilebilir. SA'nın stomatal düzenleme, su ilişkileri ve stres yanıtı üzerindeki etkileri dikkate alındığında, Fe10 + SA150 kombinasyonunda bitkilerin hem fotosentetik kapasite hem de su durumunu daha iyi korumuş olabileceği düşünülebilir. Horticultural crops üzerinde yapılan derlemelerde SA'nın abiyotik stres koşullarında fotosentez, antioksidan savunma, ozmotik düzenleme ve hücrel koruma mekanizmalarını destekleyerek bitki performansını artırabileceği bildirilmektedir (Chen ve ark., 2023). Lettuce üzerinde yapılan bir çalışmada da SA uygulamasının özellikle hafif stres koşullarında bitki boyu, kök gelişimi, klorofil ve bazı fizyolojik yanıtları desteklediği rapor edilmiştir (Babaousmail ve ark., 2022). Bu bulgular, çalışmamızda Fe10 + SA150 kombinasyonunun yaş biyokütle üzerinde oluşturduğu olumlu etkinin fizyolojik olarak anlamlı olduğunu desteklemektedir.

Araştırmada kök kuru ağırlığında da uygulamalar arasında önemli farklılıklar belirlenmiştir.

Kök kuru ağırlık sonuçları yaş ağırlık sonuçlarından kısmen farklı bir eğilim göstermiştir. En yüksek kök kuru ağırlık ortalamalarının Fe0 + SA75 ve Fe5 + SA0 gruplarında elde edilmesi, taze biyokütle artışı ile kuru madde birikiminin her zaman paralel ilerlemediğini

göstermektedir. Fe10 + SA150 uygulaması yaş ağırlık bakımından en yüksek sonucu verirken kuru ağırlık bakımından ilk sırada yer almamıştır. Bu durum, söz konusu kombinasyonda dokuların su içeriği veya hücre genişlemesinin daha fazla artmış olabileceğini, buna karşın kuru madde yoğunluğunun aynı oranda yükselmediğini düşündürmektedir. Bitkilerde yaş ağırlık artışı çoğu zaman su alımı, vakuol genişlemesi ve turgorla ilişkiliyken; kuru ağırlık daha çok net karbon asimilasyonu ve yapısal madde birikimiyle ilişkilidir. Bu nedenle kongre sunumunda bu noktanın özellikle vurgulanması yararlı olacaktır: Fe10 + SA150 uygulaması taze biyokütle açısından öne çıkarken, kuru madde birikimi açısından daha dengeli veya daha düşük SA düzeylerinin avantajlı olabileceği görülmektedir.

Fe ve SA arasındaki etkileşimin olası bir başka açıklaması da Fe alımı, taşınımı ve bitki içindeki aktif Fe havuzları ile ilgilidir. Fe, toprakta bulunmasına rağmen bitki tarafından alınabilir formda olmayabilir; bu nedenle Fe beslenmesi yalnızca verilen Fe miktarına değil, kök bölgesindeki çözünürlük, redüksiyon kapasitesi ve taşınım süreçlerine de bağlıdır. Fe eksikliği altında SA ve nitrik oksit uygulamalarının klorozu hafifletebildiği, aktif Fe içeriğini, Fe alımını ve taşınımını artırabildiği bildirilmiştir (Kong ve ark., 2014). Çalışmamızda doğrudan yaprak Fe içeriği, klorofil, fotosentez veya antioksidan enzim aktivitesi ölçülmemiş olmakla birlikte, büyüme parametrelerindeki farklı yanıtlar Fe ve SA'nın beslenme-fizyoloji düzeyinde etkileşim kurduğunu düşündürmektedir. Özellikle Fe5 + SA150 ve Fe10 + SA150 gruplarındaki olumlu yanıtlar, SA'nın uygun Fe düzeylerinde büyümeyi destekleyici etki gösterebildiğini; ancak Fe yetersizliği koşulunda yüksek SA dozunun aynı etkiyi oluşturmadığını ortaya koymaktadır

Araştırmada yüksek Fe düzeylerinin tek başına her zaman en yüksek büyüme değerlerini oluşturmamış olması dikkat çekmektedir. Bitkiler için gerekli bir element olmasına rağmen demirin aşırı düzeylerde uygulanması durumunda reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumu artabilmekte ve oksidatif stres meydana gelebilmektedir (Briat ve ark., 2015). Bununla birlikte salisilik asit uygulamalarının bulunduğu kombinasyonlarda büyümenin yeniden artış göstermesi, SA'nın koruyucu etkisini düşündürmektedir. Salisilik asidin süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve askorbat peroksidaz (APX) gibi antioksidan enzim sistemlerini aktive ederek oksidatif stresi azaltabildiği bilinmektedir (Nazar ve ark., 2015). Her ne kadar bu çalışmada antioksidan enzim aktiviteleri ölçülmemiş olsa da elde edilen büyüme verileri söz konusu mekanizmayı destekler niteliktedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu çalışmanın bulguları marulda Fe ve SA uygulamalarının etkisinin parametreye özgü olduğunu göstermektedir. Yaprak boyu ve yaprak eni bakımından Fe5 + SA150 kombinasyonu, yaş ağırlık bakımından Fe10 + SA150 kombinasyonu, yaprak sayısı bakımından Fe5 + SA75 kombinasyonu, kuru ağırlık bakımından ise Fe0 + SA75 ve Fe5 + SA0 uygulamaları öne çıkmıştır. Bu sonuçlar, tek bir uygulama kombinasyonunun tüm

büyüme parametreleri için mutlak olarak en iyi seçenek olmadığını; yetiştiricilik amacına göre uygulama stratejisinin değişebileceğini göstermektedir. Eğer amaç hızlı ve görsel vejetatif gelişim ise Fe5 + SA150; taze biyokütle artışı ise Fe10 + SA150; yaprak sayısını artırmak ise Fe5 + SA75 daha avantajlı görünmektedir. Ancak kuru madde birikimi hedeflendiğinde daha düşük SA düzeyleri veya SA uygulanmayan Fe5 koşulu daha uygun olabilir.

Sonuç olarak, Fe ve SA uygulamalarının marulda büyüme parametreleri üzerinde belirgin ve etkileşimli etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Bulgular, Fe beslenmesinin SA uygulamalarına verilen yanıtı yönlendiren temel faktörlerden biri olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmanın en güçlü yönü, Fe × SA etkileşiminin tüm incelenen parametrelerde anlamlı bulunması ve bu nedenle sonuçların uygulama kombinasyonları üzerinden yorumlanmasının gerekli olduğunun gösterilmesidir. Bununla birlikte, ilerleyen çalışmalarda yaprak Fe içeriği, klorofil/SPAD değeri, fotosentetik gaz değişimi, antioksidan enzim aktiviteleri ve kök morfolojisi gibi fizyolojik ölçümlerin de değerlendirilmesi, bu etkileşimin mekanizmasını daha ayrıntılı açıklamaya katkı sağlayacaktır

KAYNAKÇA

1. Ashraf, M., Athar, H. R., Harris, P. J. C., & Kwon, T. R. (2008). Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. *Advances in agronomy*, 97, 45-110.
2. Babaousmail, M., Nili, M. S., Brik, R., Saadouni, M., Yousif, S. K. M., Omer, R. M., Osman, N. A., Alsahli, A. A., Ashour, H., & El-Taher, A. M. (2022). Improving the tolerance to salinity stress in lettuce plants (*Lactuca sativa* L.) using exogenous application of salicylic acid, yeast, and zeolite. *Life*, 12(10), 1538. <https://doi.org/10.3390/life12101538>
3. Briat, J. F., Curie, C., & Gaymard, F. (2007). "Iron utilization and metabolism in plants." *Current Opinion in Plant Biology*, 10(3), 276-282.
4. Briat, J.F., Dubos, C. ve Gaymard, F., Iron Nutrition, Biomass Production and Plant Product Quality, *Trends in Plant Science*, 20(1), 33–40, 2015.
5. Büyük, İ., Soydam-Aydin, S., & Aras, S. (2012). Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. *Turkish Bulletin of Hygiene & Experimental Biology/Türk Hijyen ve Deneyisel Biyoloji*, 69(2).
6. Chen, S. C., Zhao, C. B., Ren, R. M., & Jiang, J. H. (2023). Salicylic acid had the potential to enhance tolerance in horticultural crops against abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1141918. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1141918>
7. Ergün, O., Daşgan, H. Y., & Doğan, O. (2024). Organik Marul Yetiştiriciliğinde Biyogübre ve Biyostimulantlar Kullanılarak Bitki Beslemenin İyileştirilmesi ile Verim ve Kalitenin Artırılması. *Bahçe*, 53(Özel Sayı 1), 333-341. <https://doi.org/10.53471/bahce.1509586>
8. Eşiyok, D. (2012). Kışlık ve yazlık sebze yetiştiriciliği. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, 410s.
9. FAO, (2024), Food and Agriculture Statistics. Available at: <https://www.fao.org/statistics/en/>
10. Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. ve Ahmad, A., Effect of Exogenous Salicylic Acid Under Changing Environment, *Environmental and Experimental Botany*, 68, 14–25, 2010.

11. Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 68(1), 14-25.
12. Kandemir, D. ve Balkaya, A., Türkiye’de Marul Yetiştiriciliği ve Çeşit Geliştirme Çalışmaları, Bahçe Dergisi, 2022.
13. Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A., Khan, N. A. (2015). Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6, 462.
14. Kim, M. J., Moon, Y., Tou, J. C., Mou, B., & Waterland, N. L. (2016). Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 19-34.
15. Kong, J., Dong, Y., Xu, L., Liu, S., & Bai, X. (2014). Effects of foliar application of salicylic acid and nitric oxide in alleviating iron deficiency induced chlorosis of *Arachis hypogaea* L. *Botanical Studies*, 55, 9. <https://doi.org/10.1186/1999-3110-55-9>
16. Lam, V. P., Loi, D. N., Shin, J., Mi, L. K., & Park, J. (2024). Optimization of salicylic acid concentrations for increasing antioxidant enzymes and bioactive compounds of *Agastache rugosa* in a plant factory. *PLOS ONE*, 19(7), e0306340. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306340>
17. Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.
18. Marschner, P., Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, London, 2012.
19. Nazar, R., Umar, S. ve Khan, N.A., Salicylic Acid and Abiotic Stress Tolerance in Plants, *Frontiers in Plant Science*, 6, 462, 2015
20. Özbucak, T., Alan, H. (2024). Katı ve Sıvı Solucan Gübre Uygulamalarının Marul (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*) Bitkisinin Verimine Etkisi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 14(1), 82-93.
21. Roosta, H. R., Estaji, A., & Niknam, F. (2018). Effect of iron, zinc and manganese shortage-induced change on photosynthetic pigments, some osmoregulators and chlorophyll fluorescence parameters in lettuce. *Photosynthetica*, 56, 606–615. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0696-1>
22. Römheld, V., & Marschner, H. (1990). "Genotypic differences among graminaceous species in release of phytosiderophores and uptake of iron phytosiderophores." *Plant and Soil*, 123(2), 147-
23. Shi, M., Gu, J., Wu, H., Rauf, A., Emran, T. B., Khan, Z., ... & Suleria, H. A. (2022). Phytochemicals, nutrition, metabolism, bioavailability, and health benefits in lettuce—A comprehensive review. *Antioxidants*, 11(6), 1158.
24. Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*. Sinauer Associates.
25. TÜİK, 2024 , https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/press/53447?utm_source=chatgpt.com
26. Vicente, M.R.-S. and Plasencia, J., 2011. Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*, 62, 3321–3338.
27. Wang, X., Li, X., Meisenhelder, J., Hunter, T., Yoshida, S., Asami, T., & Chory, J. (2005). Autoregulation and homodimerization are involved in the activation of the plant steroid receptor BRI1. *Developmental cell*, 8(6), 855-865.

USAGE OF LUPIN AQUAFABA AS EGG REPLACER IN CAKE PRODUCTION

Kübra AKTAŞ

Karamanoğlu Mehmetbey University, kubraaktas@kmu.edu.tr, 0000-0002-0197-0768

Hacer LEVENT

Karamanoğlu Mehmetbey University, hacterlevent@kmu.edu.tr, 0000-0002-7321-5577

ABSTRACT

In this study, we have focused on the effects of using lupin aquafaba as egg replacer in the production of cake. For this purpose, samples containing 20%, 40% and 60% lupin aquafaba (LA) were prepared alongside a control sample containing 100% egg and some physical and sensory properties of these samples were compared. The incorporation of LA significantly reduced crust lightness (L^*) while having no notable effect on crumb color. Batter specific gravity remained unchanged; however, cooking loss increased with higher LA levels. Increasing LA substitution resulted in a decrease in volume index and changes in symmetry and uniformity indices. Textural analysis showed that hardness increased significantly with LA addition, particularly at 60%, while springiness was not affected. Sensory evaluation revealed that LA incorporation did not significantly influence color, appearance, odor, or overall acceptability, although taste scores improved and pore structure scores declined with increasing LA levels. Overall, the results suggest that lupin aquafaba can be effectively used as a partial egg substitute in cake formulations, with up to 40% substitution providing acceptable quality in terms of technological and sensory properties.

Keywords: Aquafaba, egg replacer, lupin, cake

1. INTRODUCTION

The demand for sustainable and functional plant-based products has been increasing steadily in recent years [1]. In this context, plant-derived ingredients and food products are being formulated to replicate and substitute animal-based components such as meat, milk, and eggs. This shift is closely linked to the rapid expansion of vegetarian and vegan markets, alongside a growing consumer inclination toward healthier and environmentally sustainable dietary choices [2]. Additionally, evolving consumption patterns, the rising incidence of allergies related to

animal proteins, religious dietary restrictions, and changes in purchasing power have collectively contributed to a greater preference for plant-based proteins and their derivatives [3]. In recent years, aquafaba—defined as the viscous liquid obtained from cooking chickpeas or other legumes—has gained considerable attention within vegan communities as a viable alternative to egg and dairy ingredients in various food formulations [4]. Cake represents one of the most widely consumed bakery products and holds a significant place in global gastronomy. Its popularity stems from its versatility, which is enabled by diverse production methods, formulation variations, ready-to-consume nature, and relatively low cost [3;5;6]. A review of the existing literature indicates a lack of studies focusing on the utilization of lupin-derived aquafaba as an egg substitute. Accordingly, the present study aims to evaluate the impact of substituting eggs with lupin aquafaba on cake quality. For this purpose, whole eggs in the cake formulation were partially replaced with lupin aquafaba at substitution levels of 20%, 40%, and 60%. The resulting cakes were subsequently analyzed in terms of their physical and sensory characteristics.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Lupin aquafaba preparation

Lupin aquafaba (LA) was prepared from dried lupin seeds following a standardized cooking procedure. Initially, the seeds were thoroughly cleaned to remove impurities and then after soaking, the water was discarded, and the seeds were rinsed with fresh water. The soaked lupin seeds were then cooked in distilled water at a ratio of 1:5 (w/v) under controlled conditions (boiling at 95–100 °C for 45 minutes). Following the cooking process, the liquid fraction (aquafaba) was separated from the seeds by filtration. The collected aquafaba was cooled to room temperature.

2.2. Cake preparation

The control cake formulation consisted of wheat flour (100 g), shortening (55 g), granulated sugar (75 g), whole egg (60 g), full-fat milk (70 mL), salt (0.2 g), baking powder (3 g), ethyl vanillin (1 g), and DATEM (0.5 g). In the experimental formulations, whole egg was partially substituted with lupin aquafaba at levels of 20%, 40%, and 60% (w/w) (Table 1). Initially, shortening and granulated sucrose were creamed using a Hobart mixer (Hobart N50, Canada Inc., North York, Ontario, Canada) until a light and homogeneous structure was achieved.

Subsequently, eggs were incorporated and whipped for 5 minutes. The remaining ingredients were then added to the mixture, followed by an additional mixing period of 1 minute to obtain the batter. A portion of 130 g batter was transferred into baking molds and baked at 175 °C for 35 minutes in an oven (Bosch HBT 112, Athens, Greece). Upon completion of baking, the cakes were demolded and allowed to cool at ambient conditions for 30 minutes. After cooling, samples were packaged in polyethylene bags, sealed, and stored at room temperature (22 °C) until further analysis.

Table 1. Formulation of cake samples

	0% LA	20% LA	40% LA	60% LA
Wheat flour	100g	100g	100g	100g
Shortening	50g	50g	50g	50g
Sugar	75g	75g	75g	75g
Whole egg	60g	48g	36g	24g
Milk	70ml	70ml	70ml	70ml
Salt	0.2g	0.2g	0.2g	0.2g
Baking powder	3g	3g	3g	3g
Ethyl vanillin	1g	1g	1g	1g
DATEM	0.5g	0.5g	0.5g	0.5g
Xantan gum	-	0.5g	0.5g	0.5g
Lupin aquafaba	-	12g	24g	36g
Water	70ml	70ml	70ml	70ml

LA:Lupin aquafaba DATEM:Diacetyl tartaric acid ester of mono- and diglycerides

2.3. Physical properties of cake samples

Color measurements were performed separately on the crust and crumb sections of the cakes by determining L* (lightness), a* (red–green coordinate), and b* (yellow–blue coordinate) parameters using a chromometer (Model CR 400, Minolta Camera Co. Ltd., Osaka, Japan) [7]. The specific gravity of the batter was determined as the ratio of the mass of a defined volume of batter to that of an equivalent volume of distilled water [8]. Baking loss was calculated based on the weight difference between the batter prior to baking and the final baked product. Furthermore, structural quality parameters, including volume index, symmetry index, and uniformity index, were assessed in accordance with AACC Method 10-91 [9].

2.4. Sensory Evaluation of Samples

Sensory analysis was conducted by a panel consisting of 15 semi-trained assessors. The evaluated attributes comprised appearance, color, pore structure, flavor, aroma, and overall acceptability. Assessments were carried out using a 7-point hedonic scale, where a score of 1 indicated “dislike extremely” and 7 indicated “like extremely,” with intermediate values reflecting gradations of preference.

2.5. Statistical Analysis

All experimental data were statistically analyzed using JMP 5.0.1 software (SAS Institute, Cary, North Carolina, USA). Significant differences among sample groups were identified by Tukey’s Honestly Significant Difference (HSD) test, with the level of significance set at $P < 0.05$.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The color values of the cake samples are presented in Table 1. The brightness (L^*), redness (a^*), and yellowness (b^*) values of the cake crust varied within the ranges 49.29–62.39, 10.71–13.89, and 36.01–41.80, respectively. The highest L^* values were found in the control sample. The addition of lupin aquafaba decreased the L^* values of the cake samples' crusts. Adding lupin aquafaba at all ratios did not affect the crumb color of the cake samples. Crust b^* values decreased at a ratio of 60% lupin aquafaba compared to the control sample. Akbin et al. [10] used the aquafaba of cowpea and lupin in cake formulations (0%, 50%, and 100%) and reported that using an aquafaba at any level affected the color of the cake samples.

Table 2. Colour values of cake samples^a

LA ratio	Crust color			Crumb color		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
0%	62.39±3.18 ^a	9.64±0.85 ^a	41.80±1.04 ^a	58.06±2.01 ^a	-2.70±0.37 ^a	22.13±1.29 ^a
20%	53.14±2.67 ^b	10.71±0.37 ^a	37.90±1.17 ^{ab}	60.68±0.27 ^a	-2.62±0.04 ^a	22.43±0.18 ^a
40%	53.08±0.80 ^b	12.99±1.87 ^a	39.45±0.86 ^{ab}	61.80±2.23 ^a	-2.78±0.35 ^a	21.54±0.02 ^a
60%	49.29±0.69 ^b	13.89±0.16 ^a	36.01±0.95 ^b	64.07±2.14 ^a	-3.01±0.05 ^a	21.62±0.24 ^a

^aMeans followed by the different letter within a column are significantly different ($p < 0.05$). LA:Lupin aquafaba

Figure 1 shows the specific gravity and cooking loss values of the cake samples. No significant differences were found in the cake batters ($p > 0.05$); however, cooking loss values increased as the aquafaba levels increased.

The volume index, symmetry index, and uniformity index values for the cake samples are presented in Table 3. The highest volume index values were found in the control sample, while the lowest value was found in cake samples containing 60% lupin aquafaba. Cake samples containing 20% and 40% gave the highest symmetry index values. The uniformity index values varied between -4.00 (at 40%) and 4.00 (in control). The volume index indicates cake volume, while symmetry indicates differences in height between the central and lateral zones. Therefore, high symmetry indicates a substantial rise in the central portions of the cake, while negative symmetry indicates a decrease in volume at the end of the baking process [8]. It was reported that cake samples containing 50% aquafaba exhibited a uniformity index value of nearly 0.00 mm [11].

Hardness is related to the initial force required to cause deformation, while springiness is the rate at which the material reforms or recovers after the corresponding force is withdrawn [12]. The use of lupin aquafaba in cake formulation (40 and 60%) causes an increase in hardness values in cake samples. The highest value was obtained at the highest enrichment ratio of lupin aquafaba. The springiness values of the cake samples were not found to differ significantly from each other ($p>0.05$). It was determined that the hardness value in cake samples increased as the volume index value decreased (Table 3). This may be because aquafaba cannot fully replicate the egg's role in providing emulsion and foam stabilization as well as structure formation in cake [13]. Crawford et al. (2024) used pressure-cooked or boiled chickpea aquafaba (prepared at a cooking ratio of 3 parts water to 1 part chickpeas and adjusted to a pH of 5) in a high-ratio cake formulation as an egg white substitute. In the same study, they also added xanthan gum or hydroxypropyl-methylcellulose to increase the air volume fraction in foams and improve stability. It was reported that regardless of the type or level of gum, cakes made with chickpea aquafaba instead of egg whites were denser and had less than half the specific volume of cakes made with eggs [14].

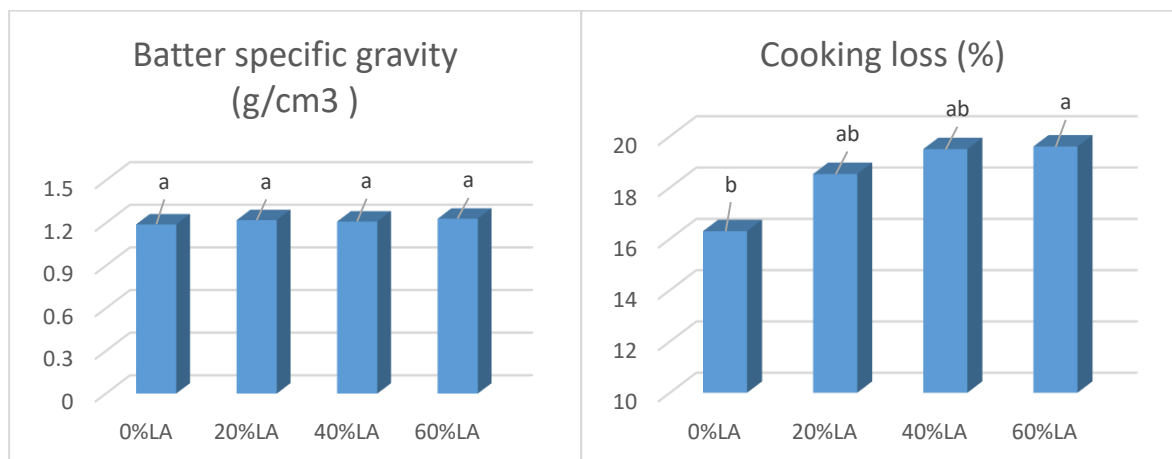


Figure 1. Batter specific gravity and cooking loss values of cake samples

^aMeans followed by the different letter are significantly different ($p < 0.05$). LA:Lupin aquafaba

Table 3. Physical properties of cake samples^a

LA ratio	Volume index (mm)	Symmetry index (mm)	Uniformity index (mm)	Hardness (g)	Springiness
0%	104.00±1.41 ^a	12.50±2.12 ^b	4.00±1.41 ^a	937.08±9.54 ^c	58.96±2.19 ^a
20%	100.50±0.71 ^a	21.50±0.00 ^a	2.00±2.83 ^{ab}	938.78±14.64 ^c	58.82±0.84 ^a
40%	96.00±1.41 ^{ab}	22.50±0.71 ^a	-4.00±1.41 ^b	999.32±7.16 ^b	59.87±1.69 ^a
60%	85.00±5.66 ^b	12.50±0.71 ^b	-1.50±0.71 ^{ab}	1109.63±18.43 ^a	58.36±3.10 ^a

^aMeans followed by the different letter within a column are significantly different ($p < 0.05$). LA:Lupin aquafaba

In the study conducted by Akbin et al. [10], aquafaba obtained from cowpea and lupin was utilized as a substitute for egg white in cake formulations at replacement levels of 0%, 50%, and 100%. The findings indicated that cakes prepared with egg white exhibited the highest values in terms of springiness, chewiness, and gumminess. Complete substitution of egg white led to a notable reduction in the specific volume of cakes produced using microwave-infrared baking. Similarly, Aslan and Ertaş [11] investigated the incorporation of chickpea-derived aquafaba at substitution levels of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%. Their results demonstrated that replacement up to 25% yielded volume index values comparable to the control sample, whereas substitution levels exceeding 50% caused an increase in firmness. In another study, Mustafa et al. [4] compared sponge cakes prepared with either egg white or aquafaba obtained from ten different commercial canned chickpea brands. The results showed that both color and textural attributes were generally comparable and acceptable; however, cakes produced with aquafaba exhibited lower springiness than those containing egg white.

The sensory evaluation results are summarized in Table 4. The incorporation of lupin aquafaba did not result in significant changes in color, appearance, odor, or overall acceptability scores of the cake samples. An increase in aquafaba substitution level was associated with higher taste scores, whereas pore structure scores showed a declining trend. Despite this reduction, overall acceptability remained unaffected. Based on these findings, it can be concluded that lupin aquafaba can be effectively utilized as an egg substitute in cake production at levels up to 40%. Consistent with these results, Aslan and Ertas [11] also reported that cakes containing 25% chickpea aquafaba received higher preference scores from panelists.

Table 4. Sensory scores of cake samples^a

LA ratio	Color	Appearance	Taste	Odor	Pore structure	Overall acceptability
0%	6.80±0.28 ^a	6.10±0.28 ^a	6.40±0.14 ^b	5.55±0.49 ^a	6.40±0.14 ^a	6.55±0.49 ^a
20%	6.90±0.14 ^a	6.60±0.14 ^a	6.60±0.14 ^{ab}	6.40±0.57 ^a	6.05±0.21 ^{ab}	6.85±0.21 ^a
40%	7.00±0.00 ^a	6.65±0.21 ^a	6.85±0.07 ^{ab}	6.90±0.14 ^a	5.55±0.35 ^{ab}	6.95±0.07 ^a
60%	7.00±0.00 ^a	6.55±0.35 ^a	6.95±0.07 ^a	6.95±0.07 ^a	5.25±0.35 ^b	6.15±0.21 ^a

^aMeans followed by the different letter within a column are significantly different ($p<0.05$). LA:Lupin aquafaba

4. CONCLUSION

This study demonstrated that lupin aquafaba (LA) can be used as a partial egg substitute in cake formulations, with its impact depending on the level of substitution. Increasing LA levels led to darker crust color, higher cooking loss, reduced volume index, and increased hardness, indicating a weakening of the structural properties of the cakes at higher substitution ratios. While batter density and springiness were not significantly affected, textural deterioration became more pronounced, particularly at 60% LA incorporation.

Despite these changes, sensory evaluation results showed that the use of LA did not negatively affect overall acceptability, color, appearance, or odor. In fact, taste scores improved with increasing LA levels, although pore structure scores declined. Considering both technological and sensory attributes, it can be concluded that lupin aquafaba is a promising plant-based

alternative to egg in cake production, and its use at levels up to 40% provides the most balanced results in terms of quality and consumer acceptability.

REFERENCES

- [1] Ramos-Figueroa, J. S., Tse, T. J., Shen, J., Purdy, S. K., Kim, J. K., Kim, Y. J., ... & Reaney, M. J. (2023). Foaming with starch: Exploring faba bean aquafaba as a green alternative. *Foods*, 12(18), 3391.
- [2] He, Y., Meda, V., Reaney, M. J., & Mustafa, R. (2021). Aquafaba, a new plant-based rheological additive for food applications. *Trends in food science & technology*, 111, 27-42.
- [3] Konal, G., Dundar, A. N., Sahin, O. I., Parlak, M. E., & Saricaoglu, F. T. (2025). Characterization of cakes produced with different legume aquafaba. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 39, 101076.
- [4] Mustafa, R., He, Y., Shim, Y. Y., & Reaney, M. J. (2018). Aquafaba, wastewater from chickpea canning, functions as an egg replacer in sponge cake. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(10), 2247-2255.
- [5] Jeddou, K. B., Bouaziz, F., Zouari-Ellouzi, S., Chaari, F., Ellouz-Chaabouni, S., Ellouz-Ghorbel, R., & Nouri-Ellouz, O. (2017). Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. *Food chemistry*, 217, 668-677.
- [6] Gökal, S., Yetişen, M., & Baltacıoğlu, C. (2024). Investigation of cake production with the addition of lupin (*Lupinus albus*) flour. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(4), 1492-1497.
- [7] Francis, F.J. 1998. Colour analysis, In: Food analysis, Nielsen SS (ed), An Aspen Publishers, Maryland, Gaithersburg, USA, 599-612.
- [8] Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C. M., Pando, V., & Fernández, E. (2008). Studies on cake quality made of wheat–chickpea flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1701-1709.
- [9] AACC, Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, US, 1990.
- [10] Akbin, A. C., Turabi Yolacanar, E., & Sumnu, G. (2025). Effects of legume-based aquafaba on batter rheology and quality characteristics of microwave-infrared baked cakes. *Physics of Fluids*, 37(1).

- [11] Aslan, M., & Ertaş, N. (2020). Possibility of using chickpea aquafaba as egg replacer in traditional cake formulation. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(1), 1-8.
- [12] Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food quality and preference*, 13(4), 215-225.
- [13] Mine, Y. (1995). Recent advances in the understanding of egg white protein functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 6(7), 225-232.
- [14] Crawford, K., Kerr, W., & Tyl, C. (2024). Effect of hydrocolloid addition on cake prepared with aquafaba as egg substitute. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(1), 552-559.

**FARKLI TAHIL UNLARINDAN ÜRETİLEN EKMEKLERİN SPESİFİK HACİM,
PIŞİRME KAYBI VE SERTLİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Öğr. Gör. Müberra Ahsen GÖRENTAŞ TERİM,

Van YYU, ahsengorentas@yyu.edu.tr, 0009-0005-6918-683X

Prof. Dr. Raciye MERAL¹

Van YYU, raciyemeral@yyu.edu.tr, 0000-0001-9893-7325

ÖZET

Bu çalışmada, farklı tahıl unlarından üretilen ekmeklerin bazı fiziksel ve tekstürel kalite özellikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla arpa, buğday, çavdar, karabuğday, tam buğday ve yulaf unlarından elde edilen ekmeklerde spesifik hacim, pişirme kaybı ve sertlik değerleri incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, spesifik hacim değerleri 1.02–3.20 cm³/g arasında değişmiş; en yüksek değer buğday ekmeğinde, en düşük değer ise karabuğday ekmeğinde belirlenmiştir. Pişirme kaybı değerlerinin %11.64–13.10 aralığında olduğu, en yüksek pişirme kaybının yulaf ekmeğinde, en düşük pişirme kaybının ise çavdar ekmeğinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Sertlik değerleri ise 6.85–24.60 N arasında değişmiş; buğday ekmeği en düşük, karabuğday ekmeği ise en yüksek sertlik değerini göstermiştir. Genel olarak sonuçlar, kullanılan tahıl türünün ekmeklerin hacim, pişirme kaybı ve tekstürel özellikleri üzerinde belirgin farklılıklar oluşturduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Ekmek, tahıl unu, spesifik hacim, pişirme kaybı, sertlik

**COMPARISON OF SPECIFIC VOLUME, BAKING LOSS, AND HARDNESS
PROPERTIES OF BREADS PRODUCED FROM DIFFERENT CEREAL FLOURS
ABSTRACT**

In this study, some physical and textural quality properties of breads produced from different cereal flours were comparatively evaluated. For this purpose, specific volume, baking loss, and hardness values were examined in breads prepared from barley, wheat, rye, buckwheat, whole wheat, and oat flours. According to the findings, specific volume values ranged from 1.02 to 3.20 cm³/g; the highest value was determined in wheat bread, while the lowest value was observed in buckwheat bread. Baking loss values ranged between 11.64% and

¹ Corresponding author: raciyemeral@yyu.edu.tr

13.10%, with the highest baking loss recorded in oat bread and the lowest in rye bread. Hardness values varied from 6.85 to 24.60 N; wheat bread exhibited the lowest hardness value, whereas buckwheat bread showed the highest hardness value. Overall, the results revealed that the type of cereal flour used caused significant differences in the volume, baking loss, and textural properties of the breads.

Keywords: Bread, cereal flour, specific volume, baking loss, hardness.

1. GİRİŞ

Ekmek, dünya genelinde yaygın olarak tüketilen temel gıda ürünlerinden biridir. Geleneksel ekmek üretiminde en yaygın kullanılan hammadde buğday unudur. Buğday ununun ekmek üretiminde tercih edilmesinin temel nedeni, içerdiği gluten proteinlerinin hamurda elastik ve viskoelastik bir ağ yapısı oluşturmalarıdır. Bu yapı, fermantasyon sırasında oluşan karbondioksit gazının hamur içerisinde tutulmasını sağlar ve pişirme sırasında ekmeğin hacim kazanmasına katkıda bulunur (Gan vd., 1995; Hu vd., 2023; Janssen vd., 2021a; Verheyen vd., 2015).

Son yıllarda tüketicilerin farklı tahıl kaynaklarına, lif içeriği yüksek ürünlere ve alternatif ekmek çeşitlerine olan ilgisi artmıştır. Bu nedenle arpa, çavdar, yulaf, karabuğday ve tam buğday gibi tahılların ekmek üretiminde kullanımı önem kazanmıştır. Bu tahıllar besinsel açıdan bazı avantajlar sağlayabilmekle birlikte, ekmek teknolojisi açısından bazı sınırlılıklar da oluşturmaktadır (Angioloni ve Collar, 2011; Capriles ve Arêas, 2014; Sofi vd., 2023). Özellikle gluten yapısının zayıf olması veya gluten içermemesi, hamurun gaz tutma kapasitesini azaltabilmekte ve ekmek hacminde düşüşe neden olabilmektedir (Cappelli vd., 2020; Monteiro vd., 2021; Šmídová ve Rysová, 2022).

Ekmek kalitesinin değerlendirilmesinde spesifik hacim, pişirme kaybı ve sertlik önemli kalite parametreleri arasında yer almaktadır. Spesifik hacim, ekmeğin birim ağırlık başına sahip olduğu hacmi ifade eder ve ekmeğin kabarma düzeyi, hafifliği ve gözenekliliği hakkında bilgi verir. Bu nedenle ekmek hacmi ve gözenek yapısı, ürünün fiziksel kalitesinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan göstergelerdendir (Angioloni ve Collar, 2011). Pişirme kaybı ise pişirme sırasında üründen uzaklaşan su ve uçucu bileşenlere bağlı olarak meydana gelen kütle kaybını göstermektedir. Sertlik değeri ise ekmeğin tekstürel kalitesini ortaya koyan önemli bir parametredir. Tüketici kabulü açısından daha yumuşak, gözenekli ve hacimli ekmekler genellikle daha olumlu değerlendirilmektedir (Dong ve Karboune, 2021; Heenan vd., 2008). Bu kalite parametreleri, ekmek üretiminde kullanılan unun bileşimi ve

teknolojik özelliklerinden doğrudan etkilenmektedir. Farklı tahıl unlarının gluten yapısı, lif içeriği, su tutma kapasitesi ve hamur reolojisi bakımından birbirinden ayrılması, ekmeklerin hacim, nem kaybı ve tekstürel özelliklerinde farklılıklar oluşturabilmektedir. Bu nedenle farklı tahıl unlarıyla üretilen ekmeklerin yalnızca besinsel açıdan değil, aynı zamanda fiziksel ve tekstürel kalite özellikleri bakımından da karşılaştırmalı olarak incelenmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, farklı tahıl unlarından üretilen ekmeklerin spesifik hacim, pişirme kaybı ve sertlik özelliklerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir.

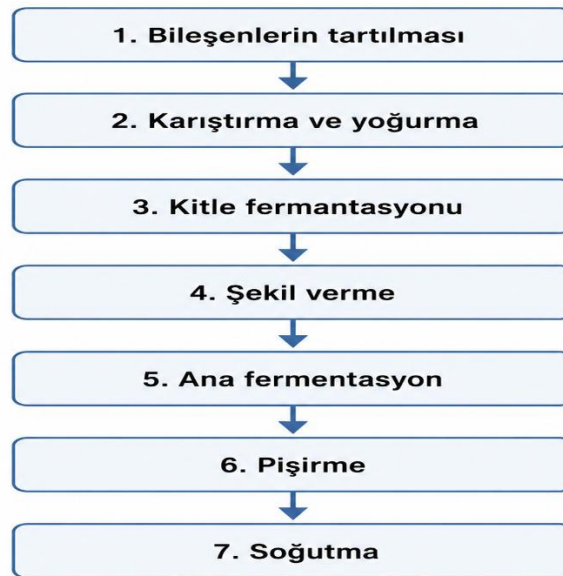
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmada arpa, buğday, çavdar, karabuğday, tam buğday ve yulaf unları kullanılmıştır. Her bir tahıl unundan ekmek örnekleri hazırlanmış ve elde edilen ürünler fiziksel ve tekstürel kalite özellikleri bakımından değerlendirilmiştir.

2.2. Ekmek Üretimi

Ekmek üretiminde otomatik ekmek yapma makinesi (Homend Breadfast 1503H) kullanılmıştır. Farklı tahıl unlarından hazırlanan ekmek örneklerinde temel formülasyon aynı tutulmuş, yalnızca kullanılan un çeşidi değiştirilmiştir. Ekmek yapımında kullanılan proses Görsel 1’de verilmiştir.



Görsel 1. Ekmek üretim akış şeması

Ekmek çeşitlerinde kullanılan su miktarı, unların su tutma kapasitesine bağlı olarak farklılık göstermiştir. Bu nedenle formülasyonda su miktarı sabit bir değer olarak değil, 200–

300 g aralığında değerlendirilmiş ve her un çeşidinin hamur oluşturma özelliklerine göre ayarlanmıştır (Çizelge 1). Hazırlanan hamurlar otomatik ekmek makinesinde karıştırma, kitle fermantasyonu, şekil verme, ana fermantasyon ve pişirme aşamalarından geçirilmiştir.

Çizelge 1. Ekmek üretiminde kullanılan temel bileşenler

Bileşen	İlave seviyesi (g)
Un	400
Ekmek katkısı	3.2
Maya (instant aktif)	6
Tuz	6
Şeker	8
Yağ	20
Su	200–300

2.3 Spesifik Hacim Analizi

Ekmek örneklerinin hacimleri belirlenmiş ve ekmek ağırlıkları tartılmıştır. Spesifik hacim değeri, ekmek hacminin ekmek ağırlığına oranlanmasıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Spesifik Hacim (cm}^3\text{/g)} = \text{Ekmek Hacmi (cm}^3\text{)} / \text{Ekmek Ağırlığı (g)}$$

2.4. Pişirme Kaybı Analizi

Pişirme kaybı, hamurun pişirme öncesi ağırlığı ile ekmeğin pişirme sonrası ağırlığı arasındaki fark esas alınarak hesaplanmıştır.

$$\text{Pişirme Kaybı (\%)} = [(\text{Pişirme Öncesi Ağırlık} - \text{Pişirme Sonrası Ağırlık}) / \text{Pişirme Öncesi Ağırlık}] \times 100$$

2.5. Sertlik Analizi

Ekmek örneklerinin sertlik değerleri tekstürel kalite göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Sertlik, ekmek iç yapısının sıkılığı ve mekanik dayanımı hakkında bilgi veren önemli bir parametredir. Sertlik değerleri Newton (N) cinsinden ifade edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı tahıl unlarından üretilen ekmeklerin dış görünüşü ve iç yapı özellikleri Görsel 2’de verilmiştir. Ekmek kalitesinin değerlendirilmesinde spesifik hacim, pişirme kaybı ve sertlik gibi sayısal parametrelerin yanı sıra, ürünün gözenek yapısı, iç doku yoğunluğu, kabuk görünümü ve kesit yapısı da önemli göstergeler arasında yer almaktadır. Özellikle ekmek içi yapısının homojenliği ve gözeneklilik düzeyi, hamurun gaz tutma kapasitesi ve pişirme sırasında oluşan yapı gelişimi hakkında görsel bilgi sağlamaktadır. Bu özellikler büyük ölçüde kullanılan unun protein yapısı, gluten oluşturma kapasitesi, lif içeriği ve su tutma davranışı ile ilişkilidir (De Bondt vd., 2021; Sun vd., 2023).



Görsel 2. Farklı tahıl unlarından üretilen ekmeklerin kesit görüntüleri.

Farklı tahıl unlarından üretilen ekmeklere ait spesifik hacim, pişirme kaybı ve sertlik değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Spesifik hacim değerleri incelendiğinde, ekmek örnekleri arasında belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. Spesifik hacim değerleri 1.02–3.20 cm³/g arasında değişmiştir. En yüksek spesifik hacim değeri 3.20 cm³/g ile buğday ekmeğinde belirlenmiştir. Bu sonuç, buğday ununun gluten proteinleri bakımından güçlü bir hamur ağı oluşturmaıyla açıklanabilir.

Gluten ağı, fermantasyon sırasında oluşan gazın hamur içinde tutulmasını sağlayarak ekmeğin pişirme sırasında daha iyi genleşmesine katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle buğday ekmeği diğer tahıl ekmeklerine göre daha hacimli ve daha gözenekli bir yapı göstermiştir (Gan vd., 1995; Meral ve Doğan, 2013; Schopf ve Scherf, 2021).

Çizelge 2. Ekmek örneklerinin spesifik hacim, pişirme kaybı ve sertlik değerleri

Örnek	Spesifik Hacim (cm ³ /g)	Pişirme Kaybı (%)	Sertlik (N)
Arpa	1.32	11.90	18.40
Buğday	3.20	12.70	6.85
Çavdar	1.63	11.64	14.75
Karabuğday	1.02	12.29	24.60
Tam buğday	1.81	11.90	12.90
Yulaf	1.34	13.10	17.85

En düşük spesifik hacim değeri ise 1.02 cm³/g ile karabuğday ekmeğinde belirlenmiştir. Karabuğdayın gluten içermemesi, hamurda elastik ve gaz tutucu bir ağ yapısı oluşumunu sınırlandırmaktadır. Bu durum, hamurun pişirme sırasında yeterince genleşememesine ve daha kompakt bir ekmek yapısının oluşmasına neden olmuş olabilir. Karabuğday ekmeğinde elde edilen düşük spesifik hacim değeri, bu ürünün daha yoğun ve sıkı bir iç yapıya sahip olmasıyla ilişkilendirilmiştir (Cappelli vd., 2020; Mariotti vd., 2013).

Arpa ve yulaf ekmeklerinde spesifik hacim değerleri sırasıyla 1.32 ve 1.34 cm³/g olarak belirlenmiştir. Bu değerler, buğday ekmeğine göre oldukça düşük düzeydedir. Arpa ve yulaf unlarının gluten kalitesi bakımından buğday ununa göre zayıf olması, ekmek hacminin sınırlı kalmasında etkili olabilir. Ayrıca bu tahılların yüksek lif içerikleri hamur yapısını etkileyerek gaz hücrelerinin genişlemesini sınırlandırabilir. Bu durum, daha düşük hacimli ve daha yoğun ekmeklerin oluşmasına neden olabilmektedir (Janssen vd., 2021b; Rieder vd., 2012).

Çavdar ekmeğinin, arpa, yulaf ve karabuğday ekmeklerinden daha yüksek; ancak buğday ve tam buğday ekmeklerinden daha düşük spesifik hacim değerine sahip olduğu

belirlenmiştir (1.63 cm³/g). Çavdar ununun yapısında bulunan pentozanlar su tutma kapasitesine katkı sağlamakla birlikte, çavdar gluteninin buğday gluteni kadar elastik olmaması ekmek hacminin sınırlı kalmasına neden olabilir.

Tam buğday ekmeğinde ise spesifik hacim değeri 1.81 cm³/g olarak bulunmuştur. Bu değer, buğday ekmeğinden düşük olmakla birlikte diğer alternatif tahıl ekmeklerine göre daha yüksektir. Tam buğday ununda kepek ve ruşeym fraksiyonlarının bulunması gluten ağının sürekliliğini kısmen zayıflatabilir. Bu durum ekmeğin hacim gelişimini azaltabilir. Ancak tam buğday ununun gluten içermesi, karabuğday, arpa ve yulaf ekmeklerine göre daha iyi hacim gelişimi sağlamıştır.

Piştirme kaybı değerleri %11.64–13.10 arasında değişmiştir. En yüksek piştirme kaybı %13.10 ile yulaf ekmeğinde belirlenmiştir. Yulaf ekmeğinde piştirme kaybının yüksek olması, yulafın lifli yapısı, su bağlama kapasitesi ve piştirme sırasında suyun uzaklaşma davranışı ile ilişkili olabilir. Piştirme sırasında hamur yapısında tutulan suyun buharlaşması, ekmek ağırlığında azalmaya yol açmakta ve piştirme kaybını artırmaktadır.

En düşük piştirme kaybı ise %11.64 ile çavdar ekmeğinde tespit edilmiştir. Çavdar ununun yüksek su tutma kapasitesine sahip bileşenler içermesi, piştirme sırasında nem kaybını sınırlandırmış olabilir. Bu durum, çavdar ekmeğinde daha düşük piştirme kaybı elde edilmesini açıklamaktadır. Arpa ve tam buğday ekmeklerinde piştirme kaybı değerleri aynı seviyede bulunmuş ve %11.90 olarak belirlenmiştir. Karabuğday ekmeğinde ise piştirme kaybı %12.29 olarak tespit edilmiştir. Bu değer, karabuğday ekmeğinin düşük spesifik hacmine rağmen piştirme sırasında orta düzeyde kütle kaybı gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Sertlik değerleri incelendiğinde, ekmek örnekleri arasında belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. Sertlik değerleri 6.85–24.60 N arasında değişmiştir. En düşük sertlik değeri 6.85 N ile buğday ekmeğinde belirlenmiştir. Buğday ekmeğinin düşük sertlik göstermesi, yüksek spesifik hacim ve daha gözenekli iç yapı ile ilişkilidir. Daha hacimli ve iyi kabarmış ekmeklerde iç yapı daha hafif ve yumuşak olmakta, bu durum sertlik değerinin düşmesine neden olmaktadır (Meral & Doğan, 2013).

En yüksek sertlik değeri ise 24.60 N ile karabuğday ekmeğinde belirlenmiştir. Karabuğday ekmeğinin düşük spesifik hacim göstermesi, iç yapının daha kompakt ve yoğun olduğunu göstermektedir. Kompakt yapı, ekmek için mekanik olarak daha dirençli olmasına ve sertlik değerinin artmasına neden olmuştur. Bu sonuç, spesifik hacim ile sertlik arasında ters yönlü bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Spesifik hacim azaldıkça ekmek yapısı daha sıkı hale gelmiş ve sertlik değeri yükselmiştir.

Arpa ve yulaf ekmeklerinde sertlik değerleri sırasıyla 18.40 N ve 17.85 N olarak belirlenmiştir. Bu iki örnekte spesifik hacim değerlerinin düşük olması, sertlik değerlerinin buğday ve tam buğday ekmeklerine göre daha yüksek çıkmasına neden olmuştur. Lif oranı yüksek tahıl unları hamur yapısında gaz hücrelerinin genişlemesini sınırlandırabilir ve bu durum daha yoğun bir ekmek iç yapısı oluşturabilir. Böylece arpa ve yulaf ekmeklerinde sertlik artışı meydana gelmiş olabilir.

Çavdar ekmeğinde sertlik değeri 14.75 N olarak bulunmuştur. Çavdar ekmeği, sertlik bakımından buğday ve tam buğday ekmeklerinden daha yüksek; arpa, yulaf ve karabuğday ekmeklerinden ise daha düşük bir değer göstermiştir. Bu durum, çavdarın su tutma kapasitesinin ekmek iç yapısını bir miktar yumuşatmasıyla açıklanabilir. Bununla birlikte çavdar gluteninin buğday gluteni kadar güçlü ve elastik olmaması, çavdar ekmeğinin buğday ekmeğine kıyasla daha sert olmasına neden olmuştur.

Tam buğday ekmeğinde sertlik değeri 12.90 N olarak belirlenmiştir. Tam buğday ekmeğinin sertlik değeri buğday ekmeğinden yüksek, diğer alternatif tahıl ekmeklerinden ise daha düşük bulunmuştur. Tam buğday ununda bulunan kepek parçacıkları gluten ağını kesintiye uğratarak ekmek hacmini azaltabilmekte ve sertliği artırabilmektedir. Ancak tam buğday ununun gluten içermesi, karabuğday ve yulaf gibi tahıllara göre daha dengeli bir tekstürel yapı oluşmasına katkı sağlamıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, buğday ekmeği yüksek spesifik hacim ve düşük sertlik değeriyle en yumuşak ve en hacimli yapıdaki ekmek olmuştur. Karabuğday ekmeği ise düşük spesifik hacim ve yüksek sertlik değeriyle en kompakt yapıdaki ekmek olarak öne çıkmıştır. Yulaf ekmeği, en yüksek pişirme kaybı değeriyle dikkat çekmiştir. Çavdar ekmeği ise en düşük pişirme kaybına sahip örnek olmuştur. Bu bulgular, tahıl çeşidinin ekmeklerin fiziksel ve tekstürel kalite özellikleri üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada arpa, buğday, çavdar, karabuğday, tam buğday ve yulaf unlarından üretilen ekmeklerin spesifik hacim, pişirme kaybı ve sertlik özellikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, kullanılan tahıl çeşidinin ekmek kalitesi üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu göstermiştir.

En yüksek spesifik hacim buğday ekmeğinde belirlenmiş, bu durum buğday gluteninin gaz tutma kapasitesi ve hamur genişmesi üzerindeki olumlu etkisiyle ilişkilendirilmiştir. En düşük spesifik hacim ise karabuğday ekmeğinde tespit edilmiştir. Karabuğday ekmeğinde

düşük spesifik hacimle birlikte en yüksek sertlik değerinin elde edilmesi, gluten içermeyen tahıllardan üretilen ekmeklerde daha kompakt ve sert bir yapı oluşabileceğini göstermektedir.

Pişirme kaybı açısından en yüksek değer yulaf ekmeğinde, en düşük değer ise çavdar ekmeğinde belirlenmiştir. Bu durum, tahıl bileşiminin ve su tutma özelliklerinin pişirme sırasında meydana gelen kütle kaybı üzerinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Sertlik sonuçları genel olarak spesifik hacim değerleriyle ters yönde ilişki göstermiştir. Spesifik hacmi yüksek olan buğday ekmeği daha yumuşak, spesifik hacmi düşük olan karabuğday ekmeği ise daha sert bulunmuştur.

Sonuç olarak, alternatif tahıl unlarının ekmek üretiminde kullanımı ürün çeşitliliği ve besinsel değer açısından önemli olmakla birlikte, bu tahılların ekmek hacmi ve tekstürü üzerinde bazı sınırlayıcı etkiler oluşturabileceği görülmüştür. Bu nedenle arpa, yulaf, karabuğday ve çavdar gibi tahılların kullanıldığı ekmek formülasyonlarında hacim ve tekstür özelliklerini iyileştirmeye yönelik formülasyon düzenlemeleri yapılması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, “**Farklı Ekmek Çeşitlerinin Anti-Diyabet Etkileri ile Antioksidan Biyoerişebilirliklerinin Belirlenmesi**” başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Tez çalışması, M. Ahsen GÖRENTAŞ TERİM tarafından hazırlanmış olup danışmanlığı Prof. Dr. Raciye MERAL tarafından yürütülmüştür. Yazarlar, çalışmayı FYL-2023-10775 proje numarası ile destekleyen Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı’na teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Angioloni, A., & Collar, C. (2011). Nutritional and functional added value of oat, Kamut®, spelt, rye and buckwheat versus common wheat in breadmaking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(7), 1283-1292.
<https://doi.org/10.1002/JSFA.4314>;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Cappelli, A., Oliva, N., & Cini, E. (2020). A Systematic Review of Gluten-Free Dough and Bread: Dough Rheology, Bread Characteristics, and Improvement Strategies. *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, 10(18). <https://doi.org/10.3390/APP10186559>
- Capriles, V. D., & Arêas, J. A. G. (2014). Novel approaches in gluten-free breadmaking: Interface between food science, nutrition, and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(5), 871-890. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12091>;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER

- De Bondt, Y., Hermans, W., Moldenaers, P., & Courtin, C. M. (2021). Selective modification of wheat bran affects its impact on gluten-starch dough rheology, microstructure and bread volume. *Food Hydrocolloids*, 113, 106348.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2020.106348>
- Dong, Y. N., & Karboune, S. (2021). A review of bread qualities and current strategies for bread bioprotection: Flavor, sensory, rheological, and textural attributes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 1937-1981. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12717>
- Gan, Z., Ellis, P. R., & Schofield, J. D. (1995). Gas Cell Stabilisation and Gas Retention in Wheat Bread Dough. *Journal of Cereal Science*, 21(3), 215-230.
<https://doi.org/10.1006/JCRS.1995.0025>
- Heenan, S. P., Dufour, J. P., Hamid, N., Harvey, W., & Delahunty, C. M. (2008). The sensory quality of fresh bread: Descriptive attributes and consumer perceptions. *Food Research International*, 41(10), 989-997. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2008.08.002>
- Hu, X., Cheng, L., Hong, Y., Li, Z., Li, C., & Gu, Z. (2023). An extensive review: How starch and gluten impact dough machinability and resultant bread qualities. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(13), 1930-1941. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1969535>
- Janssen, F., Wouters, A. G. B., & Delcour, J. A. (2021a). Gas cell stabilization by aqueous-phase constituents during bread production from wheat and rye dough and oat batter: Dough or batter liquor as model system. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 3881-3917. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12761>;JOURNAL:JOURNAL:15414337;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Janssen, F., Wouters, A. G. B., & Delcour, J. A. (2021b). Gas cell stabilization by aqueous-phase constituents during bread production from wheat and rye dough and oat batter: Dough or batter liquor as model system. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 3881-3917. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12761>;JOURNAL:JOURNAL:15414337;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Mariotti, M., Pagani, M. A., & Lucisano, M. (2013). The role of buckwheat and HPMC on the breadmaking properties of some commercial gluten-free bread mixtures. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 393-400. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2012.07.005>
- Meral, R., & Doğan, I. S. (2013). Grape seed as a functional food ingredient in bread-making. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64(3), 372-379.
<https://doi.org/10.3109/09637486.2012.738650>
- Monteiro, J. S., Farage, P., Zandonadi, R. P., Botelho, R. B. A., de Oliveira, L. de L., Raposo, A., Shakeel, F., Alshehri, S., Mahdi, W. A., & Araújo, W. M. C. (2021). A Systematic Review on Gluten-Free Bread Formulations Using Specific Volume as a Quality Indicator. *Foods* 2021, Vol. 10, 10(3). <https://doi.org/10.3390/FOODS10030614>
- Rieder, A., Holtekjølén, A. K., Sahlstrøm, S., & Moldestad, A. (2012). Effect of barley and oat flour types and sourdoughs on dough rheology and bread quality of composite wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 55(1), 44-52. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2011.10.003>

- Schopf, M., & Scherf, K. A. (2021). Water Absorption Capacity Determines the Functionality of Vital Gluten Related to Specific Bread Volume. *Foods 2021*, Vol. 10, 10(2).
<https://doi.org/10.3390/FOODS10020228>
- Šmídová, Z., & Rysová, J. (2022). Gluten-Free Bread and Bakery Products Technology. *Foods 2022*, Vol. 11, 11(3). <https://doi.org/10.3390/FOODS11030480>
- Sofi, S. A., Ahmed, N., Farooq, A., Rafiq, S., Zargar, S. M., Kamran, F., Dar, T. A., Mir, S. A., Dar, B. N., & Mousavi Khaneghah, A. (2023). Nutritional and bioactive characteristics of buckwheat, and its potential for developing gluten-free products: An updated overview. *Food Science and Nutrition*, 11(5), 2256-2276.
<https://doi.org/10.1002/FSN3.3166>;WEBSITE:WEBSITE:PERICLES;WGROU:STRING:PUBLICAION
- Sun, X., Wu, S., Koksel, F., Xie, M., & Fang, Y. (2023). Effects of ingredient and processing conditions on the rheological properties of whole wheat flour dough during breadmaking - A review. *Food Hydrocolloids*, 135, 108123. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2022.108123>
- Verheyen, C., Albrecht, A., Elgeti, D., Jekle, M., & Becker, T. (2015). Impact of gas formation kinetics on dough development and bread quality. *Food Research International*, 76, 860-866.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2015.08.013>

PNÖMATİK SÜSPANSİYONLU ROBOT SÜPÜRGE İÇİN DİNAMİK MODELLEME VE SİMÜLASYON ANALİZİ

PROF.DR ŞAHİN YILDIRIM

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü,
sahiny@erciyes.edu.tr- ORCID ID:0000-0002-7149-3274

Mekatronik Mühendisi, AYŞEGÜL ŞENGÜN

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü,
aysegulsengunn@gmail.com-ORCID ID: 0009-0007-3049-5648

ÖZET

Günümüzde akıllı ev teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte robot süpürgelerin kullanım alanı giderek artmaktadır. Ancak klasik robot süpürgeler, zemin düzensizlikleri ve engel geçişlerinde titreşim ve hareket kararsızlığı gibi problemler yaşamaktadır. Bu çalışmada, tasarlanıp yapılan, model bir robot süpürge de kullanılan pnömatik süspansiyon sisteminin titreşim kontrolü simülasyon çalışması ile incelenmiştir. Tasarlanan sistem, yay-kütle-sönümleyici modeli esas alınarak matematiksel olarak modellenmiş simülasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Klasik PID denetim organı kullanılarak farklı yol pürüzlülüklerinde ve uygun kontrol kazanç parametreleri belirlenerek optimum kontrol sağlanmıştır. Çalışma sonuçlarından da görüleceği gibi aktif süspansiyona sahip robot süpürge her zemin konumunda en iyi performansı vermiştir. Bununla birlikte, pnömatik süspansiyon sisteminin etkisi titreşimleri azaltarak robot süpürge'nin hareket kabiliyetini en iyi düzeye getirilebileceği belirlenmiştir.. Ayrıca sistemin engel olması durumunda geçişlerinde daha kararlı hareket kabiliyeti olabileceği de ispatlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Robot süpürge, Pnömatik süspansiyon, PID denetleyici, Dinamik Modelleme

1 GİRİŞ

Robot süpürgeler, akıllı ev teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte son yıllarda yaygın olarak kullanılan otonom mobil robot sistemleri hâline gelmiştir. Günümüzde bu sistemler yalnızca temizlik yapan cihazlar olmaktan çıkmış; LiDAR, kamera, ultrasonik sensörler, yapay zekâ destekli karar mekanizmaları ve eş zamanlı konumlandırma ve haritalama (SLAM) algoritmaları sayesinde çevresini algılayabilen, rota planlayabilen ve farklı çalışma koşullarına uyum sağlayabilen gelişmiş robotik platformlar hâline gelmiştir [1–4].

Çalışmalar incelendiğinde, araştırmaların büyük bölümünün haritalama, navigasyon, kapsama alanı planlama ve otonom hareket kontrolü üzerine yoğunlaştığı görülmektedir [1–6]. LiDAR tabanlı haritalama sistemleri ve SLAM algoritmalarının kullanılması sayesinde robot süpürgelerin konumlandırma doğruluğu artırılmış, temizlik süresi azaltılmış ve enerji verimliliği iyileştirilmiştir [1], [2]. Ayrıca ROS tabanlı mimariler kullanılarak geliştirilen yeni nesil robot süpürgelerde gerçek zamanlı çevre algılama ve engelden kaçınma performansının önemli ölçüde geliştirildiği rapor edilmiştir [3], [4].

Robot süpürge teknolojisinin yıllar içerisindeki gelişimi Çizelge 1’de özetlenmiştir. İlk nesil sistemler rastgele hareket eden ve sınırlı algılama kabiliyetine sahip cihazlardan oluşurken, günümüzde yapay zekâ destekli, çoklu sensör kullanan ve haritalama yapabilen sistemler kullanılmaktadır. Özellikle 2020 sonrası dönemde LiDAR ve gelişmiş navigasyon algoritmalarının yaygınlaşması robot süpürgelerin performansında önemli gelişmeler sağlamıştır.

Çizelge 1. Robot Süpürgelerin Gelişim Evreleri

Dönem	Özellikler	Teknolojik Seviye
1996–2002	İlk nesil rastgele hareket eden robot süpürgeler	Düşük
2002–2010	Sensör destekli sistemler	Orta
2010–2020	Haritalama ve Wi-Fi kontrol	Yüksek
2020–Günümüz	Yapay zeka, LiDAR, çoklu sensör	Çok yüksek

Robot süpürgelerin performansını belirleyen temel faktörlerden biri de mekanik yapılarıdır. Her ne kadar navigasyon sistemleri gelişmiş olsa da, robotun farklı yüzey koşullarındaki hareket kararlılığı doğrudan mekanik tasarıma bağlıdır. Robot süpürgeler çalışma sırasında

halı, parke, seramik, eşik ve kablo gibi farklı yüzeylerle karşılaşmaktadır. Bu durum titreşim oluşumuna, çekiş kaybına ve hareket doğruluğunun azalmasına neden olabilmektedir.

Bu problemlerin azaltılması amacıyla mobil robotlarda aktif ve pasif süspansiyon sistemleri üzerine çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir [7–12]. Tekerlek-bacak hibrit robotlar üzerinde yapılan araştırmalar, süspansiyon sistemlerinin arazi uyumu ve hareket kararlılığı üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir [7]. Aktif süspansiyon kontrolü kullanılan mobil robotlarda gövde salınımlarının azaltıldığı ve tekerlek yük dağılımının iyileştirildiği belirlenmiştir [8]. Adaptif süspansiyon sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda ise düzensiz yüzeylerde robot gövdesinin daha dengeli tutulabildiği rapor edilmiştir [9]. Benzer şekilde aktif ve pasif süspansiyon sistemlerinin mobil robotlarda titreşimleri azaltarak hareket performansını iyileştirdiği belirtilmiştir [10–12].

Pnömatik süspansiyon sistemleri, titreşim sönümleme performansı ve yüzey uyumu sağlamaları nedeniyle son yıllarda dikkat çeken araştırma konuları arasında yer almaktadır [13–15]. Hava yaylarının sıkıştırılabilir yapısı sayesinde darbe yükleri azaltılabilmekte ve sistem farklı yüzey koşullarına daha kolay uyum sağlayabilmektedir. Pnömatik süspansiyon sistemlerinin robotik uygulamalarda sağlayabileceği temel avantajlar Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Pnömatik Süspansiyon Sisteminin Sağladığı Avantajlar

Avantaj	Açıklama
Titreşim azaltma	Darbe ve sarsıntıları azaltır
Hareket kararlılığı	Robotun dengeli ilerlemesini sağlar
Zemin uyumu	Farklı yüzeylerde adaptasyonu artırır
Mekanik koruma	Bileşen zorlanmalarını azaltır
Yüzey teması	Tekerlek-zemin temasını iyileştirir

Çizelge 2 incelendiğinde pnömatik süspansiyon sistemlerinin yalnızca titreşim azaltma amacıyla değil, aynı zamanda robotun hareket kararlılığını artırma ve mekanik bileşenlerin ömrünü uzatma açısından da önemli katkılar sağlayabileceği görülmektedir. Hava yayları üzerine gerçekleştirilen güncel çalışmalarda, sistem basıncı, hava hacmi ve valf parametrelerinin süspansiyon performansı üzerinde doğrudan etkili olduğu belirtilmiştir [13],

[14]. Ayrıca PID tabanlı kontrol yöntemlerinin pnömatik sistemlerin dinamik performansını iyileştirdiği rapor edilmiştir [15].

Robot süpürgelerde karşılaşılan temel zemin problemleri Çizelge 3’te verilmiştir. Bu problemler robotun hareket kararlılığı, enerji tüketimi ve temizlik performansı üzerinde doğrudan etkili olmaktadır.

Çizelge 3. Robot Süpürgelerde Karşılaşılan Zemin Problemleri

Problem	Sonuç
Eşik	Takılma
Halı	Çekiş kaybı
Kablo	Sarılma
Kaygan zemin	Patinaj
Bozuk yüzey	Titreşim

Çizelge 3 incelendiğinde robot süpürgelerde karşılaşılan problemlerin büyük bölümünün tekerlek-zemin etkileşiminden kaynaklandığı görülmektedir. Özellikle bozuk yüzeylerde oluşan titreşimler, robotun sensör performansını ve hareket doğruluğunu olumsuz etkileyebilmektedir. Benzer şekilde eşik geçişlerinde oluşan ani darbe yükleri hem mekanik bileşenlerde zorlanmalara neden olmakta hem de robotun hareket kararlılığını azaltmaktadır. Bu nedenle süspansiyon sistemleri robot süpürgeler için önemli bir araştırma konusu hâline gelmiştir [7–12].

Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalarda yalnızca aktif ve pasif süspansiyon sistemleri değil, aynı zamanda tekerlek-bacıklı mobil robotlar için geliştirilen yeni nesil süspansiyon mekanizmaları da incelenmiştir. Süspansiyon geometrisinin robotun yük dağılımı, hareket kararlılığı ve engel aşma performansı üzerinde önemli etkileri olduğu belirtilmiştir [16]. Ayrıca ticari temizlik robotları üzerine gerçekleştirilen güncel araştırmalarda kullanıcı beklentilerinin düşük titreşim, yüksek hareket kararlılığı ve farklı yüzey koşullarına uyum sağlama özellikleri etrafında şekillendiği belirtilmiştir [17].

Süspansiyon sistemleri üzerine gerçekleştirilen çalışmalar ise daha çok mobil robotlar, tekerlek-bacak hibrit robotlar ve arazi robotları üzerinde yürütülmüştür [7–16]. Buna karşın pnömatik süspansiyon sistemlerinin robot süpürgelere uygulanması, matematiksel

modellenmesi ve matlab ortamında dinamik analizinin gerçekleştirilmesine yönelik çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir [17].

Bu çalışmada, Çizelge 2’de verilen pnömatik süspansiyon avantajları ile Çizelge 3’te belirtilen zemin problemleri birlikte değerlendirilerek pnömatik süspansiyonlu bir robot süpürge sistemi modellenmiştir. Sistem matlab ortamında yay-kütle-sönümleyici yaklaşımı kullanılarak oluşturulmuş ve PID kontrol yöntemi ile analiz edilmiştir. Farklı yüzey düzensizliklerini temsil eden sinüs, kare ve testere dişi giriş sinyalleri altında sistem davranışı incelenmiş, titreşim sönümleme performansı ve hareket kararlılığı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların robot süpürgelerde pnömatik süspansiyon kullanımının uygulanabilirliğini ortaya koyması amaçlanmaktadır.

2. Robotik Süpürge Tasarımı ve Analizi

Bu çalışmada, robot süpürgelerde kullanılmak üzere tasarlanan pnömatik süspansiyon sisteminin dinamik davranışı modellenmiş ve analiz edilmiştir.

Pnömatik süspansiyon sistemi, tek serbestlik dereceli yay-kütle-sönümleyici sistem olarak modellenmiştir. Mekanik sistemin hareket denklemi Newton’un hareket yasasına göre aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t)$$

Burada m sistem kütleini, c sönüm katsayısını ve $F(t)$ dış kuvveti temsil etmektedir. Simülasyonda toplam robot kütlesi 3 kg, etkili tekerlek kütlesi 1.5 kg ve sönüm katsayısı 1830 N/m olarak alınmıştır.

Sistemin matematiksel modeli transfer fonksiyonuna dönüştürülerek Simulink ortamına aktarılmıştır.

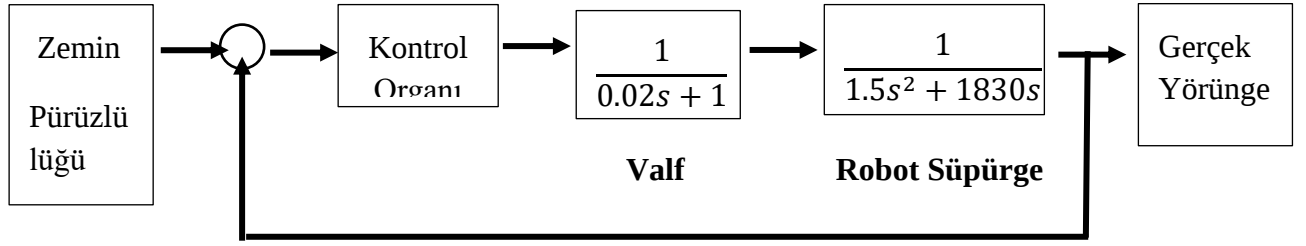
$$G(s) = \frac{1}{1.5s^2 + 1830s}$$

Valf sistemi ise birinci dereceden sistem olarak modellenmiştir.

$$G(s) = \frac{1}{0.02s + 1}$$

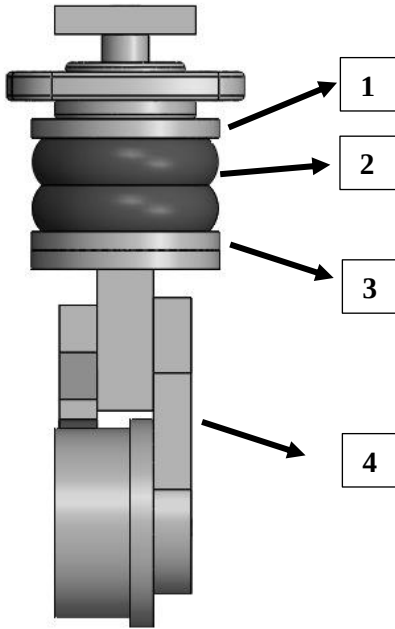
Sistem performansını artırmak amacıyla PID kontrolcü kullanılmıştır. PID kontrol kazanç parametreleri sistem cevabına göre ayarlanmış ve titreşim azaltma performansı incelenmiştir . Analizlerde farklı giriş sinyalleri uygulanarak farklı yüzey koşulları temsil edilmiştir. Sistem performansı; salınım miktarı, kararlı duruma ulaşma süresi ve titreşim sönümleme başarısına

göre değerlendirilmiştir. Görsel 1’de pnömatik süspansiyonlu robot süpürge’nin simulink diagramı belirtilmiştir.



Görsel 1. PID Kontrollü Pnömatik Süspansiyon Sisteminin Simulink Diagram

Görsel 2’de pnömatik süspansiyonlu robot süpürge’nin körük sistem tasarımı belirtilmiştir.



Çizelge 4. Amortisör Sisteminde Kullanılan Elemanlar

1	Üst Flanş
2	Körük Sistemi
3	Alt Flanş
4	Tekerlek

Görsel 2. Körük Sistemi Tasarımı ve Temel Bileşenleri

3. Simülasyon Sonuçları

Bu simülasyon destekli çalışmada amaç, pnömatik süspansiyon sistemine sahip bir robot süpürge’nin dinamik davranışı sayısal ortamda incelenmiş ve sistem performansının optimize edilmesi şeklindedir. Bu kapsamda, ilk olarak robot süpürge’nin matematiksel modeli oluşturulmuş ve farklı zemin ve bozucu etken çalışma koşulları altında sistem davranışı analiz edilmiştir. Çalışmada; yüzey düzensizlikleri, engel geçişleri ve titreşim etkileri dikkate alınarak pnömatik süspansiyon sisteminin bu etkilere karşı gösterdiği dinamik tepki değerlendirilmiştir.

Sistem, tek serbestlik dereceli kütle-yay-sönümleyici modeli temel alınarak modellenmiştir. Robot süpürge’nin toplam kütlesi 3 kg olarak belirlenmiş ve süspansiyon sistemi parametreleri

gerçek çalışma koşullarına uygun şekilde seçilmiştir. Ayrıca tekerleklerle birlikte tasarlanan pnömatik körüğün iç hacmi ve sönüm özellikleri hesaplanarak sistemin matematiksel modeli transfer fonksiyonuna dönüştürülmüştür.

Pnömatik körüğün sönüm katsayısı aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$k_{air} = A^2 \times \frac{n.P}{V}$$

Körük hacmi aşağıdaki denklem ile ifade edilmiştir:

$$V = A \times h$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

Modelde kullanılan parametreler aşağıdaki gibidir:

Körük yüksekliği: $h=0.0015\text{m}$

Körük çapı: $d=0.005\text{m}$

Hava basıncı: $P=100000\text{Pa}$

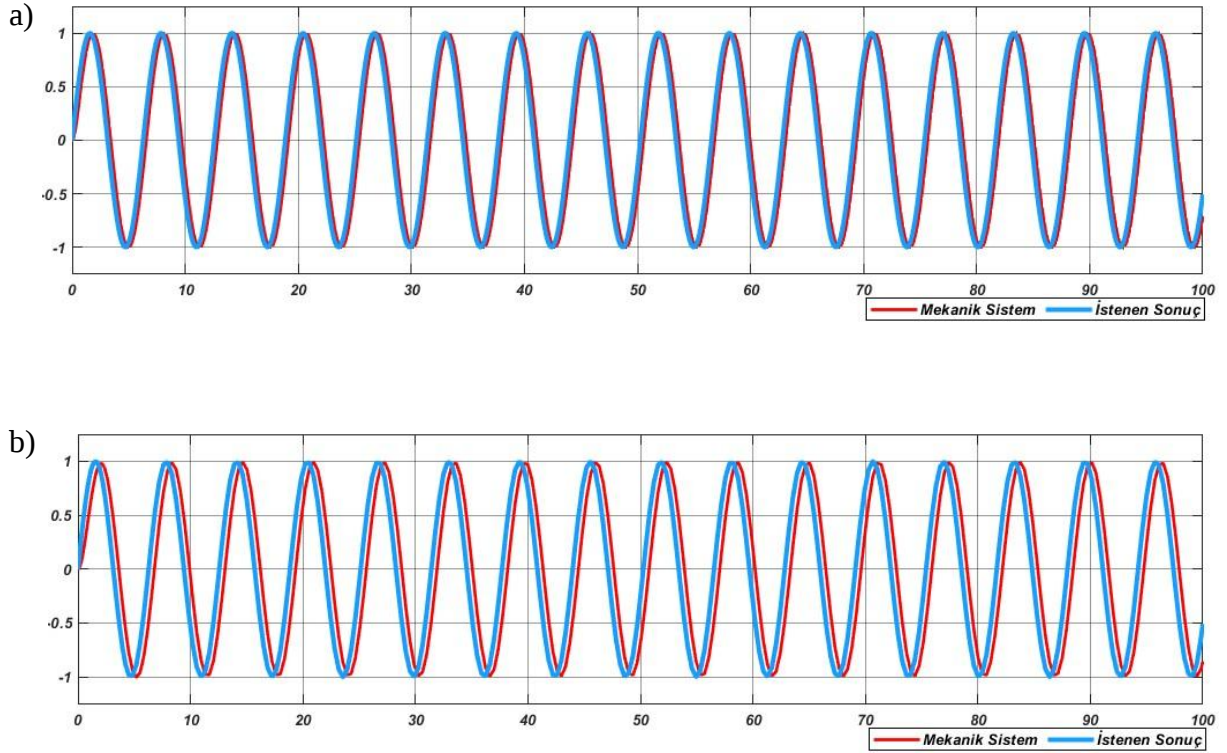
Polytropic katsayı: $n=1.4$

Elde edilen matematiksel model MATLAB ortamına aktarılmış ve sistemin dinamik davranışı farklı giriş sinyalleri altında incelenmiştir. Simülasyon sonuçları doğrultusunda pnömatik süspansiyon sisteminin titreşim azaltma, hareket kararlılığı ve yüzey uyumu açısından robot süpürge performansına olumlu katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca fiziksel prototip üretiminden önce sistem davranışının öngörülmesi sayesinde zaman ve maliyet açısından avantaj elde edilmesi hedeflenmiştir. Çizelge 5'te grafikler için PID kazanç parametreleri belirtilmiştir.

Pnömatik süspansiyonlu robot süpürge analiz sonuçları;

Çizelge 5. PID Kazanç Parametreleri

Grafikler		K_p	K_i	K_d
Görsel 3.	a)	7000	800	5
	b)	3500	800	5
Görsel 4.	a)	6000	100	5
	b)	6000	500	5
Görsel 5.	a)	11000	500	5
	b)	6000	200	5



Görsel 3. Kontrol Sistemin Farklı Yol Pürüzlülüğüne Göre Davranışı

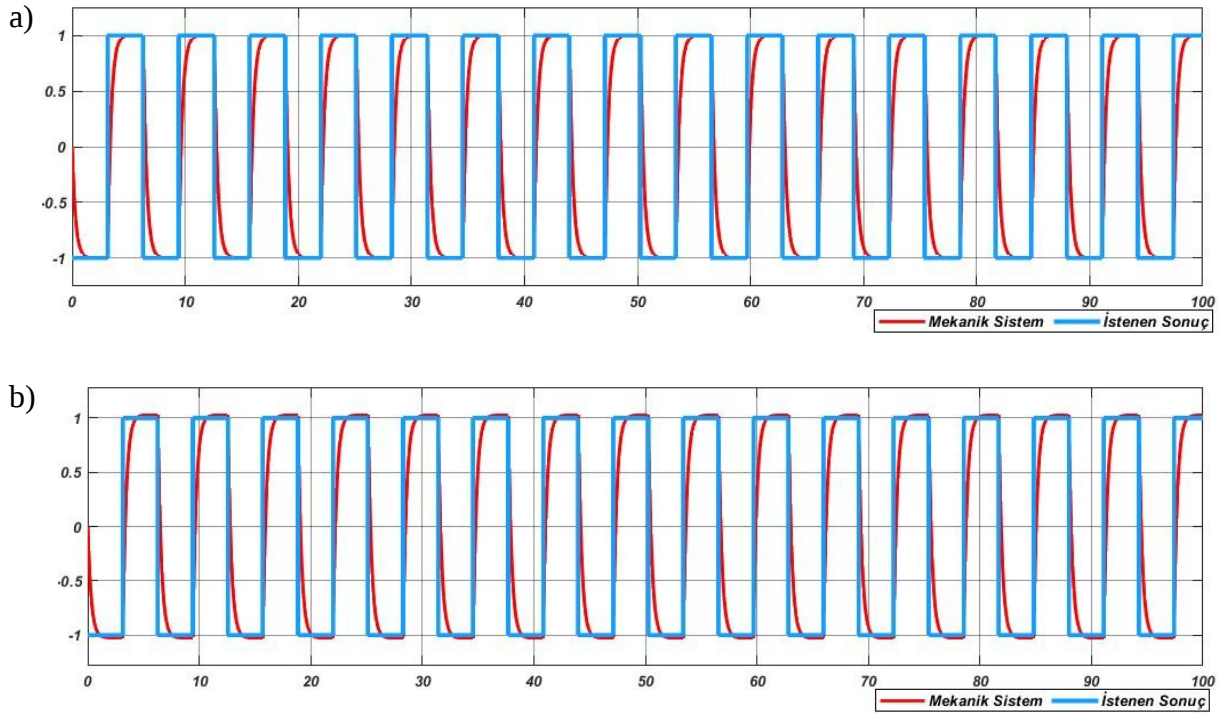
(a) Optimum kazanç parametre

(b) Optimum olmayan kazanç parametre

a) grafiğinin sistem çıkışının giriş sinyalini oldukça başarılı şekilde takip ettiği görülmektedir. Çıkış sinyalinin genliği giriş sinyaline oldukça yakın olup faz farkı minimum seviyededir. Bu durum, sistemin düşük frekanslı veya uygun çalışma koşulları altında kararlı bir davranış sergilediğini göstermektedir. Ayrıca sinyal formunda belirgin bir bozulma meydana gelmemesi, pnömatis süspansiyon sisteminin titreşimleri etkin şekilde sönümlendiğini ve giriş hareketini kontrollü biçimde takip ettiğini ortaya koymaktadır. Sistem cevabındaki küçük gecikmeler fiziksel sistemlerde doğal olarak oluşan atalet ve sönüm etkilerinden kaynaklanmaktadır.

b) grafiğinde ise sistem çıkışının giriş sinyaline göre daha belirgin bir faz gecikmesi gösterdiği görülmektedir. Özellikle sinyal tepe noktalarında istenilen sonuç pnömatis sistemini geriden takip ettiği dikkat çekmektedir. Bunun yanında çıkış genliğinde de küçük farklılıklar oluşmuştur. Bu durum, sistem frekansının artması veya sistem parametrelerinin değişmesi sonucunda süspansiyon sisteminin dinamik kapasitesinin zorlandığını göstermektedir. Sistemin giriş sinyaline tam olarak uyum sağlayamaması, yüksek frekanslı titreşimlerde enerji sönümleme performansının azaldığını ifade etmektedir.

Her iki grafik birlikte değerlendirildiğinde, pnömatik süspansiyon sisteminin düşük frekanslı titreşimlerde daha başarılı performans gösterdiği, ancak frekans arttıkça faz kaymasının ve takip hatasının arttığı sonucuna ulaşılmaktadır. Bu durum mekanik sistemlerin doğal dinamik özellikleri ile uyumludur. Özellikle yüksek frekans bölgelerinde sistemin düşük geçiren filtre (low-pass filter) karakteristiği sergilediği görülmektedir. Böylece sistem yüksek frekanslı titreşimleri bastırırken giriş sinyalini tam doğrulukla takip edememektedir.



Görsel 4. Pnömatik Süspansiyon Sisteminin Ani Değişimlere Karşı Dinamik Davranışını,

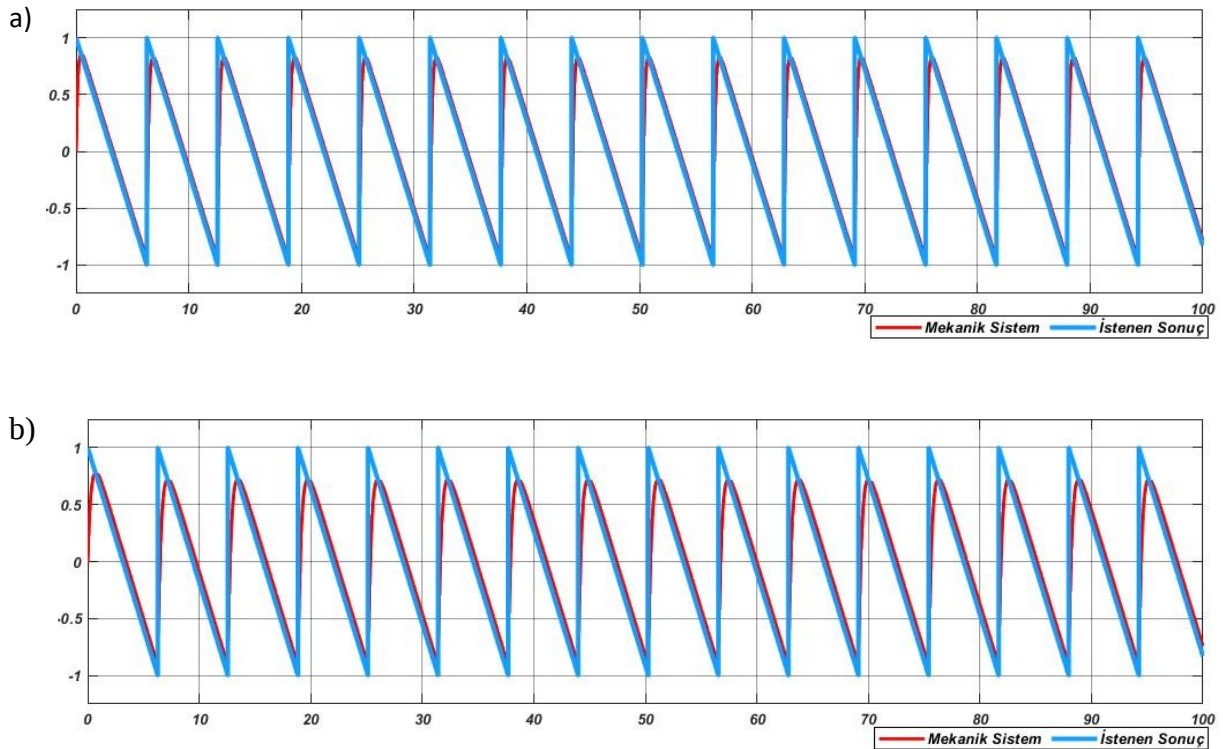
(a) Optimum kazanç parametre

(b) Optimum olmayan kazanç parametre

a) grafiğine sistemin çıkışı, girişini belirli bir gecikme ile takip ettiği gözlemlenmektedir. Özellikle sinyalin ani geçiş yaptığı bölgelerde çıkış sinyalinin daha yumuşak bir geçiş sergilediği dikkat çekmektedir. Bu durum, sistemin ani değişimlere karşı doğrudan tepki vermek yerine sönümlleme etkisi oluşturduğunu göstermektedir. Pnömatik süspansiyonun mekanik sisteminin çıkışta yuvarlaklaşması, pnömatik süspansiyon sisteminin yüksek frekanslı bileşenleri bastırdığını ve sistemin düşük geçiren filtre karakteristiği sergilediğini ortaya koymaktadır. Ayrıca çıkış sinyalinin kararlı bir yapıda olması, sistemin ani darbeleri kontrol altında tutabildiğini göstermektedir.

b) grafiğinde ise sistem çıkışının giriş sinyalini daha yakından takip ettiği görülmektedir. Çıkış sinyalindeki gecikmenin azaldığı ve geçiş bölgelerinde daha hızlı tepki olduğu dikkat çekmektedir. Bununla birlikte bazı bölgelerde küçük genlik aşımı (overshoot) meydana geldiği görülmektedir. Bu durum sistemin daha hızlı cevap verdiğini ancak sönümleme etkisinin bir miktar azaldığını göstermektedir. Özellikle tepe noktalarında oluşan küçük taşmalar, sistemin dinamik cevabının hızlandığını fakat kontrol hassasiyetinin değiştiğini ifade etmektedir.

Her iki grafik birlikte değerlendirildiğinde, ilk durumda sistemin daha yumuşak ve daha sönümlü bir davranış sergilediği, ikinci durumda ise daha hızlı ancak nispeten daha agresif bir dinamik cevap oluşturduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, pnömatik süspansiyon sisteminin parametre değişimlerine bağlı olarak farklı dinamik karakteristikler gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Robot süpürge uygulamalarında ilk yapı titreşim azaltma açısından avantaj sağlarken, ikinci yapı engel geçişlerine daha hızlı tepki verme açısından avantaj sağlayabilmektedir.



Görsel 5. Pnömatik Süspansiyon Sisteminin Farklı Çalışma Koşullarındaki Dinamik Cevaplarının Karşılaştırılması ,

(a) Optimum kazanç parametre

(b) Optimum olmayan kazanç parametre

a) grafiğine göre sistem çıkışının giriş sinyalini yüksek doğrulukla takip ettiği görülmektedir. Çıkış sinyalinde düşük seviyede faz farkı oluşmuş ve genlik değerleri büyük ölçüde korunmuştur. Bu durum, sistemin dinamik olarak kararlı bir davranış sergilediğini ve değişken giriş koşullarına etkin şekilde uyum sağlayabildiğini göstermektedir. Ayrıca sistem cevabının düzgün ve kararlı yapıda olması, titreşim sönümleme performansının yeterli seviyede olduğunu ortaya koymaktadır.

b) grafiğinde ise sistem çıkışının giriş sinyaline göre daha belirgin faz gecikmesi ve genlik azalması gösterdiği gözlemlenmiştir. Özellikle geçiş bölgelerinde çıkış sinyalinin girişe tam olarak uyum sağlayamadığı dikkat çekmektedir. Bu durum, sistemin artan dinamik yükler altında giriş değişimlerini takip etme performansının azaldığını göstermektedir. Ayrıca sistemin yüksek frekanslı bileşenleri baskıladığı ve filtreleme karakteristiği sergilediği anlaşılmaktadır.

Her iki grafik birlikte değerlendirildiğinde, sistemin düşük dinamik zorlanma altında giriş sinyalini daha başarılı şekilde takip ettiği görülmektedir. Ancak çalışma koşullarının zorlaşmasıyla birlikte çıkış sinyalinde faz kayması ve genlik farklılıkları meydana gelmiştir. Elde edilen sonuçlar, sistem parametrelerinin dinamik performans üzerinde doğrudan etkili olduğunu ve süspansiyon yapısının titreşim azaltma ile hareket kararlılığı açısından önemli katkı sağladığını göstermektedir. Çizelge 6’de belirtildiği gibi sistem davranışlarının grafiklere göre karşılaştırılması detaylandırılmıştır.

Çizelge 6.Sistemsal Karşılaştırma Tablosu

Grafikler		Sistem Davranışı	Faz Farkı	Genlik Durumu	Dinamik Performans	Genel Yorum
Görsel 3	a)	Giriş sinyalini başarılı şekilde takip etmiştir	Düşük	Korunmuştur	Kararlı ve dengeli	Sistem düşük frekanslı titreşimlerde başarılı performans göstermiştir
	b)	Çıkış sinyalinde gecikme oluşmuştur	Orta seviyede	Kısmen azalmıştır	Takip performansı düşmüştür	Yüksek frekans etkisiyle filtreleme davranışı oluşmuştur

Görsel 4	a)	Geçişler yumuşatılmıştır	Düşük	Kararlı	Yüksek sönümleme	Ani değişimler kontrollü şekilde bastırılmıştır
	b)	Daha hızlı tepki oluşmuştur	Düşük-Orta	Küçük aşım oluşmuştur	Hızlı fakat daha agresif cevap	Sistem tepki hızı artmış ancak küçük overshoot gözlenmiştir
Görsel 5	a)	Giriş sinyali başarılı şekilde takip edilmiştir	Düşük	Korunmuştur	Stabil çalışma	Sistem değişken giriş koşullarına uyum sağlamıştır
	b)	Çıkış sinyalinde gecikme oluşmuştur	Belirgin	Azalma gözlenmiştir	Dinamik performans azalmıştır	Yüksek dinamik yük altında filtreleme etkisi artmıştır

Pnömatik süspansiyon sisteminin düşük frekanslı ve düşük dinamik zorlanma koşullarında giriş sinyalini yüksek doğrulukla takip ettiği görülmektedir. Çalışma koşullarının ağırlaşmasıyla birlikte sistem çıkışında faz gecikmesi, genlik azalması ve takip performansında düşüş meydana gelmiştir. Özellikle ani değişimlerin bulunduğu durumlarda sistemin titreşimleri sönümleyerek daha kararlı bir davranış sergilediği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, pnömatik süspansiyon sisteminin robot süpürgelerde titreşim azaltma ve hareket kararlılığı açısından etkili bir yapı sunduğunu göstermektedir

4. Tartışma Ve Sonuç

Bu çalışmada, pnömatik süspansiyon sistemine sahip bir robot süpürge'nin dinamik davranışı MATLAB ortamında modellenmiş ve farklı çalışma koşulları altında performansı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, pnömatik süspansiyon sisteminin robot süpürge'nin titreşim seviyelerini azaltmada ve hareket kararlılığını artırmada etkili olduğunu göstermiştir.

Analizler sonucunda sistemin düşük ve orta seviyedeki dinamik zorlanmalarda giriş hareketlerini yüksek doğrulukla takip ettiği, kararlı bir davranış sergilediği ve titreşimleri etkin şekilde sönümlediği belirlenmiştir. Ani değişimlerin bulunduğu çalışma koşullarında sistemin darbe etkilerini azaltarak daha kontrollü bir tepki oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, dinamik yüklerin ve değişim hızının arttığı durumlarda sistem çıkışında faz gecikmesi ve genlik kaybı meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum, sistemin yüksek frekanslı etkileri bastıran doğal bir filtreleme karakteristiğine sahip olduğunu göstermektedir.

Literatür incelendiğinde robot süpürgeler üzerine yapılan çalışmaların büyük ölçüde haritalama, navigasyon, rota planlama ve sensör tabanlı kontrol sistemlerine odaklandığı görülmektedir. Süspansiyon sistemleri üzerine gerçekleştirilen çalışmalar ise çoğunlukla arazi robotları, mobil robotlar ve tekerlek-bacıklı robot platformları üzerinde yoğunlaşmıştır. Buna karşın, pnömatik süspansiyon sistemlerinin robot süpürgelere uygulanması, matematiksel olarak modellenmesi ve dinamik performanslarının simülasyon ortamında değerlendirilmesine yönelik çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışma, söz konusu boşluğun giderilmesine katkı sağlayarak robot süpürgelerde pnömatik süspansiyon kullanımının dinamik etkilerini ortaya koymuştur.

PID kontrol parametrelerinin sistem performansı üzerinde önemli etkileri olduğu belirlenmiş, uygun kontrol kazançları kullanıldığında takip başarısının ve titreşim azaltma performansının arttığı görülmüştür. Ancak farklı çalışma koşullarında sistem davranışının değişmesi, tek bir kontrol parametresi setinin tüm durumlar için optimum sonuç sağlayamayacağını ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, pnömatik süspansiyonlu robot süpürge sisteminin yüzey düzensizliklerinden kaynaklanan titreşimleri azaltarak hareket kararlılığını iyileştirdiği ve sistem performansını artırdığı belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, pnömatik süspansiyon sistemlerinin robot süpürge uygulamalarında uygulanabilir ve geliştirilebilir bir çözüm olduğunu göstermektedir. Ayrıca çalışma, robot süpürgelerde pnömatik süspansiyon sistemlerinin modellenmesi ve analiz edilmesine yönelik literatürdeki sınırlı sayıdaki araştırmaya katkı sağlamaktadır. Gelecekte gerçekleştirilecek deneysel doğrulama çalışmaları, adaptif kontrol yöntemleri ve süspansiyon parametre optimizasyonu ile sistem performansının daha da geliştirilebileceği değerlendirilmektedir.

Kaynakça

- [1] L. Sui and L. Lin, “Design of Household Cleaning Robot Based on Low-cost 2D LIDAR SLAM,” International Symposium on Autonomous Systems, 2020.
- [2] S. Pan et al., “Sweeping Robot Based on Laser SLAM,” Procedia Computer Science, 2022.
- [3] T. C. Do et al., “Development and Evaluation of a Smart Vacuum Robot,” Engineering, Technology & Applied Science Research, 2025.
- [4] A. Başaran, “Accuracy Evaluation of LiDAR-SLAM Based 2-Dimensional Mapping,” International Journal of Engineering and Geosciences, 2024/2025.
- [5] A. Y. S. Wan et al., “Complete Area-Coverage Path Planner for Surface Cleaning in Robotic Applications,” Complex & Intelligent Systems, 2024.
- [6] J. Hu et al., “Collaborative Coverage for a Network of Vacuum Cleaner Robots,” 2021.
- [7] J. Zhao et al., “Design and Research of All-Terrain Wheel-Legged Robot,” Sensors, vol. 21, no. 16, 2021.
- [8] D. Liu et al., “Active Suspension Control with Consensus Strategy for Wheel-Legged Robots,” ISA Transactions, 2022.
- [9] Lan, T. ve Yang, G. (2025), Esnek Duruş Kontrolüne Sahip Dört Tekerlekli Mobil Robot. Saha Robotik Dergisi, 42: 1287-1297.
- [10] R. Gamage, C. Rathnayake, R. Kalubowila and S. Thilakarathne, “Design and Development of a Quarter-Car Model Active Suspension System for a Mobile Robot to Enhance Terrain Adaptability with Better Stability and Mobility,” Journal of Mechatronics and Robotics, vol. 8, pp. 39–48, 2024.
- [11] W. Szerszeń and P. D. Domański, “Active Suspension System for Mobile Robot: Design and Analysis,” Nonlinear Dynamics, 2025.
- [12] J. Gao et al., “Design, Analysis and Control of Tracked Mobile Robot with Passive Suspension on Rugged Terrain,” Actuators, vol. 14, no. 8, 2025.
- [13] S. Milani et al., “Control-Oriented Modelling and Experimental Validation of a Multichamber Air Spring,” Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2025.
- [14] S. A. Ahmed et al., “Passenger Car Air Spring Suspension Open System Modeling and Experimental Verification,” SAE Technical Paper, 2024.
- [15] R. Růžicka et al., “Modeling of the Controlled Air Spring,” Scientific Journal of Silesian University of Technology, 2020.
- [16] P. Sperzyński et al., “Dimensional Synthesis of Suspension System of Wheel-Legged Mobile Robot,” Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2025.
- [17] W. Liu et al., “A Design Study on Commercial Cleaning Robots Based on Functional Requirements,” Sustainability, vol. 16, no. 20, 2024.

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE YANGIN RİSKLERİNİN HATA TÜRÜ VE ETKİ ANALİZİ (FMEA) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ VE DONANIMSAL YANGIN ÖNLEME YAKLAŞIMLARI

MİRAC HAVUŞ

Karabük Üniversitesi, mirachavus@gmail.com- 0009-0003-2615-5625

Prof. Dr, İLHAN CEYLAN

Karabük Üniversitesi, ilhanceylan@karabuk.edu.tr- 0000-0002-6128-2318

ÖZET

Fotovoltaik (FV) sistemler, küresel ölçekte hızla artan yenilenebilir enerji yatırımlarıyla birlikte elektrik üretiminde önemli bir yer edinmiş; buna paralel olarak işletme güvenliği ve yangın riski kritik araştırma konuları hâline gelmiştir. Her ne kadar FV sistemler yüksek güvenilirliğe sahip olsa da doğru tasarlanmayan, uygun şekilde kurulumu yapılmayan veya düzenli bakımı gerçekleştirilmeyen sistemlerde meydana gelen elektriksel arızalar yangınlara neden olabilmektedir. Bu çalışmada fotovoltaik sistemlerde yangına neden olan başlıca arıza mekanizmaları kapsamlı bir literatür taraması, saha gözlemleri ve Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada DC seri ark hataları, konnektör bozulmaları, kablo yalıtım hasarları, inverter kaynaklı arızalar, bağlantı kutusu problemleri ve aşırı ısınmaya neden olan diğer elektriksel kusurlar yangın riski açısından incelenmiştir. Risk Öncelik Sayıları (Risk Priority Number-RPN) hesaplanarak kritik arıza türleri belirlenmiş ve donanımsal yangın önleme yaklaşımlarının etkinliği değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra, Türkiye'de işletmede bulunan şebeke bağlantılı fotovoltaik santrallerde gerçekleştirilen bakım faaliyetleri ve termografik incelemelerden elde edilen saha bulguları literatür sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, DC seri ark hataları, konnektör kaynaklı temas problemleri ve kablo yalıtım bozulmalarının en yüksek yangın riskine sahip arıza mekanizmaları olduğunu göstermektedir. Bunun yanında Ark Hata Algılama Kesicileri (AFCI), Aşırı Gerilim Koruma Cihazları (SPD), termografik muayeneler ve planlı önleyici bakım uygulamalarının yangın riskinin azaltılmasında önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Çalışmanın, fotovoltaik sistemlerin güvenli tasarımı, işletilmesi ve bakım faaliyetlerine yönelik mühendislik uygulamalarına katkı sağlaması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Sistemler, Yangın Riski, FMEA, DC Ark Hatası, Termografi, Önleyici Bakım.

**EVALUATION of FIRE RISKS in PHOTOVOLTAIC SYSTEMS USING FAILURE
MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) AND HARDWARE-BASED FIRE
PREVENTION APPROACHES**

MİRAC HAVUŞ

Karabük University, mirachavus@gmail.com- 0009-0003-2615-5625

Prof. Dr, İLHAN CEYLAN

Karabük University, ilhanceylan@karabuk.edu.tr- 0000-0002-6128-2318

ABSTRACT

The rapid expansion of photovoltaic (PV) systems worldwide has significantly increased the importance of operational safety and fire risk assessment. Although PV systems are generally considered highly reliable, electrical failures resulting from improper design, installation, or insufficient maintenance may lead to severe fire incidents. This study investigates the primary fire-related failure mechanisms in photovoltaic systems through a comprehensive literature review, field observations, and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Critical failure modes, including DC series arc faults, connector degradation, cable insulation failures, inverter-related malfunctions, junction box defects, and other overheating-related electrical faults, were evaluated using Risk Priority Numbers (RPNs). Furthermore, practical engineering observations obtained from maintenance activities and infrared thermographic inspections conducted at utility-scale photovoltaic power plants in Türkiye were compared with findings reported in the literature. The results indicate that DC series arc faults, connector-related contact degradation, and cable insulation failures represent the most critical fire hazards in photovoltaic systems. In addition, the implementation of Arc Fault Circuit Interrupters (AFCIs), Surge Protective Devices (SPDs), infrared thermographic inspections, and preventive maintenance strategies was found to significantly improve fire prevention and operational safety. The findings of this study provide practical engineering recommendations for improving the design, operation, and maintenance of photovoltaic systems while reducing fire-related risks.

Keywords: Photovoltaic systems, Fire Risk, FMEA, DC Arc Fault, Thermography, Preventive Maintenance.

1. GİRİŞ

Son yıllarda artan enerji talebi, fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılmasına yönelik politikalar ve iklim değişikliği ile mücadele kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar hız kazanmıştır. Bu dönüşüm sürecinde fotovoltaik (FV) sistemler; modüler yapıları, düşük işletme maliyetleri ve teknolojik gelişmeler sayesinde dünya genelinde en hızlı büyüyen elektrik üretim teknolojilerinden biri hâline gelmiştir [13], [14], [16].

Fotovoltaik sistemlerin yaygınlaşmasıyla birlikte sistem güvenilirliği ve işletme güvenliği daha önemli hâle gelmiştir. Genel olarak yüksek güvenilirliğe sahip olmalarına rağmen, tasarım hataları, montaj kusurları, malzeme yaşlanması, çevresel etkiler ve yetersiz bakım uygulamaları sonucunda oluşan elektriksel arızalar, fotovoltaik sistemlerde yangın riskini artırmaktadır [1], [2]. Özellikle doğru akım (DC) tarafında meydana gelen arızalar, alternatif akım sistemlerinden farklı davranış göstermeleri nedeniyle daha kritik sonuçlar doğurabilmektedir.

Fotovoltaik sistemlerde meydana gelen yangınların büyük bölümü; DC seri ark hataları, konnektör bozulmaları, kablo yalıtım hasarları, bağlantı kutusu problemleri ve inverter kaynaklı elektriksel arızalar ile ilişkilendirilmektedir [1], [5]. Doğru akım devrelerinde doğal sıfır geçiş noktasının bulunmaması, oluşan elektrik arkının uzun süre devam etmesine ve yüksek sıcaklıklara ulaşmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda kablo izolasyonu, konnektörler ve diğer sistem bileşenleri üzerinde meydana gelen termal etkiler yangın oluşumunu tetikleyebilmektedir [6].

Literatürde fotovoltaik sistem yangınlarını inceleyen çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, gerçek işletme koşullarında elde edilen saha bulgularını FMEA gibi sistematik risk değerlendirme yöntemleriyle birlikte ele alan çalışmalar sınırlıdır [1], [2], [3], [5].

Yangın risklerinin sistematik olarak değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri Hata Türü ve Etki Analizi (Failure Mode and Effects Analysis – FMEA) yöntemidir. FMEA, arıza türlerini oluşma olasılığı, etki şiddeti ve tespit edilebilirlik kriterlerine göre değerlendirerek risk önceliklerini belirleyen proaktif bir yöntemdir [7]. Bu yöntem sayesinde kritik arıza mekanizmaları belirlenebilmekte ve bakım ile koruma stratejileri risk önceliklerine göre planlanabilmektedir.

Bu çalışmada fotovoltaik sistemlerde yangına neden olan temel elektriksel arıza mekanizmaları kapsamlı bir literatür taraması, Türkiye’de işletmede bulunan şebeke bağlantılı fotovoltaik santrallerden elde edilen saha gözlemleri ve FMEA yöntemi birlikte kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında DC seri ark hataları, konnektör bozulmaları, kablo yalıtım hasarları, inverter iç arızaları, bağlantı kutusu problemleri, bypass diyot arızaları ve hot-spot oluşumu gibi kritik arıza mekanizmaları Risk Öncelik Sayısı (Risk Priority Number – RPN) yaklaşımı ile analiz edilmiştir. Ayrıca belirlenen risklerin azaltılmasına yönelik donanımsal yangın önleme yaklaşımları mühendislik bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Bu

yaklaşım, literatürde bildirilen yangın mekanizmaları ve koruma stratejileri temel alınarak geliştirilmiştir [1], [3].

Bu çalışmanın özgün yönü, literatürde tanımlanan yangın mekanizmalarını gerçek saha gözlemleri ile destekleyerek FMEA tabanlı sistematik bir risk değerlendirmesi sunması ve elde edilen bulgular doğrultusunda uygulanabilir donanımsal yangın önleme önerileri geliştirmesidir.

2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE YANGIN RİSKLERİ

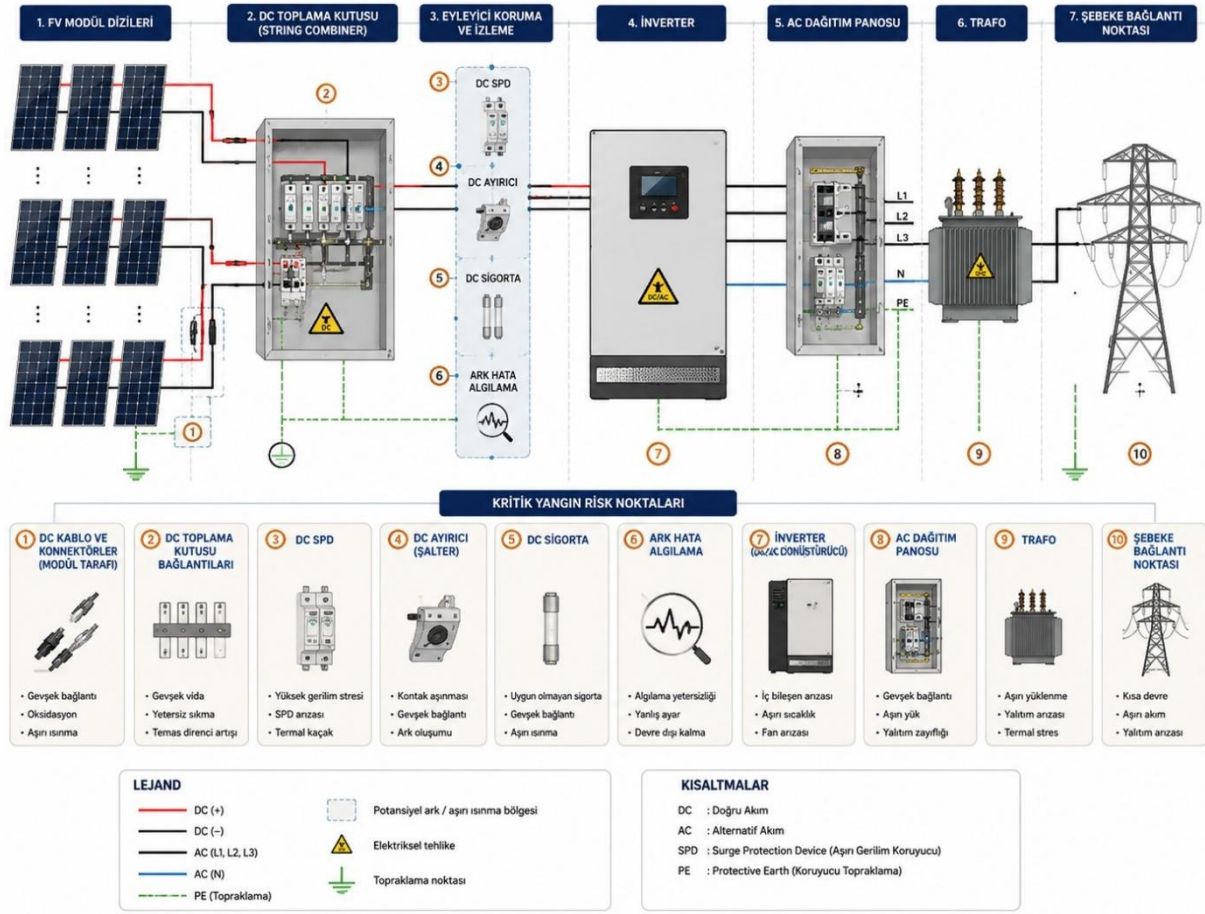
Fotovoltaik sistemlerde meydana gelen yangınlar çoğunlukla tek bir arızadan değil, zaman içerisinde gelişen elektriksel ve mekanik kusurların birleşik etkisinden kaynaklanmaktadır. Modüller, DC bağlantıları, kablo sistemleri, bağlantı kutuları ve inverterler gibi farklı sistem bileşenlerinde meydana gelen arızalar, uygun koşullar altında yangının başlamasına neden olabilmektedir. Literatürde bildirilen yangın olayları incelendiğinde, özellikle doğru akım tarafında gelişen arızaların sistem güvenliği açısından en kritik risk grubunu oluşturduğu görülmektedir [1], [4].

Bu bölümde fotovoltaik sistemlerde en sık karşılaşılan yangın mekanizmaları değerlendirilmiş ve yangın oluşumuna katkı sağlayan temel arıza türleri açıklanmıştır.

2.1. DC Seri Ark Hataları

Fotovoltaik sistemlerde en yüksek yangın riskini oluşturan arıza mekanizmalarından biri DC seri ark hatalarıdır. Alternatif akım sistemlerinden farklı olarak doğru akım devrelerinde doğal sıfır geçiş noktası bulunmadığından oluşan elektrik arkı kendiliğinden sönmemekte ve uzun süre devam edebilmektedir. Bu durum ark bölgesinde çok yüksek sıcaklıkların oluşmasına neden olmakta ve çevrede bulunan yanıcı malzemelerin tutuşma olasılığını artırmaktadır [1], [6], [10].

DC seri arkları çoğunlukla gevşek elektrik bağlantıları, hatalı krimpeme işlemleri, mekanik zorlanmalar veya zamanla artan temas direnci sonucunda oluşmaktadır. Temas direncinin yükselmesiyle birlikte oluşan Joule ısısı bağlantı noktasında sıcaklığın artmasına neden olmakta, ilerleyen süreçte ise ark oluşumu ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle DC tarafındaki bağlantı kalitesi, fotovoltaik sistemlerde yangın güvenliği açısından kritik öneme sahiptir.



Şebeke bağlantılı fotovoltaik santral yapısı ve kritik yangın risk noktaları.

Görsel 1. Fotovoltaik sistemlerde yangın oluşumuna neden olan temel risk noktaları

2.2. Konnektör Kaynaklı Arızalar

Konnektörler, fotovoltaik sistemlerde elektriksel sürekliliğin sağlanmasında kritik görev üstlenen bileşenlerdir. Ancak farklı üreticilere ait uyumsuz konnektörlerin birlikte kullanılması, eksik kilitleme, yetersiz sıkma torku ve çevresel etkiler temas direncini artırarak lokal sıcaklık yükselmelerine neden olabilmektedir. Bu sıcaklık artışı zamanla konnektör gövdesinde deformasyon, ark oluşumu ve yangın riski ile sonuçlanabilmektedir [1].

Saha incelemeleri ve literatür bulguları, fotovoltaik sistem yangınlarının önemli bir bölümünün bağlantı elemanlarında meydana gelen elektriksel kusurlardan kaynaklandığını göstermektedir. Artan temas direnci özellikle MC4 konnektörlerinde Joule ısınmasına bağlı bölgesel sıcaklık yükselmesine neden olmakta, zamanla yalıtım bozulması ve seri ark oluşumunu tetikleyebilmektedir. Sonuç olarak sertifikalı konnektör kullanımı ve üretici montaj talimatlarına uyulması büyük önem taşımaktadır [9].

$$Q = I^2 R t \dots \dots \dots (1)$$

Burada;

Q: Oluşan ısı enerjisi (J)

I: İletkenden geçen akım (A)

R: Temas direnci (Ω)

t: Akımın geçiş süresi (s)

Eşitlik (1)'den görüldüğü üzere, özellikle temas direncindeki küçük artışlar dahi akımın karesi ile doğru orantılı olarak oluşan ısı enerjisinin hızla yükselmesine neden olmaktadır. Bu doğrultuda gevşek veya uyumsuz konnektör bağlantıları, temas noktasında sıcaklık artışı, seri ark oluşumu ve yangın gelişimi açısından kritik arıza mekanizmaları arasında değerlendirilmektedir [5].

2.3. Kablo Yalıtım Hasarları

Kablo yalıtımı, fotovoltaik sistemlerde elektriksel güvenliği sağlayan temel unsurlardan biridir. Uzun süre ultraviyole ışınımına maruz kalma, sıcaklık değişimleri, mekanik zorlanmalar, kemirgen hasarları ve yanlış kablo güzergâhı seçimi zamanla yalıtım özelliklerinin bozulmasına neden olabilmektedir. İzolasyon direncindeki azalma kaçak akımların oluşmasına ve uygun koşullar altında elektrik arkının meydana gelmesine yol açmaktadır [2].

Düzenli izolasyon direnci ölçümleri, görsel kontroller ve hasarlı kabloların zamanında değiştirilmesi yangın riskinin azaltılmasında büyük önem taşımaktadır.

2.4. İnverter Kaynaklı Arızalar

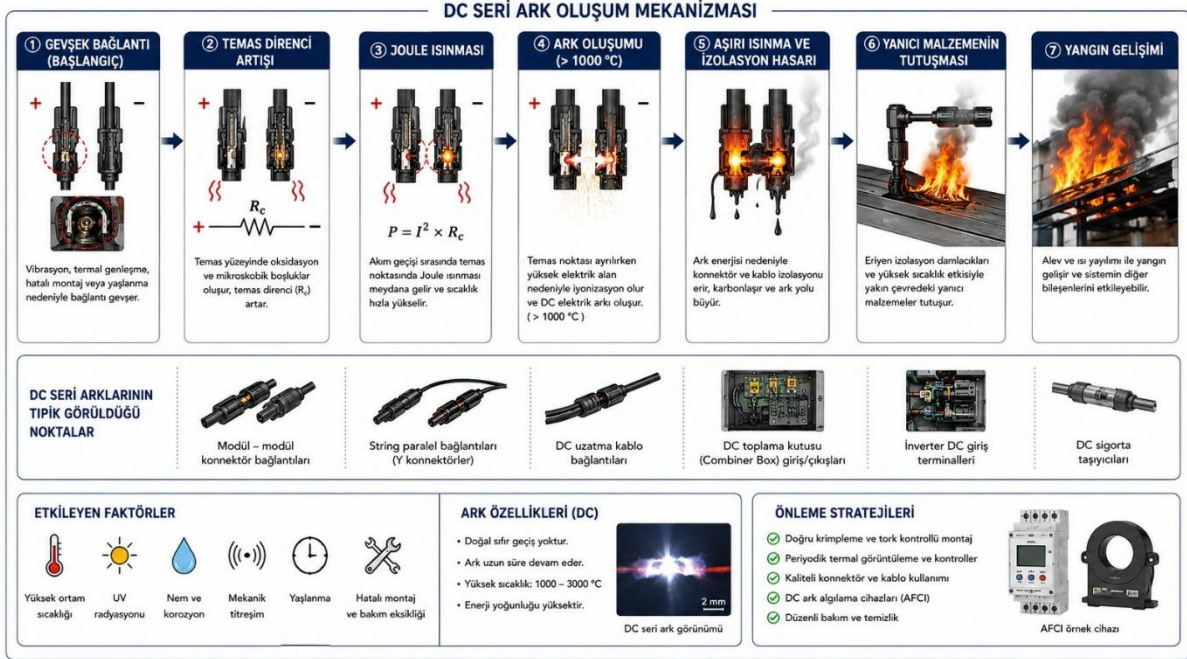
İnverterler, fotovoltaik sistemlerde enerji dönüşümünü gerçekleştiren en önemli güç elektroniği ekipmanlarıdır. İç yapılarında bulunan yarı iletken anahtarlama elemanları, kondansatörler ve manyetik bileşenler çalışma sırasında önemli miktarda ısı üretmektedir. Yetersiz havalandırma, fan arızaları, aşırı ortam sıcaklığı veya elektronik bileşenlerin yaşlanması inverter içerisinde sıcaklık artışına neden olabilmektedir [2], [5].

Modern inverterlerde sıcaklık izleme algoritmaları bulunsa da yetersiz bakım ve elektronik bileşenlerin termal zorlanması yangın olasılığını artırmaktadır.

2.5. Bağlantı Kutuları ve Hot-Spot Oluşumu

Bağlantı kutuları (Junction Box), bypass diyotları ve panel çıkış bağlantılarının bulunduğu kritik bileşenlerdir. Lehim bağlantılarındaki bozulmalar, nem girişi, diyot arızaları veya gevşeyen bağlantılar bu bölgelerde aşırı sıcaklık oluşmasına neden olabilmektedir. Benzer şekilde gölgelenme, hücre çatlakları veya bypass diyonu arızaları sonucunda oluşan hot-spot bölgeleri panel yüzeyinde sıcak nokta (hot-spot) oluşumuna yol açarak panel malzemelerinde termal bozulmayı hızlandırmaktadır [3].

Bu tür arızaların erken belirlenmesinde kızılötesi termografik incelemeler en etkili kestirimci bakım yöntemlerinden biridir.

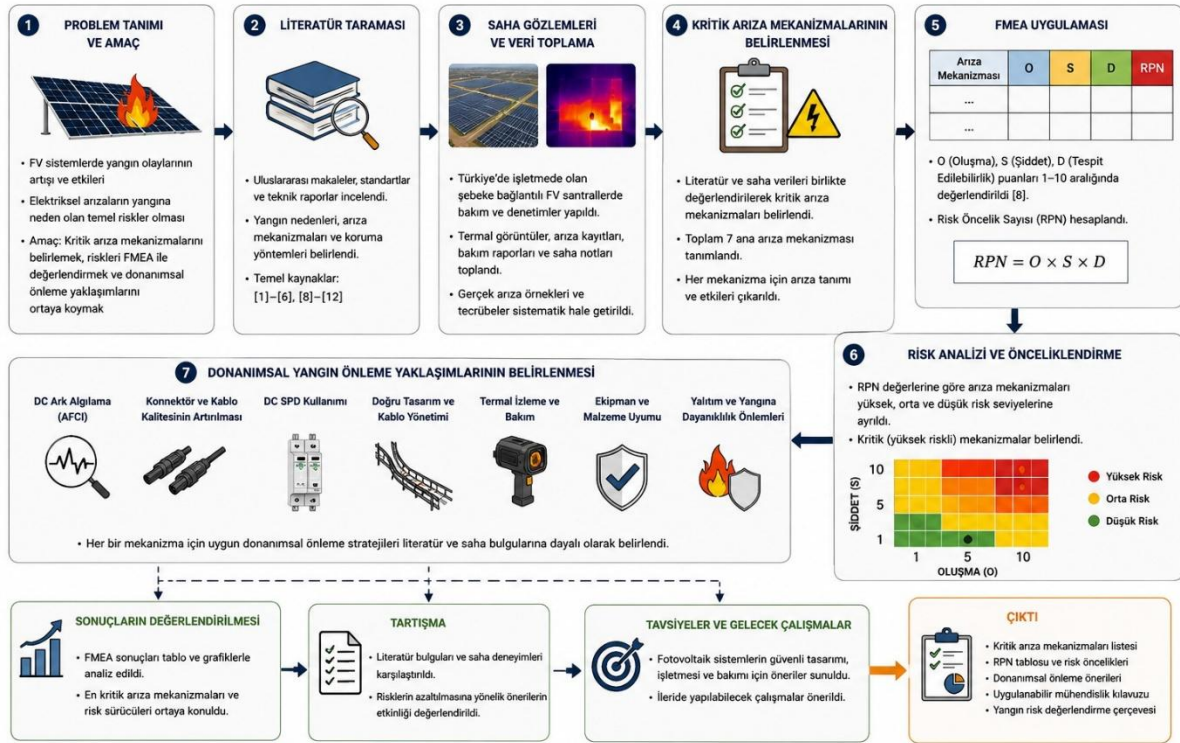


Görsel 2. DC seri ark oluşum mekanizması

Fotovoltaik sistemlerde yangına neden olan arıza mekanizmalarının risk seviyeleri farklılık ortaya koymaktadır. Buna bağlı olarak bir sonraki bölümde FMEA yöntemi kullanılarak söz konusu arıza mekanizmaları sistematik olarak değerlendirilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada fotovoltaik sistemlerde yangın risklerinin sistematik olarak değerlendirilmesi amacıyla literatür taraması, saha gözlemleri ve Hata Türü ve Etki Analizi (Failure Mode and Effects Analysis – FMEA) yöntemi birlikte kullanılmıştır. Çalışmanın metodolojik akışı Görsel 3’te verilmiştir.



Çalışmanın metodolojik akış şeması.

Görsel 3. Çalışmanın metodolojik akış şeması

Araştırmanın ilk aşamasında fotovoltaik sistem yangınları ile ilgili ulusal ve uluslararası bilimsel yayınlar, teknik raporlar ve standartlar incelenmiştir. Bu kapsamda IEEE, Elsevier, Springer ve MDPI veri tabanlarında yayımlanan çalışmaların yanı sıra IEC, NFPA, IEA PVPS ve NREL tarafından yayımlanan dokümanlar değerlendirilmiştir. Literatür incelemesi sonucunda yangın oluşumunda etkili olduğu bildirilen temel arıza mekanizmaları belirlenmiştir.

İkinci aşamada Türkiye’de işletmede bulunan şebeke bağlantılı fotovoltaik santrallerde gerçekleştirilen bakım faaliyetlerinden elde edilen saha bulguları analiz edilmiştir. Bakım kayıtları, termografik incelemeler, görsel kontroller ve inverter hata kayıtları değerlendirilerek literatürde tanımlanan arıza mekanizmalarının gerçek işletme koşullarındaki karşılıkları incelenmiştir.

Literatür ve saha bulgularının birlikte değerlendirilmesi sonucunda çalışmada aşağıdaki arıza mekanizmaları analiz kapsamına alınmıştır:

- DC seri ark hataları,
- Konnektör bozulmaları,
- Kablo yalıtım hasarları,
- İnverter iç arızaları,
- Junction Box arızaları,

- Bypass diyot arızaları,
- Hot-spot oluşumu,

Belirlenen arıza mekanizmaları, FMEA yöntemi kullanılarak Oluşma Olasılığı (Occurrence–O), Etki Şiddeti (Severity–S) ve Tespit Edilebilirlik (Detection–D) kriterleri açısından değerlendirilmiştir. Her bir kriter 1 ile 10 arasında puanlandırılmış olup değerlendirmelerde literatürde bildirilen arıza sıklıkları, saha gözlemleri ve mühendislik değerlendirmeleri birlikte dikkate alınmıştır.

Çizelge 1. FMEA Değerlendirme Ölçeği

Puan	Oluşma Olasılığı (O)	Etki Şiddeti (S)	Tespit Edilebilirlik (D)
1–2	Çok düşük	Önemsiz	Çok kolay
3–4	Düşük	Düşük	Kolay
5–6	Orta	Orta	Orta
7–8	Yüksek	Yüksek	Zor
9–10	Çok yüksek	Çok ciddi	Çok zor

$$RPN = O \times S \times D \dots\dots\dots(2)$$

Burada *O* oluşma olasılığını, *S* etki şiddetini, *D* ise tespit edilebilirliği ifade etmektedir. Hesaplanan RPN değerleri Çizelge 2’de verilen sınıflandırmaya göre değerlendirilmiştir.

Çizelge 2. Risk Öncelik Sayısı (RPN) Sınıflandırması

RPN Aralığı	Risk Seviyesi	Mühendislik Yaklaşımı
1–100	Düşük	Rutin izleme
101–200	Orta	Önleyici bakım
201–400	Yüksek	Düzeltilici bakım

FMEA değerlendirmeleri sonucunda elde edilen Risk Öncelik Sayıları, fotovoltaik sistemlerde yangın açısından kritik arıza mekanizmalarının belirlenmesinde kullanılmış; elde edilen bulgular saha gözlemleri ile karşılaştırılarak donanımsal yangın önleme yaklaşımlarının etkinliği değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. FMEA Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Fotovoltaik sistemlerde yangın oluşumuna neden olan sekiz temel arıza mekanizması, FMEA yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve her bir arıza türü için Risk Öncelik Sayısı (RPN) hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3’te sunulmaktadır.

Çizelge 3. Fotovoltaik Sistemlerde Yangın Risklerine Ait FMEA Sonuçları

Arıza Türü	O	S	D	RPN	Risk Seviyesi	Önerilen Önlem
DC Seri Ark Hatası	8	10	7	560	Kritik	AFCI ve termografik izleme
Konnektör Bozulması	8	9	7	504	Kritik	Sertifikalı konnektör ve tork kontrolü
Kablo Yalıtım Hasarı	7	9	7	441	Kritik	İzolasyon testi ve kablo yenileme
İnverter İç Arızası	6	9	6	324	Yüksek	Termal izleme ve periyodik bakım
Junction Box Arızası	6	8	6	288	Yüksek	Termografik kontrol
Bypass Diyot Arızası	5	7	5	175	Orta	Arızalı modül değişimi
Hot-Spot Oluşumu	6	6	4	144	Orta	Termal kamera kontrolleri
SPD Arızası	5	7	4	140	Orta	Periyodik SPD testi

Not: O, S ve D puanları; literatürde bildirilen arıza sıklıkları, uluslararası standartlar, saha gözlemleri ve yazarların fotovoltaik sistemlerdeki bakım deneyimleri birlikte değerlendirilerek belirlenmiştir [8].

Çizelge 3 incelendiğinde, DC seri ark hatalarının (RPN=560) en yüksek risk öncelik sayısına sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, doğru akım devrelerinde arkın doğal sıfır geçiş noktasının bulunmaması nedeniyle uzun süre devam edebilmesi ve yüksek sıcaklıklara ulaşarak çevresindeki yanıcı malzemeleri tutuşturabilmesi ile açıklanmaktadır. Literatürde bildirilen çalışmalar da DC seri ark hatalarının fotovoltaik sistemlerde yangının başlıca nedenlerinden biri olduğunu ortaya koymaktadır [1], [2], [5]. Bu kapsamda DC tarafında ark algılama ve koruma sistemlerinin kullanılması, yangın riskinin azaltılmasına yönelik en öncelikli mühendislik uygulamalarından biri olarak değerlendirilmektedir.

İkinci en yüksek risk öncelik sayısı konnektör bozulmalarına (RPN=504) aittir. Gevşek bağlantılar, uyumsuz konnektör kullanımı ve hatalı montaj uygulamaları sonucu artan temas direnci, Joule ısınmasına bağlı termal yük artışına neden olmakta ve zamanla seri ark oluşumunu tetikleyebilmektedir. Çalışma kapsamında değerlendirilen termografik bulgular, bu arıza mekanizmasının yalnızca teorik bir risk olmadığını, gerçek işletme koşullarında da önemli bir yangın tehlikesi oluşturduğunu doğrulamaktadır.

Kablo yalıtım hasarları (RPN=441) ise kritik risk grubunda yer almaktadır. Uzun süreli çevresel etkiler, ultraviyole ışıınımı, mekanik zorlanmalar ve yaşlanmaya bağlı yalıtım bozulmaları kaçak akımların oluşmasına, elektriksel güvenliğin azalmasına ve yangın olasılığının artmasına neden olmaktadır. Böylece düzenli izolasyon direnci ölçümleri, görsel kontroller ve periyodik bakım uygulamaları önleyici bakım stratejilerinin temel bileşenleri arasında yer almalıdır.

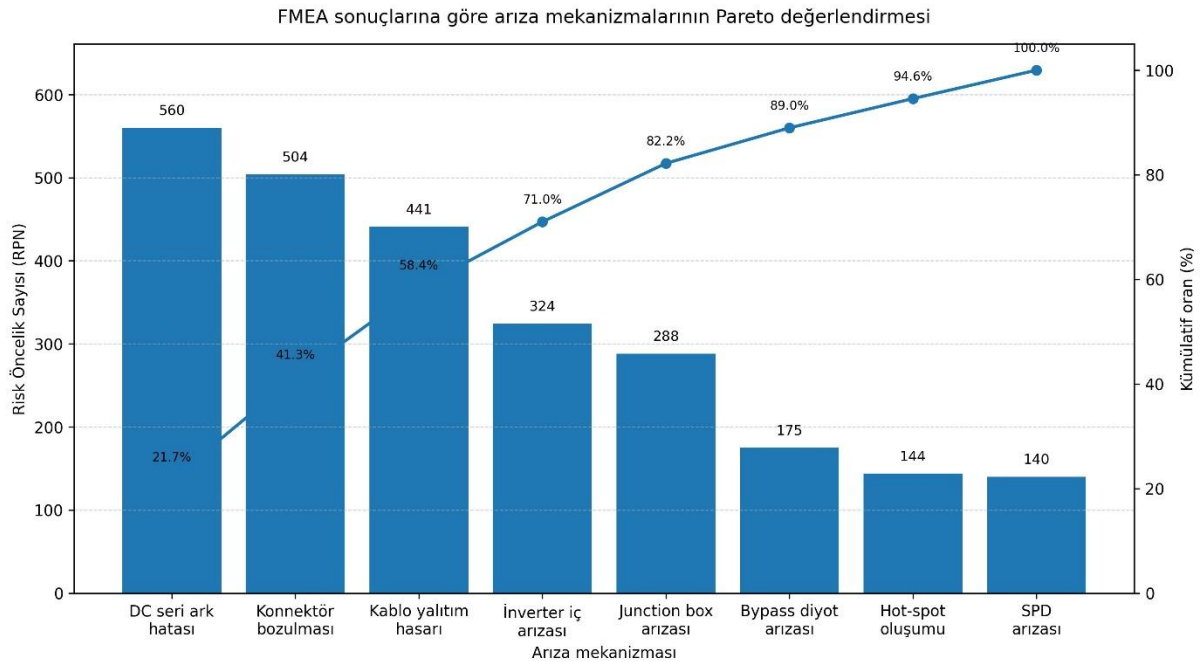
İnverter iç arızaları (RPN=324) ve bağlantı kutusu arızaları (RPN=288) yüksek risk grubunda değerlendirilmiştir. Güç elektroniği bileşenlerinde meydana gelen termal zorlanmalar, soğutma sistemi performansındaki azalmalar ve bağlantı noktalarındaki gevşemeler yerel ısınmaya

neden olarak termal hasar oluşumuna neden olabilmektedir. Bu sebeple inverterlerin termal açıdan izlenmesi ve bağlantı kutularının periyodik olarak kontrol edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Buna karşılık bypass diyot arızaları (RPN=175), hot-spot oluşumu (RPN=144) ve SPD arızaları (RPN=140) orta risk seviyesinde değerlendirilmiştir. Bu arızalar tek başlarına kritik yangın kaynağı oluşturma olasılığı daha düşük olmakla birlikte, zamanında tespit edilmemeleri durumunda diğer arıza mekanizmalarını tetikleyerek sistem güvenliğini olumsuz etkileyebilmektedir.

FMEA sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, incelenen sekiz arıza mekanizmasının üçünün kritik risk sınıfında yer aldığı ve bunun toplam arıza türlerinin %37,5'ine karşılık geldiği belirlenmiştir. Kritik ve yüksek risk grubunda yer alan arızalar birlikte değerlendirildiğinde ise, bu oran %62,5'e ulaşmaktadır. Bu durum, fotovoltaik sistemlerde yangın riskinin azaltılmasına yönelik bakım ve koruma faaliyetlerinin büyük ölçüde DC seri ark hataları, konnektör bozulmaları, kablo yalıtım hasarları, inverter iç arızaları ve bağlantı kutusu arızalarına odaklanmasının sistem güvenliğinde önemli iyileşmeler sağlayabileceğini desteklemektedir.

Çizelge 3'te verilen FMEA sonuçları, arıza mekanizmalarının Risk Öncelik Sayısı (RPN) değerlerini ortaya koymaktadır. Ancak RPN değerlerinin göreceli katkılarının ve riskin hangi arıza mekanizmalarında yoğunlaştığının daha açık biçimde gösterilebilmesi amacıyla Pareto analizi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Görsel 4'de sunulmuştur.



Görsel 4. FMEA sonuçlarına göre yangın riski oluşturan arıza mekanizmalarının Pareto analizi

Görsel 4 incelendiğinde, toplam yangın riskinin büyük bölümünün sınırlı sayıda arıza mekanizmasından kaynaklandığı görülmektedir. Özellikle DC seri ark hataları, konnektör

bozulmaları ve kablo yalıtım hasarları, en yüksek Risk Öncelik Sayısı (RPN) değerlerine sahip arızalar olarak öne çıkmaktadır. Pareto analizi, kritik ve yüksek risk grubunda yer alan ilk beş arıza mekanizmasının toplam arıza türlerinin %62,5'ini oluşturduğunu işaret etmektedir. Bu bulgu, fotovoltaik sistemlerde yangın riskinin azaltılmasına yönelik bakım ve koruma faaliyetlerinin öncelikle bu arıza mekanizmalarına odaklanmasının sistem güvenliğinde önemli iyileşmeler sağlayacağını ortaya koymaktadır.

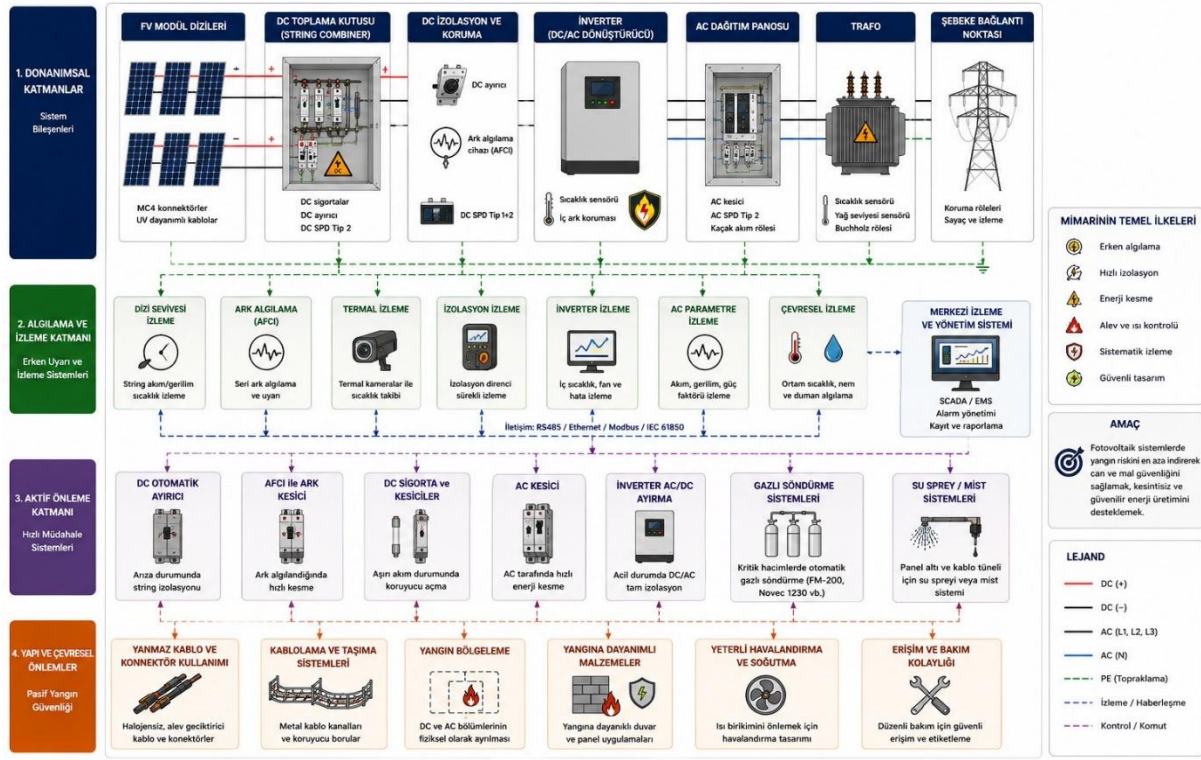
4.2. Bulguların Literatür ile Karşılaştırılması

Çalışmada elde edilen FMEA sonuçları, literatürde fotovoltaik sistemlerde yangın açısından en kritik arıza mekanizmaları olarak bildirilen DC seri ark hataları, konnektör bozulmaları ve kablo yalıtım hasarları ile büyük ölçüde uyumludur [1], [4]. Hesaplanan Risk Öncelik Sayıları (RPN), söz konusu arızaların öncelikli olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, bu çalışma yalnızca literatürde bildirilen bulguların doğrulanmasıyla sınırlı kalmamış; Türkiye'de işletmede bulunan şebeke bağlantılı fotovoltaik santrallerden elde edilen saha gözlemleri ile FMEA sonuçlarını birlikte değerlendirerek risk önceliklerinin gerçek işletme koşullarındaki karşılığını göstermiştir. Böylece literatür bulguları uygulama deneyimleriyle desteklenmiş ve gerçekleştirilen risk analizinin mühendislik açısından uygulanabilirliği ortaya konulmuştur.

4.3. Donanımsal Yangın Önleme Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi

FMEA sonuçları, fotovoltaik sistemlerde yangın güvenliğinin tek bir koruma ekipmanı ile sağlanamayacağını ortaya çıkarmaktadır. Yangın riskinin azaltılabilmesi için koruma ekipmanları, düzenli bakım faaliyetleri ve sürekli durum izlemenin birlikte uygulanması gerekmektedir.

Bu kapsamda Ark Hata Algılama Kesicileri (AFCI), Aşırı Gerilim Koruma Cihazları (SPD), sertifikalı DC konnektörleri, termografik incelemeler, izolasyon direnci ölçümleri ve inverter sıcaklık izleme sistemlerinin birlikte kullanılması önerilmektedir. Çok katmanlı bu koruma yaklaşımı, kritik arızaların erken aşamada belirlenmesini sağlayarak yangın oluşma olasılığını önemli ölçüde azaltmaktadır [9], [10], [11], [12].



Görsel 5. Fotovoltaik sistemler için önerilen donanımsal yangın önleme mimarisi

5. SAHA BULGULARI VE MÜHENDİSLİK DEĞERLENDİRMELERİ

5.1. Saha Bulgularının Değerlendirilmesi

Fotovoltaik sistemlerde meydana gelen birçok elektriksel arıza, ilk aşamalarda enerji üretimini doğrudan etkilemediğinden yalnızca inverter alarm kayıtları kullanılarak tespit edilememektedir. Bu durum saha bakım faaliyetleri sırasında gerçekleştirilen termografik incelemeler, görsel kontroller ve elektriksel ölçümler, yangın riski oluşturabilecek arızaların erken aşamada belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Bu çalışmada Türkiye'deki şebeke bağlantılı FV santrallerinden elde edilen saha gözlemleri değerlendirilmiştir. Yapılan incelemelerde özellikle DC bağlantıları, konnektörler, kablo güzergâhları, bağlantı kutuları ve inverterler üzerinde yoğunlaşmıştır. Saha gözlemleri sonucunda en sık karşılaşılan arıza mekanizmalarının;

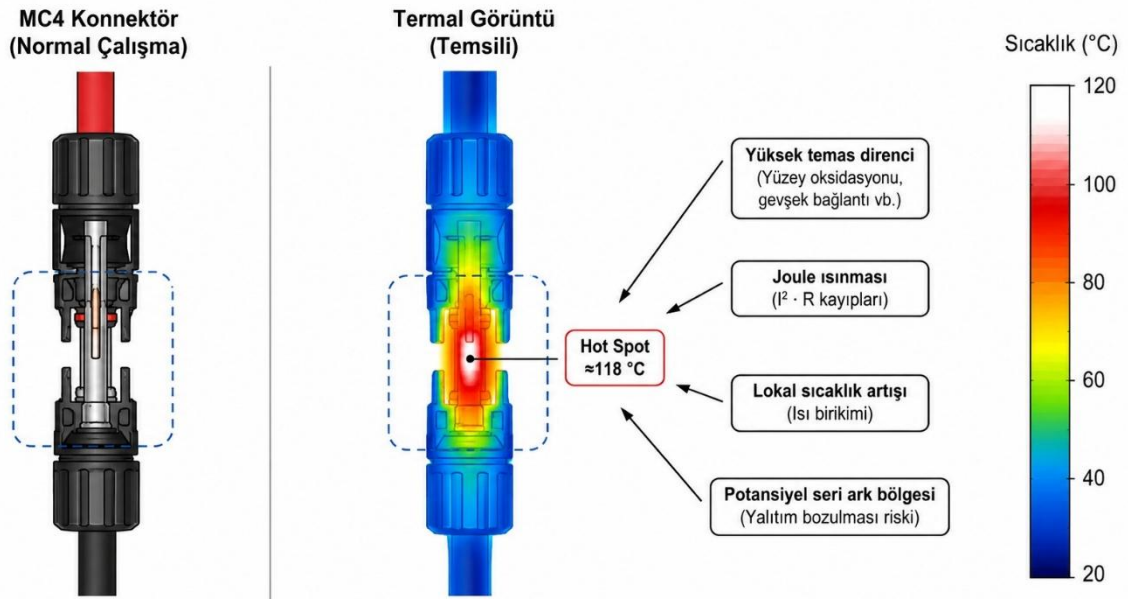
- DC konnektörlerinde temas direncinin artması,
 - Kablo yalıtımında çevresel etkiler nedeniyle meydana gelen bozulmalar,
 - Junction Box bölgelerinde sıcaklık anomalisi,
 - İnverter soğutma performansındaki azalmalar,
 - Gevşek elektrik bağlantıları,
 - Panel yüzeylerinde oluşan hot-spot bölgeleri
- olduğu belirlenmiştir.

Bu bulgular, FMEA analizinde en yüksek Risk Öncelik Sayısına sahip arıza mekanizmaları ile doğrudan uyumludur.

5.2. Termografik Bulguların Değerlendirilmesi

Fotovoltaik sistemlerde gerçekleştirilen bakım faaliyetlerinde en etkili kestirimci bakım yöntemlerinden biri kızılötesi termografik incelemedir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen termal ölçümlerde bazı DC bağlantı noktalarında, çevre bileşenlere kıyasla belirgin sıcaklık artışları tespit edilmiştir. Bu bulgu, termografik denetimlerin yalnızca bakım aracı değil, aynı zamanda yangın riskinin erken belirlenmesinde etkin bir kestirimci bakım yöntemi olduğunu göstermektedir [7].

Bakım çalışmaları sırasında özellikle MC4 konnektörlerinde oluşan yüksek temas direnci, Joule ısınmasına bağlı termal yoğunlaşmaya neden olabilmektedir. Bu durum, termografik incelemeler ile erken aşamada tespit edilebilmekte ve potansiyel seri ark oluşumu önlenabilmektedir. Joule ısınması sonucunda meydana gelen lokal sıcaklık artışı, termografik muayeneler ile erken aşamada tespit edilebilmektedir. Bu durumun temsili gösterimi Görsel 6'da verilmiştir.



Görsel 6. Konnektör bağlantısında yüksek temas direncine bağlı sıcaklık birikiminin temsili termografik gösterimi

Görsel 6 incelendiğinde, sıcaklık artışının konnektör temas noktasında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu bölgedeki yüksek sıcaklık, temas direncindeki artışın doğal bir sonucu olup uzun süreli çalışmada yalıtım malzemesinin bozulmasına, seri ark oluşumuna ve yangın riskinin artmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla termografik denetimlerin periyodik bakım programlarına entegre edilmesi, arızaların erken tespit edilmesini sağlayan en etkili kestirimci bakım uygulamalarından biri olarak değerlendirilmektedir.

Bu durum, termografik incelemelerin yalnızca arıza tespitinde değil, yangın oluşmadan önce önleyici bakım faaliyetlerinin planlanmasında da vazgeçilmez bir uygulama olduğunu ortaya koymuştur.

5.3. Literatür ve Saha Bulgularının Karşılaştırılması

Literatürde bildirilen yangın mekanizmaları ile çalışma kapsamında elde edilen saha bulguları karşılaştırılmış ve sonuçlar Çizelge 4'te özetlenmiştir.

Çizelge 4. Literatür ve Saha Bulgularının Karşılaştırılması

Arıza Mekanizması	Literatürde Bildirilme Durumu	Saha Bulguları	Sonuç
DC Seri Ark Hataları	Çok yaygın	Desteklenmiştir	Doğrulandı
Konnektör Bozulmaları	Çok yaygın	Desteklenmiştir	Doğrulandı
Kablo Yalıtım Hasarları	Yaygın	Desteklenmiştir	Doğrulandı
İnverter İç Arızaları	Orta	Desteklenmiştir	Doğrulandı
Junction Box Problemleri	Orta	Desteklenmiştir	Doğrulandı
Hot-Spot Oluşumu	Yaygın	Desteklenmiştir	Doğrulandı

Çizelge 4'te literatürde bildirilen başlıca yangın mekanizmaları ile bu çalışmada elde edilen saha bulguları karşılaştırılmıştır. Her iki veri grubu birlikte değerlendirildiğinde, DC seri ark hataları, konnektör bozulmaları ve kablo yalıtım hasarlarının fotovoltaiik sistemlerde yangın açısından en kritik arıza mekanizmaları olduğu görülmektedir. Bu bulgu, FMEA analizinde elde edilen yüksek RPN değerleri ile de uyumludur.

Saha gözlemleri, literatürde tanımlanan arıza mekanizmalarının gerçek işletme koşullarında da benzer şekilde ortaya çıktığını doğrulamaktadır. Özellikle termografik incelemelerde belirlenen sıcaklık anomalileri ve temas direnci artışları, önleyici bakım uygulamalarının yangın riskinin azaltılmasındaki önemini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, yalnızca arızaların tespit edilmesinin değil, bakım önceliklerinin belirlenmesinde de termografik denetimler ve planlı önleyici bakım uygulamalarının kritik rol oynadığını göstermektedir.

5.4. Mühendislik Değerlendirmesi ve Çalışmanın Katkısı

Çalışmadan elde edilen bulgular, fotovoltaiik sistemlerde yangın güvenliğinin yalnızca koruma ekipmanlarının kullanılmasıyla sağlanamayacağını ortaya koymaktadır. Güvenilir bir sistem için doğru ekipman seçimi, standartlara uygun montaj, düzenli bakım ve kestirimci izleme yöntemlerinin birlikte uygulanması gerekmektedir.

FMEA sonuçları ile saha gözlemlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda aşağıdaki mühendislik uygulamalarının yangın riskinin azaltılmasına önemli katkı sağlayacağı belirlenmiştir:

- Sertifikalı ve uyumlu DC konnektörlerinin kullanılması,
- Üretici tarafından önerilen sıkma torklarının uygulanması,
- Periyodik termografik incelemelerin gerçekleştirilmesi,

- Kablo izolasyon direncinin düzenli olarak ölçülmesi,
- İnverter soğutma sistemlerinin bakımının aksatılmaması,
- SPD ve topraklama sistemlerinin periyodik olarak doğrulanması,
- Risk önceliklerine göre planlanan önleyici bakım programlarının uygulanması.

5.5. Çalışmanın Özgün Katkısı

Fotovoltaik sistemlerde yangın risklerinin değerlendirilmesine yönelik birçok çalışma laboratuvar deneyleri, istatistiksel yangın kayıtları veya belirli ekipmanlara odaklanmaktadır. Buna karşın gerçek işletme koşullarından elde edilen saha bulgularını sistematik risk analizi ile birlikte değerlendiren çalışmalar sınırlıdır.

Bu çalışma, literatür bulgularını Türkiye'de işletmede bulunan şebeke bağlantılı fotovoltaik santrallerden elde edilen saha gözlemleri ile bütünleştirerek FMEA tabanlı bir risk değerlendirme yaklaşımı sunmaktadır. Elde edilen bulgular doğrultusunda AFCI, SPD, termografik izleme, izolasyon direnci ölçümleri, uygun konnektör seçimi ve planlı önleyici bakım uygulamalarını kapsayan uygulanabilir donanımsal yangın önleme önerileri geliştirilmiştir.

Bu yönüyle çalışma, fotovoltaik sistemlerde yangın risklerinin değerlendirilmesine yönelik teorik bilgileri saha deneyimi ile destekleyerek bakım mühendisleri, tasarımcılar ve işletmeciler için uygulanabilir bir mühendislik yaklaşımı ortaya koymaktadır. [1], [3], [7].

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada fotovoltaik sistemlerde yangın oluşumuna neden olan temel elektriksel arıza mekanizmaları, literatür taraması, saha gözlemleri ve FMEA yöntemi birlikte kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, yangın riskinin tek bir ekipmandan değil, sistem bileşenlerinde zamanla gelişen elektriksel ve mekanik arızaların birleşik etkisinden kaynaklandığını göstermiştir. FMEA sonuçlarına göre DC seri ark hataları, konnektör bozulmaları ve kablo yalıtım hasarları en yüksek Risk Öncelik Sayısına (RPN) sahip kritik arıza mekanizmaları olarak belirlenmiştir. İnverter iç arızaları ve bağlantı kutusu problemleri ise yüksek risk grubunda değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar, literatürde bildirilen bulgular ile uyumlu olup saha gözlemleri ile desteklenmiştir.

Termografik incelemeler, klasik elektriksel ölçümler veya inverter alarm kayıtları ile belirlenemeyen sıcaklık anomalilerinin erken aşamada tespit edilmesini sağlayarak yangın riskinin azaltılmasında etkili bir kestirimci bakım yöntemi olarak öne çıkmıştır.

Elde edilen bulgular doğrultusunda; AFCI kullanımı, sertifikalı DC konnektörlerinin tercih edilmesi, periyodik termografik incelemeler, izolasyon direnci ölçümleri, inverter soğutma sistemleri ile SPD'lerin düzenli kontrolü ve risk önceliklerine dayalı bakım programlarının uygulanması fotovoltaik sistemlerde yangın güvenliğinin artırılmasına yönelik temel mühendislik uygulamaları olarak önerilmektedir [10], [11], [12].

Sonuç olarak önerilen FMEA tabanlı değerlendirme yaklaşımı, fotovoltaik sistemlerde yangın risklerinin sistematik olarak analiz edilmesine ve bakım faaliyetlerinin risk önceliklerine göre planlanmasına katkı sağlayan uygulanabilir bir mühendislik çerçevesi sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] M. K. Alam, F. Khan, J. Johnson, and J. Flicker, A Comprehensive Review of Catastrophic Faults in PV Arrays: Types, Detection, and Mitigation Techniques, IEEE Journal of Photovoltaics, vol. 5, no. 3, pp. 982–997, May 2015, doi: 10.1109/JPHOTOV.2015.2397599.
- [2] D. S. Pillai and N. Rajasekar, A Comprehensive Review on Protection Challenges and Fault Diagnosis in PV Systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 91, pp. 18–40, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.03.082.
- [3] J. A. Tsanakas, L. Ha, and C. Buerhop, Faults and Infrared Thermographic Diagnosis in Operating c-Si Photovoltaic Modules: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 62, pp. 695–709, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.04.079.
- [4] Z. Wu, Y. Hu, J. X. Wen, F. Zhou, and X. Ye, A Review for Solar Panel Fire Accident Prevention in Large-Scale PV Applications, IEEE Access, vol. 8, pp. 132466–132480, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3010212.
- [5] R. F. Ammerman, T. Gammon, P. K. Sen, and J. P. Nelson, DC Arc Models and Incident-Energy Calculations, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 46, no. 5, pp. 1810–1819, Sep.–Oct. 2010, doi: 10.1109/TIA.2010.2057497.
- [6] E. Skoplaki and J. A. Palyvos, On the Temperature Dependence of Photovoltaic Module Electrical Performance: A Review of Efficiency/Power Correlations, Solar Energy, vol. 83, no. 5, pp. 614–624, 2009, doi: 10.1016/j.solener.2008.10.008.
- [7] U. Jahn, M. Herz, M. Köntges, D. Parlevliet, and M. Paggi, Review on Infrared and Electroluminescence Imaging for PV Field Applications, IEA PVPS Task 13, Report IEA-PVPS T13-12:2018, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme (IEA PVPS), 2018.
- [8] International Electrotechnical Commission, IEC 60812:2018, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA and FMECA), Geneva, Switzerland, 2018.
- [9] International Electrotechnical Commission, IEC 61730-1:2023, Photovoltaic (PV) Module Safety Qualification – Part 1: Requirements for Construction, Geneva, Switzerland, 2023.
- [10] International Electrotechnical Commission, IEC 63027:2023, Photovoltaic Power Systems – DC Arc Detection and Interruption, Geneva, Switzerland, 2023.

- [11] National Fire Protection Association, NFPA 70: National Electrical Code, 2023 Edition, Quincy, MA, USA, 2023.
- [12] UL Standards & Engagement, UL 1699B, Outline of Investigation for Photovoltaic (PV) DC Arc-Fault Circuit Protection, Northbrook, IL, USA.
- [13] International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme (IEA PVPS), Trends in Photovoltaic Applications 2024, Task 1, 2024.
- [14] International Renewable Energy Agency (IRENA), Renewable Capacity Statistics 2024, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2024.
- [15] Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), Türkiye Elektrik Kurulu Güç Raporu, Ankara, Türkiye, 2024.
- [16] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Photovoltaics Report, Freiburg, Germany, 2024.

IOT TABANLI ÇOK SENSÖRLÜ SU KALİTESİ İZLEME VE BULANIK MANTIK İLE UÇTA KARAR DESTEK SİSTEMİ

Erdem KANDEMİR

İzmir Bakırçay Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,
6017029@bakircay.edu.tr - 0009-0003-8046-2036

Mehmet SAĞBAŞ

İzmir Bakırçay Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,
mehmet.sagbas@bakircay.edu.tr - 0000-0001-5776-3947

ÖZET

Su kaynaklarının sürdürülebilir biçimde izlenmesi; insan sağlığı, tarımsal üretim ve çevresel ekosistemlerin korunması açısından önemli bir gerekliliktir. Mevcut su kalitesi izleme sistemlerinin önemli bir kısmı sınırlı sayıda parametre ölçmekte veya çoklu ölçüm yapabilse dahi elde edilen ham verileri doğrudan kullanıcı için yorumlanabilir bir kalite göstergesine dönüştürememektedir. Bu çalışmada, suyun fizikokimyasal durumunu gerçek zamanlı olarak değerlendirmeye yönelik, düşük maliyetli ve IoT tabanlı çok sensörlü bir gömülü sistem prototipi geliştirilmiştir. Önerilen sistem; pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş katı madde (TDS), çözünmüş oksijen (DO), oksidasyon-indirgeme potansiyeli (ORP), bulanıklık, sıcaklık ve su seviyesi olmak üzere sekiz farklı parametrenin izlenmesine olanak sağlamaktadır. Donanım mimarisi, ESP32 mikrodenetleyicisi ve 16-bit çözünürlüğe sahip çift ADS1115 analog-dijital çevirici modülü üzerine kurulmuştur. Aynı sıvı ortamında çalışan analog kanallar arasında oluşabilecek geçici kararsızlıkları azaltmak amacıyla sıralı örnekleme ve medyan tabanlı filtreleme yaklaşımı kullanılmıştır. Karar katmanında, katı eşik değerleri yerine yamuk bulanık üyelik fonksiyonlarına dayalı profil tabanlı bir bulanık mantık modeli uygulanmıştır. Böylece sensörlerden elde edilen veriler, seçilen kullanım profiline göre ağırlıklandırılarak 0–100 aralığında bir Su Kalitesi İndeksi (WQI) skoruna dönüştürülmüştür. Sistem; içme suyu, tarımsal sulama, akvaryum, havuz ve kahve demleme suyu profilleri için farklı değerlendirme yapabilmekte ve sonuçları Blynk IoT arayüzü üzerinden kullanıcıya sunabilmektedir. Ön deneysel sonuçlar, geliştirilen prototipin çoklu sensör verilerini yerel olarak işleyebildiğini ve bağlama duyarlı bir karar destek çıktısı üretebildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Su Kalitesi İndeksi (WQI), Gömülü Sistemler, Bulanık Mantık, Uç Bilişim, IoT.

IOT BASED MULTI-SENSOR WATER QUALITY MONITORING AND EDGE DECISION SUPPORT SYSTEM WITH FUZZY LOGIC

ABSTRACT

The sustainable monitoring of water resources is an important requirement for protecting human health, supporting agricultural production, and maintaining environmental ecosystems. Many existing water quality monitoring systems are limited to a small number of parameters or, even when multiple parameters are measured, they often do not convert raw sensor data into an interpretable quality indicator for the end user. In this study, a low-cost, IoT-based multi-sensor embedded system prototype is developed for the real-time assessment of the physicochemical condition of water. The proposed system enables the monitoring of eight parameters: pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), dissolved oxygen (DO), oxidation-reduction potential (ORP), turbidity, temperature, and water level. The hardware architecture is built around an ESP32 microcontroller and two external 16-bit ADS1115 analog-to-digital converter modules. To reduce possible cross-talk and ground-loop effects among analog sensors operating in the same liquid medium, a hardware power-switching strategy and a software-based time-division measurement approach are employed. In the decision layer, a profile-based fuzzy logic model using trapezoidal membership functions is implemented instead of rigid threshold-based rules. In this way, the sensor data are weighted according to the selected usage profile and converted into a Water Quality Index (WQI) score ranging from 0 to 100. The system can perform different evaluations for drinking water, agricultural irrigation, aquarium water, pool water, and coffee brewing water profiles, while presenting the results to the user through the Blynk IoT interface. Preliminary experimental results indicate that the developed prototype can locally process multi-sensor data and generate a context-aware decision-support output.

Keywords: Water Quality Index (WQI), Embedded Systems, Fuzzy Logic, Edge Computing, IoT.

1. GİRİŞ

Su kaynaklarının güvenilir biçimde izlenmesi; insan sağlığı, tarımsal üretim, su ürünleri yetiştiriciliği, endüstriyel süreçler ve ekosistem sürekliliği açısından temel bir mühendislik problemidir. Su kalitesi, yalnızca tek bir fiziksel veya kimyasal büyüklükle tanımlanamayacak kadar çok boyutlu bir yapıya sahiptir. pH, elektriksel iletkenlik, toplam çözünmüş katı madde, çözünmüş oksijen, oksidasyon-indirgeme potansiyeli, bulanıklık ve sıcaklık gibi parametreler; suyun kullanım amacına, bulunduğu ortama ve maruz kaldığı kirletici türüne bağlı olarak farklı anlamlar taşıyabilmektedir [1]–[4]. Bu nedenle su kalitesinin yalnızca dönemsel laboratuvar analizleriyle değil sahada sürekli ölçüm yapabilen, düşük maliyetli ve yorumlanabilir karar çıktısı üretebilen sistemlerle takip edilmesi giderek daha önemli hâle gelmiştir [5]–[7].

Geleneksel su kalitesi analizleri çoğunlukla sahadan numune alınması, numunenin laboratuvara taşınması ve standart kimyasal, biyolojik veya optik yöntemlerle incelenmesi süreçlerine dayanır. Bu yöntemler yüksek doğruluk sağlayabilse de zaman maliyeti, uzman personel ihtiyacı, saha koşullarına anlık tepki verememe ve ölçüm süreksizliği gibi sınırlılıklara sahiptir [1], [5]. Özellikle ani kimyasal sızıntılar, tarımsal yüzey akışı, endüstriyel deşarjlar veya akvaryum/havuz gibi kapalı sistemlerde hızlı değişen su koşulları söz konusu olduğunda, laboratuvar tabanlı yaklaşım erken uyarı ihtiyacını tek başına karşılayamamaktadır. Bu nedenle çevrimiçi su kalitesi izleme sistemleri, erken uyarı ve gerçek zamanlı çevresel karar destek uygulamalarında önemli bir araştırma yönelimi hâline gelmiştir [5], [6], [8].

Son yıllarda Nesnelerin İnterneti (IoT), kablosuz sensör ağları (WSN), düşük güçlü haberleşme protokolleri ve gömülü sistem teknolojilerindeki gelişmeler, su kalitesi izleme süreçlerini laboratuvar merkezli yapıdan saha tabanlı ve sürekli ölçüm yapabilen mimarilere taşımıştır [7], [9]–[12]. Bu kapsamda geliştirilen çalışmalarda genellikle pH, sıcaklık, bulanıklık, iletkenlik, TDS ve çözünmüş oksijen gibi parametreler sensörler aracılığıyla ölçülmekte; elde edilen veriler Wi-Fi, GSM/GPRS, LoRa, ZigBee veya benzeri haberleşme altyapılarıyla sunucuya ya da bulut platformlarına aktarılmaktadır [10], [13]–[16]. Örneğin GPRS tabanlı otomatik su kalitesi izleme sistemleri, çok parametrelili ölçüm cihazlarından alınan verilerin merkezi izleme birimlerine aktarılabilirliğini göstermiştir [13]. Geniş alanlı WSN uygulamalarında ise veri trafiğini azaltmak ve haberleşme güvenilirliğini artırmak amacıyla ortalama alma ve yönlendirme tabanlı veri azaltma yaklaşımları kullanılmıştır [14]. Buna karşın bu sistemlerin önemli bir bölümü, mikrodenetleyici düğümünü çoğunlukla ham veri toplayıcı ve iletici olarak konumlandırmakta; ölçümlerin bağlama duyarlı yorumlanması çoğunlukla merkezi yazılım veya kullanıcı yorumuna bırakılmaktadır.

Literatürdeki IoT tabanlı su kalitesi izleme çalışmalarında iki eğilim dikkat çekmektedir. İlk eğilim, düşük maliyetli mikrodenetleyici tabanlı ölçüm sistemlerinin geliştirilmesidir. Bu gruptaki çalışmalarda Arduino, NodeMCU, ESP8266/ESP32 veya benzeri geliştirme kartlarıyla pH, bulanıklık, sıcaklık, TDS ve iletkenlik gibi temel parametreler izlenmekte; veriler çoğunlukla ThingSpeak, Blynk veya özel sunucu arayüzleriyle kullanıcıya sunulmaktadır [15]–[17]. Bu yaklaşım, düşük maliyet ve uygulanabilirlik açısından değerli olmakla birlikte, çoğu zaman ölçülen parametrelerin tek tek değerlendirilmesiyle sınırlı

kalmakta ve çok parametrelili bir kalite kararının nasıl üretileceği yeterince ele alınmamaktadır. İkinci eğilim ise makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı su kalitesi tahmin modelleridir [18]–[22]. Bu çalışmalar doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilmek açısından güçlüdür; ancak yüksek veri ihtiyacı, model eğitimi, bellek kullanımı, işlem gücü ve enerji tüketimi gibi nedenlerle kaynak kısıtlı mikrodenetleyici tabanlı uç cihazlara doğrudan uygulanmaları her zaman pratik değildir.

Çok sensörlü su kalitesi izleme sistemlerinde yalnızca yazılım tarafı değil, donanım tarafı da kritik sınırlılıklar içermektedir. Aynı sıvı ortamına daldırılan analog sensör problemleri, özellikle iletkenlik, TDS ve ORP gibi elektriksel etkileşim içeren ölçüm kanalları nedeniyle birbirlerinin ölçüm kararlılığını etkileyebilir. pH ve ORP gibi yüksek empedanslı ve hassas elektrokimyasal ölçümlerde küçük girişimlerin bile ölçüm sapmasına yol açabilmesi, çoklu prob entegrasyonunu dikkatli bir analog ön-uç ve ölçüm zamanlaması problemi hâline getirmektedir [5], [6]. Endüstriyel uygulamalarda bu tür girişimleri azaltmak için galvanik izolasyon, ayrı besleme hatları, izole dönüştürücüler veya profesyonel çok parametrelili problemler kullanılabilmektedir. Ancak düşük maliyetli IoT tabanlı prototiplerde bu çözümler sistem maliyetini ve karmaşıklığını artırmaktadır. Bu nedenle güç anahtarlama, zaman bölmeli ölçüm ve yazılımsal filtreleme gibi düşük maliyetli yaklaşımlar, akademik prototipler ve saha uygulanabilirliği açısından anlamlı bir alternatif sunmaktadır.

Su kalitesi kararının üretilmesinde karşılaşılan bir diğer sorun ise deterministik eşik değerlerinin çevresel değişkenlerin sürekli doğasını yeterince temsil edememesidir. Klasik eşik tabanlı sistemlerde bir parametrenin önceden tanımlanmış sınırı çok az aşması, sistemin kararını ani biçimde “uygun” durumdan “uygun değil” durumuna çevirebilmektedir. Oysa su kalitesi parametreleri ölçüm gürültüsü, sıcaklık etkisi, sensör kararlılığı ve kullanım bağlamına bağlı olarak geçiş bölgeleri içerebilir. Bu nedenle bulanık mantık, su kalitesi değerlendirmesinde belirsizliği ve ara durumları temsil etmek için uygun bir yöntem olarak öne çıkmaktadır [19], [20]. Bulanık mantık tabanlı yaklaşımlar, sensör değerlerini keskin sınıflara ayırmak yerine üyelik dereceleriyle ifade ederek daha yumuşak, açıklanabilir ve düşük işlem maliyetli karar modelleri oluşturabilir. Bu özellik, kaynak kısıtlı ESP32 gibi mikrodenetleyiciler üzerinde gerçek zamanlı çalışabilecek karar destek algoritmaları için önemli bir avantajdır.

Su Kalitesi İndeksi (Water Quality Index, WQI), çok sayıda fizikokimyasal parametreyi tek bir boyutsuz kalite göstergesine indirgemek için yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır [2]–[4]. Klasik WQI modellerinde parametrelerin ağırlıklandırılması genellikle belirli standartlara, uzman görüşüne veya çalışma amacına göre yapılmaktadır. Ancak suyun kullanım amacı değiştiğinde aynı parametrenin kalite üzerindeki etkisi de değişebilir. Örneğin TDS veya elektriksel iletkenlik artışı içme suyu için istenmeyen bir durum olarak değerlendirilirken, tarımsal sulama bağlamında belirli sınırlar içinde besin yoğunluğu ile ilişkilendirilebilir. Benzer biçimde ORP değeri havuz suyu dezenfeksiyon takibinde belirleyici olabilirken, kahve demleme suyu için TDS ve pH daha anlamlı parametrelerdir. Bu nedenle tek bir sabit WQI modeli yerine, kullanım profiline göre sensör ağırlıklarını ve üyelik sınırlarını değiştirebilen

bağlama duyarlı bir karar yapısı, çok amaçlı düşük maliyetli su izleme prototipleri için daha uygundur.

Bu çalışmada, yukarıda özetlenen gereksinimler doğrultusunda IoT tabanlı, çok sensörlü ve profil duyarlı bir su kalitesi izleme prototipi geliştirilmiştir. Sistem; pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş katı madde (TDS), çözünmüş oksijen (DO), oksidasyon-indirgeme potansiyeli (ORP), bulanıklık, sıcaklık ve su seviyesi olmak üzere sekiz farklı parametrenin izlenmesine olanak sağlamaktadır. Donanım mimarisi ESP32 mikrodenetleyicisi ve 16-bit çözünürlüğe sahip çift ADS1115 analog-dijital çevirici modülü üzerine kurulmuştur. Analog ölçüm kanallarında oluşabilecek kararsızlıkları ve çapraz girişim etkilerini azaltmak amacıyla zaman bölmeli ölçüm, sensör güç kontrolü ve medyan filtreleme adımlarından yararlanılmıştır. Karar katmanında ise yamuk üyelik fonksiyonlarına dayalı profil tabanlı bir bulanık WQI modeli uygulanmıştır. Böylece sistem, ölçülen ham verileri yalnızca kullanıcıya sunmakla kalmamakta, seçilen kullanım amacına göre 0–100 aralığında yorumlanabilir bir kalite skoru üretmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Genel Sistem Mimarisi

Bu çalışmada geliştirilen prototip, çoklu su kalitesi parametrelerini ölçebilen, ölçülen verileri yerel olarak işleyebilen ve sonuçları IoT arayüzü üzerinden kullanıcıya sunabilen gömülü bir karar destek sistemi olarak tasarlanmıştır. Sistem mimarisi dört ana katmandan oluşmaktadır: sensör katmanı, analog-dijital veri toplama katmanı, gömülü işlem katmanı ve IoT tabanlı kullanıcı arayüzü. Sensör katmanında pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş katı madde (TDS), çözünmüş oksijen (DO), oksidasyon-indirgeme potansiyeli (ORP), bulanıklık, sıcaklık ve su seviyesi parametreleri izlenmektedir. Gömülü işlem katmanında ise ham sensör verileri filtrelenmekte, fiziksel büyüklüklere dönüştürülmekte ve sonraki aşamada profil tabanlı bulanık WQI modeline aktarılmaktadır.

Sistemin genel donanım yapısı Şekil 1’de verilmiştir. Geliştirilen yapı, klasik IoT tabanlı su kalitesi izleme sistemlerinden farklı olarak yalnızca ham veriyi uzaktaki bir platforma iletmeyi değil, ölçüm verilerini uç cihaz üzerinde ön işleme ve karar destek aşamalarından geçirmeyi hedeflemektedir.



Görsel 1. Geliştirilen IoT tabanlı çok sensörlü su kalitesi izleme sisteminin genel mimarisi.

2.2. Donanım Bileşenleri ve ADC Kanal Dağılımı

Geliştirilen prototipin ana kontrol birimi olarak ESP32 mikrodeneleyicisi kullanılmıştır. ESP32, entegre Wi-Fi/Bluetooth bağlantısı, çift çekirdekli işlemci yapısı ve gömülü sistem uygulamalarına uygun düşük maliyetli mimarisi nedeniyle tercih edilmiştir [23]. Elektrokimyasal sensörlerden elde edilen analog çıkışların daha kararlı biçimde sayısallaştırılması amacıyla ESP32'nin dahili ADC birimleri yerine iki adet harici ADS1115 analog-dijital dönüştürücü modülü kullanılmıştır. ADS1115, 16-bit çözünürlük ve programlanabilir kazanç yükselteci içeren düşük güçlü bir ADC'dir [24].

Bu çalışmada ADS1115 modülleri I²C veri yolu üzerinden farklı adreslerle çalıştırılmıştır. Birinci ADC modülü 0x48 adresine, ikinci ADC modülü ise 0x49 adresine atanmıştır. Böylece analog kanallar fiziksel olarak gruplanmış ve sensör bağlantıları daha düzenli hâle getirilmiştir. Kullanılan donanım bileşenleri Çizelge 1'de, ADC kanal dağılımı ise Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Geliştirilen prototipte kullanılan temel donanım bileşenleri.

Bileşen	Görevi	Açıklama
ESP32	Ana kontrol ve kablosuz iletişim	Sensör okuma, ön işleme, WQI hesabı ve Blynk bağlantısı
ADS1115-1	Analog veri toplama	TDS, EC ve DO sensör kanalları
ADS1115-2	Analog veri toplama	Bulanıklık, ORP ve pH sensör kanalları
DS18B20	Sıcaklık ölçümü	Sıcaklık kompanzasyonu için kullanılmıştır
Seviye sensörü	Güvenlik/durum bilgisi	Ölçüm ortamındaki su seviyesini izler
Blynk IoT	Kullanıcı arayüzü	Sensör verileri, WQI skoru ve profil seçimi

Çizelge 2. Sensörlerin ADC kanal dağılımı.

ADC adresi / bağlantı	Kanal	Ölçülen parametre	Birim
ADS1115, 0x48	A1	TDS	ppm
ADS1115, 0x48	A2	EC	µS/cm
ADS1115, 0x48	A3	DO	mg/L
ADS1115, 0x49	A0	Bulanıklık	NTU
ADS1115, 0x49	A1	ORP	mV

ADS1115, 0x49	A2	pH	-
ESP32 dijital giriş	GPIO4	Sıcaklık	°C
ESP32 dijital giriş	GPIO5	Su seviyesi	Yeterli / yetersiz

ADS1115 modülleri yazılımsal olarak GAIN_TWOTHIRDS modunda çalıştırılmıştır. Bu modda ADC'nin tam ölçekli giriş aralığı yaklaşık ± 6.144 V olup teorik LSB değeri Denklem (1) ile hesaplanabilir [24]:

$$V_{LSB} = \frac{FSR}{2^{15}} \quad (1)$$

$$V_{LSB} = \frac{6.144}{32768} \approx 0.1875 \text{ mV} \quad (2)$$

Bu çözünürlük, pH, ORP ve DO gibi düşük genlikli analog çıkışlara sahip sensörlerin mikrodenetleyici ortamında daha kararlı biçimde okunmasına katkı sağlamaktadır.

2.3. Sensör Verilerinin Fiziksel Büyüklüklere Dönüştürülmesi

Analog sensörlerden elde edilen gerilim değerleri, ilgili sensör karakteristiklerine göre fiziksel büyüklüklere dönüştürülmüştür. Sıcaklık değişiminin elektrokimyasal sensörler üzerindeki etkisini azaltmak için bazı parametrelerde sıcaklık kompanzasyonu uygulanmıştır. DS18B20 sıcaklık sensörü, 1-Wire haberleşme protokolüyle ESP32'ye bağlanmış ve anlık su sıcaklığı T olarak ölçülmüştür [25].

TDS hesabında öncelikle sıcaklık kompanzasyon katsayısı uygulanmış ve düzeltilmiş gerilim değeri Denklem (3) ile hesaplanmıştır:

$$V_{TDS,c} = \frac{V_{TDS}}{1+0.02(T-25)} \quad (3)$$

Daha sonra TDS değeri Denklem (4)'te verilen polinom yaklaşımı ile elde edilmiştir:

$$TDS = (133.42V_{TDS,c}^3 - 255.86V_{TDS,c}^2 + 857.39V_{TDS,c}) \times 0.5 \quad (4)$$

Elektriksel iletkenlik ölçümünde sıcaklık etkisi Denklem (5) ile azaltılmıştır:

$$V_{EC,c} = \frac{1000V_{EC}}{1+0.0185(T-25)} \quad (5)$$

Düzeltilmiş $V_{EC,c}$ değeri, sensör üretici eğrisine dayalı parça-parça doğrusal dönüşüm fonksiyonu ile EC değerine dönüştürülmüştür:

$$EC = f_{EC}(V_{EC,c}) \quad (6)$$

pH değeri, pH 7 referans gerilimi ve sensör eğimi dikkate alınarak Denklem (7) ile hesaplanmıştır:

$$pH = 7 - S_{pH}(V_{pH} - V_7) + O_{pH} \quad (7)$$

Burada S_{pH} pH sensörü eğimini, V_7 pH 7 tampon çözeltisine karşılık gelen referans gerilimini, O_{pH} ise kalibrasyon ofsetini göstermektedir.

Bulanıklık değeri, temiz su referans gerilimine göre Denklem (8) ile hesaplanmıştır:

$$Turbidity = \begin{cases} K_T(V_{clear} - V_{turb}), & V_{turb} < V_{clear} \\ 0, & V_{turb} \geq V_{clear} \end{cases} \quad (8)$$

ORP değeri ise sensör çıkış geriliminin mV ölçeğine taşınması ve ofset düzeltmesiyle elde edilmiştir:

$$ORP = 1000V_{ORP} - V_{offset} \quad (9)$$

Çözünmüş oksijen değeri, sıcaklığa bağlı doygunluk tablosu ve kalibrasyon gerilimi kullanılarak Denklem (10) ile hesaplanmıştır:

$$DO = \frac{1000V_{DO} \cdot S(T)}{V_{sat}(T) \cdot 1000} \quad (10)$$

Burada $S(T)$, sıcaklığa bağlı doygun oksijen katsayısını; $V_{sat}(T)$ ise kalibrasyon sıcaklığına göre düzeltilmiş doygunluk gerilimini ifade etmektedir.

2.4. Sıralı Ölçüm Protokolü ve Medyan Filtreleme

Çok sensörlü analog ölçüm sistemlerinde aynı sıvı ortamında bulunan problemler, özellikle iletkenlik ve TDS gibi aktif ölçüm yapan kanallar nedeniyle geçici ölçüm kararsızlıklarına neden olabilir. Bu etkiyi azaltmak amacıyla sensör kanalları aynı anda değil, sıralı bir ölçüm protokolüyle okunmuştur. Böylece her sensör kanalı için ayrı bir örnekleme penceresi oluşturulmuş ve ham veriler karar algoritmasına aktarılmadan önce filtrelenmiştir.

Her analog kanal için $N = 15$ adet ardışık gerilim örneği alınmıştır:

$$\mathbf{v}_i = \{v_{i,1}, v_{i,2}, \dots, v_{i,N}\} \quad (11)$$

Burada $\mathbf{v}_i$, i . sensör kanalından alınan gerilim örnekleri dizisini göstermektedir. Ölçüm sırasında oluşabilecek ani piklerin ve tekil aykırı değerlerin etkisini azaltmak amacıyla aritmetik ortalama yerine medyan tabanlı filtreleme uygulanmıştır. Filtrelenmiş gerilim değeri Denklem (12) ile tanımlanmıştır:

$$\hat{v}_i = median(\mathbf{v}_i) \quad (12)$$

Medyan filtre, tekil yüksek veya düşük genlikli gürültü örneklerine karşı aritmetik ortalamaya göre daha dayanıklı bir yapı sunmaktadır. Su kalitesi verilerinin ön işlenmesi literatürde de

önemli bir aşama olarak ele alınmakta; eksik, hatalı veya gürültülü verilerin karar ya da tahmin modeline aktarılmadan önce temizlenmesi gerektiği vurgulanmaktadır [17]. Bu çalışmada kullanılan medyan tabanlı yaklaşım, sınırlı bellek ve işlem gücüne sahip mikrodenetleyici üzerinde düşük maliyetli bir aykırı değer bastırma yöntemi olarak uygulanmıştır.

2.5. IoT Tabanlı Veri Aktarımı ve Kullanıcı Arayüzü

Ölçülen sensör değerleri, hesaplanan WQI skoru ve kalite durumu Blynk IoT platformu üzerinden kullanıcıya sunulmuştur. ESP32'nin Wi-Fi bağlantısı kullanılarak sensör verileri belirli aralıklarla Blynk sanal pinlerine aktarılmıştır. Aynı arayüz üzerinden kullanıcı, su kullanım profilini seçebilmekte ve sistemin içme suyu, tarımsal sulama, akvaryum, havuz veya kahve demleme suyu bağlamında farklı değerlendirme yapmasını sağlayabilmektedir.

Çizelge 3. Blynk arayüzüne aktarılan temel değişkenler.

Blynk pini	Değişken	Açıklama
V0	pH	pH ölçümü
V1	EC	Elektriksel iletkenlik
V2	TDS	Toplam çözünmüş katı madde
V3	DO	Çözünmüş oksijen
V4	Bulanıklık	NTU cinsinden bulanıklık değeri
V5	ORP	Oksidasyon-indirgeme potansiyeli
V6	Sıcaklık	Su sıcaklığı
V7	Seviye	Su seviyesi durumu
V8	Profil	Kullanım profili seçimi
V9	WQI	Su kalitesi indeksi
V10	Durum	Kalite sınıfı

Bu yapı sayesinde kullanıcı, ham sensör değerlerinin yanında sistem tarafından üretilen boyutsuz WQI skorunu ve yorumlanmış kalite durumunu gerçek zamanlı olarak izleyebilmektedir. Böylece önerilen prototip, yalnızca veri toplayan bir IoT düğümü olmaktan çıkarak yerel ön işleme ve profil tabanlı karar desteği sunan düşük maliyetli bir gömülü sistem yapısına dönüşmektedir.

3. PROFİL TABANLI BULANIK WQI MODELİ

Su kalitesi parametreleri doğası gereği keskin sınırlara sahip değildir. pH, elektriksel iletkenlik, bulanıklık veya çözünmüş oksijen gibi değişkenlerde küçük sınır değişimleri, suyun aniden tamamen uygun ya da tamamen uygunsuz hâle geldiği anlamına gelmez. Bu nedenle yalnızca sabit eşik değerlerine dayalı karar yapıları, çevresel parametrelerin sürekli değişen karakterini temsil etmekte yetersiz kalabilmektedir. Bu çalışmada bu sınırlılığı azaltmak amacıyla, bulanık kümeler teorisine dayalı açıklanabilir ve düşük işlem yüküne sahip bir karar modeli kullanılmıştır [19], [20].

Geliştirilen modelde her sensör çıktısı, seçilen kullanım profiline göre tanımlanan kabul edilebilir ve ideal değer aralıkları dikkate alınarak 0–100 aralığında boyutsuz bir uygunluk puanına dönüştürülmüştür. Böylece sistem, yalnızca ham sensör değerlerini kullanıcıya sunmak yerine, ölçülen suyun seçilen kullanım amacı açısından genel durumunu tek bir Su Kalitesi İndeksi (WQI) skoru ile ifade etmektedir. WQI yaklaşımı, farklı su kalitesi parametrelerini tek bir kalite göstergesine indirgemek için literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır [2], [3].

3.1. Yamuk Bulanık Üyelik Fonksiyonu

Bu çalışmada her bir parametre için yamuk tipli üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Burada x_i , i . sensörden elde edilen ölçüm değerini; a_i ve d_i , ilgili parametre için kabul edilebilir alt ve üst sınırları; b_i ve c_i ise ideal aralığı göstermektedir. Kullanılan sınırlar,

$$a_i \leq b_i \leq c_i \leq d_i \quad (13)$$

koşulunu sağlamaktadır. İlgili sensör için normalize edilmiş üyelik derecesi Denklem (14)'te verilmiştir.

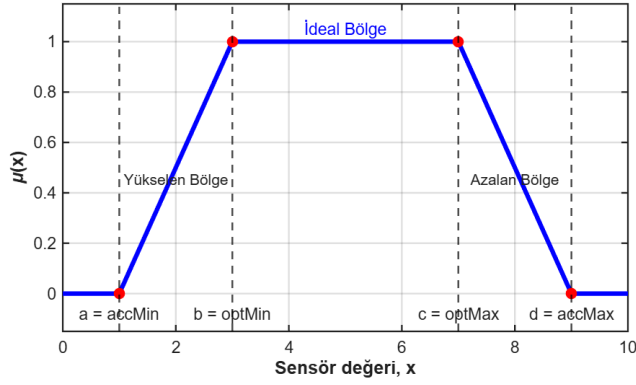
$$\mu_i(x_i) = \begin{cases} 0, & x_i \leq a_i \\ \frac{x_i - a_i}{b_i - a_i}, & a_i < x_i < b_i \\ 1, & b_i \leq x_i \leq c_i \\ \frac{d_i - x_i}{d_i - c_i}, & c_i < x_i < d_i \\ 0, & x_i \geq d_i \end{cases} \quad (14)$$

Burada $\mu_i(x_i)$ değeri 0 ile 1 arasında normalize edilmiş üyelik derecesidir. Gömülü sistemde kullanıcıya daha anlaşılır bir ölçek sunmak amacıyla bu değer 0–100 aralığına dönüştürülmüştür:

$$F_i(x_i) = 100 \mu_i(x_i) \quad (15)$$

$$0 \leq F_i(x_i) \leq 100 \quad (16)$$

Denklem (15)'teki $F_i(x_i)$, ilgili parametrenin seçilen profil açısından uygunluk puanını göstermektedir. $F_i(x_i) = 100$ değeri ideal aralığı, $F_i(x_i) = 0$ değeri ise kabul edilebilir sınırların dışını ifade etmektedir. Kullanılan genel yamuk üyelik fonksiyonu Şekil 2'de verilmiştir.



Görsel 2. Genel yamuk bulanık üyelik fonksiyonu.

Bulanıklık ve TDS gibi düşük değerlerin tercih edildiği parametrelerde $a_i = b_i$ seçilerek sol geçiş bölgesi kaldırılabilir. Benzer şekilde, belirli bir değer üzerindeki ölçümlerin uygun kabul edildiği durumlarda $c_i = d_i$ alınarak sağ geçiş bölgesi devre dışı bırakılabilir. Bu yapı, aynı üyelik fonksiyonunun farklı su kalitesi parametrelerine esnek biçimde uygulanmasına olanak sağlamaktadır.

3.2. Profil Tabanlı WQI Hesaplama

Bu çalışmada su kalitesi, tek bir sabit değerlendirme ölçütüne göre değil, kullanım amacına bağlı olarak yorumlanmıştır. Çünkü aynı parametre farklı kullanım bağlamlarında farklı anlam taşıyabilir. Örneğin belirli bir iletkenlik artışı tarımsal sulama açısından besin/mineral yoğunluğu ile ilişkili olabilirken, içme suyu açısından istenmeyen çözünmüş madde artışı olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle sistemde içme suyu, tarımsal sulama, akvaryum, havuz ve kahve demleme suyu olmak üzere beş farklı kullanım profili tanımlanmıştır.

Seçilen profil p ile gösterildiğinde, profil tabanlı WQI skoru Denklem (17)'deki ağırlıklı toplam modeliyle hesaplanmıştır.

$$WQI^{(p)} = \sum_{i=1}^{n_p} w_i^{(p)} F_i(x_i) \quad (17)$$

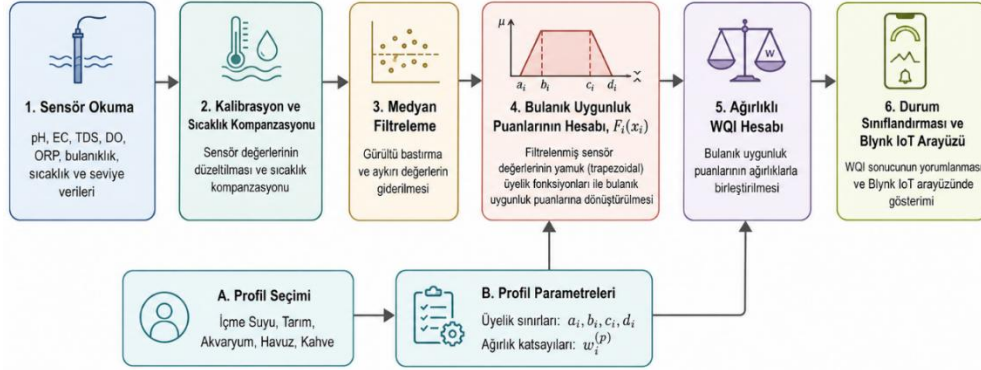
Burada $w_i^{(p)}$, p profili için i . sensörün ağırlık katsayısını; $F_i(x_i)$, ilgili sensörün bulanık uygunluk puanını; n_p ise seçilen profilde kullanılan aktif parametre sayısını ifade etmektedir. Normalize edilmiş bir indeks elde etmek için her profil için ağırlıkların toplamı 1 olacak şekilde belirlenmiştir:

$$\sum_{i=1}^{n_p} w_i^{(p)} = 1 \quad (18)$$

Bu durumda WQI skoru 0 ile 100 arasında boyutsuz bir kalite göstergesi olarak elde edilmektedir:

$$0 \leq WQI^{(p)} \leq 100 \quad (19)$$

Profil tabanlı bulanık WQI hesaplama sürecinin genel akışı Şekil 3'te verilmiştir. Buna göre sensörlerden alınan ham veriler önce kalibrasyon, sıcaklık kompanzasyonu ve medyan filtreleme işlemlerinden geçirilmekte; ardından bulanık üyelik fonksiyonları ile uygunluk puanlarına dönüştürülmektedir. Son aşamada seçilen kullanım profiline ait ağırlık katsayıları kullanılarak WQI skoru hesaplanmakta ve sonuç Blynk IoT arayüzüne aktarılmaktadır.



Görsel 3. Profil tabanlı bulanık WQI hesaplama akış diyagramı.

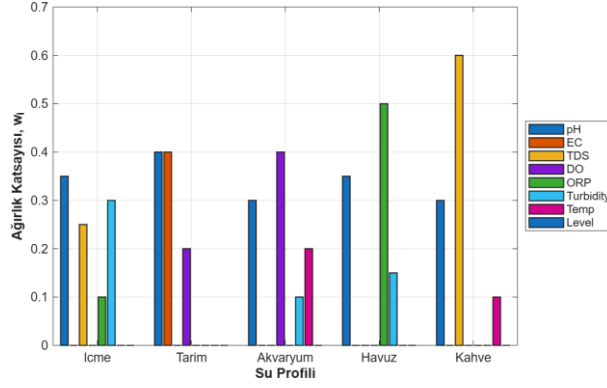
3.3. Kullanım Profillerine Göre Sensör Ağırlıkları

Her kullanım profili için aktif parametreler ve ağırlık katsayıları farklı seçilmiştir. İçme suyu profilinde pH, TDS, bulanıklık ve ORP parametreleri; tarımsal sulama profilinde pH, EC ve DO; akvaryum profilinde DO, pH, sıcaklık ve bulanıklık; havuz profilinde ORP, pH ve bulanıklık; kahve demleme suyu profilinde ise TDS, pH ve sıcaklık dikkate alınmıştır. Kullanılan profil ağırlıkları Çizelge 4'te özetlenmiştir.

Çizelge 4. Kullanım profillerine göre aktif parametreler ve ağırlık katsayıları.

Profil	WQI hesabında kullanılan parametreler ve ağırlıkları
İçme suyu	$0.35F_{pH} + 0.25F_{TDS} + 0.30F_{Bulanıklık} + 0.10F_{ORP}$
Tarımsal sulama	$0.40F_{pH} + 0.40F_{EC} + 0.20F_{DO}$
Akvaryum	$0.40F_{DO} + 0.30F_{pH} + 0.20F_{Sıcaklık} + 0.10F_{Bulanıklık}$
Havuz	$0.50F_{ORP} + 0.35F_{pH} + 0.15F_{Bulanıklık}$
Kahve	$0.60F_{TDS} + 0.30F_{pH} + 0.10F_{Sıcaklık}$

Çizelge 4'te görüldüğü üzere her profilin baskın parametresi farklıdır. İçme suyu profilinde pH ve bulanıklık, tarımsal sulamada pH ve EC, akvaryumda DO, havuzda ORP ve kahve demleme suyu profilinde TDS daha yüksek ağırlığa sahiptir. Bu ağırlıklandırma, sistemin tek bir sabit kalite tanımı yerine kullanım bağlamına göre farklı değerlendirme yapabilmesini sağlamaktadır. Sensör ağırlıklarının profil bazlı dağılımı Şekil 4'te verilmiştir.



Görsel 4. Farklı su profillerine göre sensör ağırlık katsayılarının dağılımı.

3.4. WQI Skorunun Sınıflandırılması

Hesaplanan WQI skoru, son kullanıcıya daha anlaşılır bir karar çıktısı sunmak amacıyla dört kalite sınıfına ayrılmıştır. Bu sınıflandırma Denklem (20)'de verilmiştir.

$$\text{Durum}(WQI) = \begin{cases} \text{İyi / Mükemmel,} & 76 \leq WQI \leq 100 \\ \text{Orta / Kullanılabilir,} & 51 \leq WQI < 76 \\ \text{Kötü / Riskli,} & 26 \leq WQI < 51 \\ \text{Çok Kötü / Tehlikeli,} & 0 \leq WQI < 26 \end{cases} \quad (20)$$

Bu sınıflandırma yapısı, kullanıcının yalnızca ham sensör değerlerini değil, seçilen kullanım profiline göre yorumlanmış bir kalite durumunu da takip etmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte WQI skoru, yasal veya sağlık temelli standartların yerine geçen nihai bir uygunluk kararı olarak değil, gerçek zamanlı ön izleme ve karar destek göstergesi olarak değerlendirilmelidir. Özellikle içme suyu gibi insan sağlığı açısından kritik uygulamalarda WHO ve ilgili ulusal standartlarda tanımlanan sınır değerler ayrıca dikkate alınmalıdır [1].

Önerilen bulanık WQI modeli, karmaşık bir eğitim süreci veya yüksek bellek gereksinimi içermediği için mikrodenetleyici üzerinde gerçek zamanlı çalışmaya uygundur. Bu yönüyle sistem, ham verinin yalnızca buluta aktarıldığı pasif izleme yaklaşımlarına kıyasla, ölçüm verilerini cihaz üzerinde yorumlayabilen daha işlevsel bir yapı sunmaktadır.

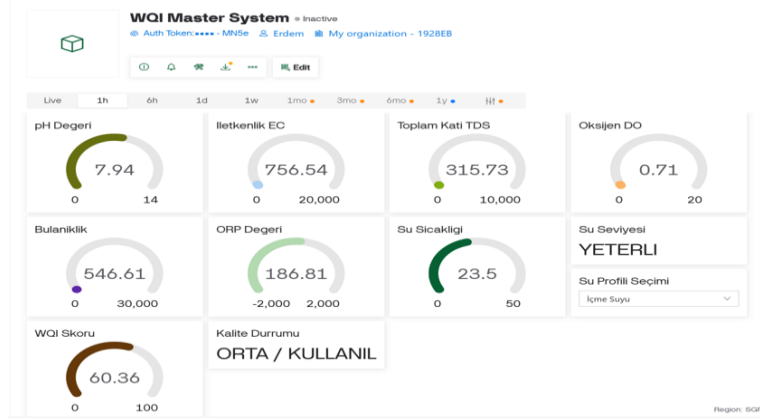
4. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, geliştirilen IoT tabanlı çok sensörlü su kalitesi izleme prototipinin temel ölçüm, ön işleme, profil tabanlı WQI hesaplama ve uzaktan izleme performansı değerlendirilmiştir. Deneysel süreçte pH, EC, TDS, DO, ORP, bulanıklık, sıcaklık ve su seviyesi parametreleri izlenmiş; elde edilen veriler mikrodenetleyici üzerinde filtrelenerek bulanık mantık tabanlı WQI modeline aktarılmıştır. Çalışmanın bu aşamasındaki bulgular, sistemin laboratuvar düzeyinde ön doğrulamasına ve farklı anomali senaryolarına verdiği tepkilere dayanmaktadır.

4.1. Kalibrasyon ve Temel Ölçüm Sonuçları

Prototipin saha testlerinden önce sensörlerin temel kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. pH sensörü için pH 4.0, pH 7.0 ve pH 10.0 tampon çözeltileri; EC ve TDS kanalları için 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve 12.88 mS/cm standart iletkenlik çözeltileri; ORP kanalı için referans ORP çözeltisi; bulanıklık sensörü için ise temiz su referansı kullanılmıştır. Çözünmüş oksijen ölçümünde sıcaklığa bağlı doygunluk değeri dikkate alınmış, sıcaklık bilgisi DS18B20 sensöründen alınarak kompanzasyon aşamasında kullanılmıştır.

Kalibrasyon sonrası sistem, test su numunesi üzerinde test edilmiştir. Bu testte sensörlerden elde edilen değerler Blynk IoT arayüzüne aktarılmış ve seçilen kullanım profiline göre WQI skoru hesaplanmıştır. Şekil 5'te görüldüğü üzere sistem, sensör değerlerini ve WQI sonucunu aynı arayüzde gerçek zamanlı olarak sunabilmektedir. Örnek testte pH değerinin nötre yakın olduğu, EC ve TDS değerlerinin orta seviyede bulunduğu, buna karşılık bulanıklık değerinin yüksek ve DO değerinin düşük olduğu görülmüştür. Bu çok parametrelili durum, sistemin yalnızca tek bir sensör değerine bağlı karar üretmediğini, farklı parametreleri birlikte değerlendirilerek nihai kalite skorunu oluşturduğunu göstermektedir.



Görsel 5. Blynk IoT arayüzünde temel referans ölçüm değerleri ve profil tabanlı WQI çıktısı.

Referans ölçümde içme suyu profili seçildiğinde sistem yaklaşık 60 seviyesinde bir WQI skoru üretmiş ve sonucu “Orta / Kullanılabilir” sınıfında göstermiştir. Bu sonuç, pH ve sıcaklık gibi bazı parametrelerin uygun aralıkta bulunmasına rağmen, yüksek bulanıklık ve düşük çözünmüş oksijen değerlerinin kalite skorunu aşağı çektiğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu çıktı nihai bir içme suyu uygunluk kararı olarak değil, ön izleme ve karar destek göstergesi olarak değerlendirilmelidir.

4.2. Anomali Senaryoları

Geliştirilen sistemin farklı kirlilik değişimlerine verdiği tepkiyi değerlendirmek amacıyla kontrollü anomali senaryoları uygulanmıştır. İlk senaryoda numune suyuna askıda partikül yoğunluğunu artıracak bir müdahale yapılmış ve bulanıklık değerindeki artışın WQI skoruna etkisi incelenmiştir. Bulanıklık değerindeki artış, üyelik fonksiyonu üzerinden kademeli bir uygunluk kaybı oluşturmuş ve WQI skorunun ani bir eşik geçişi yerine daha yumuşak bir düşüş

göstermesini sağlamıştır. Bu davranış, bulanık üyelik fonksiyonlarının katı if-else karar yapılarına kıyasla geçiş bölgelerini daha esnek temsil edebildiğini göstermektedir.

İkinci senaryoda pH değerinde asidik yöne doğru kontrollü bir sapma oluşturulmuştur. pH değerinin ideal aralıktan uzaklaşması, özellikle içme suyu profilinde kalite skorunu belirgin biçimde düşürmüştür. Bu sonuç, pH parametresinin ilgili profil için yüksek ağırlığa sahip olması nedeniyle WQI üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir.

Üçüncü senaryoda ise tarımsal drenaj/gübre sızıntısı benzeri çok değişkenli bir kirlilik durumu oluşturulmuştur. Bu senaryoda EC ve TDS değerlerinde artış, pH değerinde ise asidik yönde düşüş gözlenmiştir. Sistem, bu değişimleri birlikte değerlendirerek WQI skorunu 38.20 seviyesine düşürmüştür. Denklem (20)’de verilen sınıflandırmaya göre bu değer “Kötü / Riskli” aralığına karşılık gelmektedir. Bu sonuç, modelin tek bir parametreye dayalı uyarı üretmek yerine, birden fazla parametredeki eş zamanlı değişimi bütüncül olarak değerlendirebildiğini göstermektedir.

4.3. Sıcaklık Kompanzasyonu ve Kararlılık Değerlendirmesi

Elektrokimyasal sensörlerin çıkışları sıcaklık değişimlerinden etkilenebildiği için sistemde sıcaklık kompanzasyonu uygulanmıştır. Bu amaçla temiz referans su numunesinin sıcaklığı yaklaşık 23.94 °C’den 45.00 °C’ye kadar artırılmış ve sıcaklık değişiminin EC, TDS, DO ve WQI çıktısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kompanzasyon sonrasında normalize edilmiş EC ve TDS değerlerinde oluşan dalgalanmanın yaklaşık %1.2 sınırında kaldığı gözlenmiştir.

Bu bulgu, sıcaklık bilgisinin dönüşüm denklemlerine dâhil edilmesinin, özellikle değişken ortam koşullarında yanlış pozitif uyarı üretme eğilimini azaltabileceğini göstermektedir. Ancak bu sonucun daha güçlü biçimde doğrulanabilmesi için ilerleyen çalışmalarda farklı sıcaklık noktalarında tekrarlı ölçümler ve referans cihaz karşılaştırmaları yapılmalıdır.

4.4. Tepki Süresi ve Uçta Hesaplama Performansı

Sistemin gerçek zamanlı izleme uygulamalarına uygunluğunu değerlendirmek için veri toplama, ön işleme ve WQI hesaplama süreleri incelenmiştir. Ardışık sensör okuma, her kanal için 15 örnek alınması ve medyan filtreleme işlemleri toplamda yaklaşık 320 ms sürmüştür. Filtrelenen verilerin bulanık üyelik fonksiyonlarına aktarılması ve profil tabanlı WQI skorunun hesaplanması ise yaklaşık 42 ms olarak ölçülmüştür. Böylece ölçümden WQI çıktısına kadar geçen toplam süre yaklaşık 362 ms olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5. Prototipe ait temel deneysel bulguların özeti.

Test / Senaryo	Değerlendirilen özellik	Elde edilen bulgu
Sensör kalibrasyonu	pH, EC/TDS, ORP, DO ve bulanıklık	Standart çözeltiler ve temiz su referansı ile temel kalibrasyon yapılmıştır
Referans ölçüm	Çoklu sensör okuma ve Blynk aktarımı	Sensör değerleri ve WQI skoru arayüzde gerçek zamanlı görüntülenmiştir

Temel WQI testi	İçme suyu profili	WQI yaklaşık 60 seviyesinde, “Orta / Kullanılabilir” aralığında hesaplanmıştır
Çok değişkenli anomali	EC/TDS artışı ve pH düşüşü	WQI skoru 38.20 seviyesine düşmüştür
Sıcaklık testi	23.94–45.00 °C aralığı	Kompanzasyon sonrası dalgalanma yaklaşık %1.2 seviyesinde kalmıştır
Tepki süresi	Ölçüm + filtreleme + WQI hesabı	Toplam karar süresi yaklaşık 362 ms olarak elde edilmiştir

Elde edilen süreler, önerilen bulanık WQI modelinin ESP32 üzerinde düşük işlem yüküyle çalışabildiğini göstermektedir. Bu yönüyle sistem, ham veriyi yalnızca buluta aktaran pasif IoT yaklaşımlarından ayrılarak, ölçüm verilerini cihaz üzerinde işleyen ve kullanıcıya yorumlanmış bir kalite çıktısı sunan bir uçta karar destek yapısı ortaya koymaktadır.

4.5. Genel Değerlendirme

Deneyisel bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, geliştirilen prototipin çoklu su kalitesi parametrelerini okuyabildiği, sensör verilerini mikrodenetleyici üzerinde ön işleme tabi tutabildiği ve profil tabanlı bulanık WQI skorunu gerçek zamanlı olarak hesaplayabildiği görülmektedir. Medyan filtreleme yaklaşımı, ani ölçüm piklerinin karar mekanizmasına doğrudan yansımaları azaltmış; sıcaklık kompanzasyonu ise sıcaklık kaynaklı ölçüm sapmalarının sınırlandırılmasına katkı sağlamıştır. Blynk IoT arayüzü ise hem uzaktan izleme hem de kullanım profili değiştirme açısından işlevsel bir kullanıcı katmanı sunmuştur.

Bu sonuçlar, önerilen prototipin düşük maliyetli IoT tabanlı su kalitesi izleme uygulamaları için uygulanabilir bir gömülü karar destek altyapısı sunabileceğini göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, su kalitesinin gerçek zamanlı izlenmesine yönelik düşük maliyetli, IoT tabanlı ve çok sensörlü bir gömülü sistem prototipi geliştirilmiştir. Önerilen sistem; pH, EC, TDS, DO, ORP, bulanıklık, sıcaklık ve su seviyesi olmak üzere sekiz farklı parametreyi izleyebilmekte ve elde edilen verileri ESP32 mikrodenetleyicisi üzerinde ön işleme tabi tutarak profil tabanlı bulanık WQI skoruna dönüştürebilmektedir. Böylece sistem yalnızca ham sensör verilerini kullanıcıya aktaran pasif bir izleme yapısı olmaktan çıkarılmış, seçilen kullanım amacına göre yorumlanmış bir karar destek çıktısı üretebilen uç bilişim tabanlı bir mimariye dönüştürülmüştür.

Donanım tarafında çift ADS1115 ADC modülü kullanılarak analog sensör çıkışlarının daha kararlı biçimde okunması hedeflenmiştir. Sıralı ölçüm protokolü ve medyan tabanlı filtreleme yaklaşımı, ani ölçüm piklerinin ve kısa süreli kararsızlıkların karar algoritmasına doğrudan yansımaları azaltmıştır. Ayrıca sıcaklık kompanzasyonu, özellikle EC, TDS ve DO gibi sıcaklığa duyarlı parametrelerde daha kararlı sonuçlar elde edilmesine katkı sağlamıştır. Deneyisel bulgular, ölçümden WQI çıktısına kadar geçen toplam sürenin yaklaşık 362 ms

olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, önerilen bulanık WQI modelinin kaynak kısıtlı bir mikrodenetleyici üzerinde gerçek zamanlı çalışmaya uygun olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışmanın karar katmanında kullanılan yamuk üyelik fonksiyonları ve profil tabanlı ağırlıklandırma modeli, su kalitesinin tek bir sabit ölçüte göre değil, kullanım amacına bağlı olarak değerlendirilmesini sağlamıştır. İçme suyu, tarımsal sulama, akvaryum, havuz ve kahve demleme suyu profilleri için farklı parametre ağırlıkları tanımlanmış; böylece aynı ölçüm verisinin farklı kullanım bağlamlarında farklı biçimde yorumlanabilmesi mümkün hâle getirilmiştir. Anomali testlerinde, özellikle EC/TDS artışı ve pH düşüşünün birlikte görüldüğü çok değişkenli senaryoda WQI skorunun 38.20 seviyesine gerilemesi, sistemin birden fazla parametredeki eş zamanlı değişimi bütüncül olarak değerlendirebildiğini göstermiştir.

Gelecek çalışmalarda sistemin güneş enerjisi destekli taşınabilir bir yapıya dönüştürülmesi, veri kayıt altyapısının genişletilmesi, LoRa/NB-IoT gibi uzun menzilli haberleşme seçenekleriyle saha kullanımına uyarlanması ve daha geniş veri setleriyle makine öğrenmesi tabanlı eğilim/anomali tahmin modellerinin eklenmesi planlanmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, geliştirilen prototip düşük maliyetli, açıklanabilir ve profil duyarlı bir su kalitesi izleme yaklaşımı sunmakta; çok sensörlü IoT tabanlı çevresel izleme sistemleri için uygulanabilir bir gömülü karar destek altyapısı oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] World Health Organization. *Guidelines for Drinking-Water Quality*, 4th ed. Geneva: WHO Press, 2017.
- [2] Horton, R. K. “An index number system for rating water quality.” *Journal of Water Pollution Control Federation*, 37(3), 300–306, 1965.
- [3] Boyacıoğlu, H. “Development of a water quality index based on a European classification scheme.” *Water SA*, 33(1), 101–106, 2007. <https://doi.org/10.4314/wsa.v33i1.47882>
- [4] Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological indicators*, 122, 107218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>
- [5] Banna, M. H., Imran, S., Francisque, A., Najjaran, H., Sadiq, R., Rodriguez, M., & Hoorfar, M. (2014). Online drinking water quality monitoring: review on available and emerging technologies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(12), 1370-1421. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.781936>
- [6] Dong, J., Wang, G., Yan, H. *et al.* A survey of smart water quality monitoring system. *Environ Sci Pollut Res* 22, 4893–4906 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11356-014-4026-x>

- [7] Olatinwo, S. O. ve Joubert, T.-H. “Energy efficient solutions in wireless sensor systems for water quality monitoring: A review.” *IEEE Sensors Journal*, 19(5), 1596–1625, 2019. doi: 10.1109/JSEN.2018.2882424
- [8] Ullo, S. L., & Sinha, G. R. (2020). Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors. *Sensors*, 20(11), 3113. <https://doi.org/10.3390/s20113113>
- [9] Lalle, Y., Fourati, M., Fourati, L. C., & Barraca, J. P. (2021). Communication technologies for Smart Water Grid applications: Overview, opportunities, and research directions. *Computer Networks*, 190, 107940. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.107940>
- [10] Wei, D., Liu, P., Lu, B. ve Guo, Z. “Water quality automatic monitoring system based on GPRS data communications.” *Procedia Engineering*, 28, 840–843, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.820>
- [11] Chung, W.-Y. ve Yoo, J.-H. “Remote water quality monitoring in wide area.” *Sensors and Actuators B: Chemical*, 217, 51–57, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.01.072>
- [12] Orozco-Lugo, A. G., McLernon, D. C., et al (2022). Monitoring of water quality in a shrimp farm using a FANET. *Internet of Things*, 18, 100170.. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100170>
- [13] Pasika, S., & Gandla, S. T. (2020). Smart water quality monitoring system with cost-effective using IoT. *Heliyon*, 6(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04096>
- [14] Lakshmikantha, V., Hiriyannagowda, A., Manjunath, A., Patted, A., Basavaiah, J., & Anthony, A. A. (2021). IoT based smart water quality monitoring system. *Global Transitions Proceedings*, 2(2), 181-186. <https://doi.org/10.1016/j.gltp.2021.08.062>
- [15] Zainurin, S. N., Wan Ismail, W. Z., Mahamud, S. N. I., Ismail, I., Jamaludin, J., Ariffin, K. N. Z., & Wan Ahmad Kamil, W. M. (2022). Advancements in Monitoring Water Quality Based on Various Sensing Methods: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 14080. <https://doi.org/10.3390/ijerph192114080>
- [16] Jayaraman, P., Nagarajan, K. K., Partheeban, P., & Krishnamurthy, V. (2024). Critical review on water quality analysis using IoT and machine learning models. *International journal of information management data insights*, 4(1), 100210. <https://doi.org/10.1016/j.jjime.2023.100210>
- [17] Liu, J., Yu, C., Hu, Z., Zhao, Y., Bai, Y., Xie, M., & Luo, J. (2020). Accurate prediction scheme of water quality in smart mariculture with deep Bi-S-SRU learning network, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 24784-24798, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2971253

- [18] Sarkar, A. ve Pandey, P. “River water quality modelling using artificial neural network technique.” *Aquatic Procedia*, 4, 1070–1077, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.135>
- [19] Zadeh, L. A. “Fuzzy sets.” *Information and Control*, 8(3), 338–353, 1965.
- [20] Ross, T. J. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, 3rd ed. John Wiley & Sons, 2010. ISBN: 978-1-119-99437-4
- [21] APHA, AWWA ve WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2017. ISBN: 9780875532875
- [22] Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A. ve Tozer, R. G. “A water quality index—Do we dare?” *Water & Sewage Works*, 117(10), 339–343, 1970
- [23] Espressif Systems. *ESP32 Series Datasheet*. Espressif Systems, 2024.
- [24] Texas Instruments. *ADS1113, ADS1114, ADS1115 Ultra-Small, Low-Power, 16-Bit Analog-to-Digital Converters with Internal Reference Datasheet*. Texas Instruments, 2024.
- [25] Analog Devices / Maxim Integrated. *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet*. Analog Devices, 2019.

**A HYBRID AUGMENTED LAGRANGIAN AND FMSG-BASED SOLUTION
APPROACH FOR THE QUADRATIC ASSIGNMENT PROBLEM**

İsmail GÖNÜLVEREN

Hitit University, 230466003@ogrenci.hitit.edu.tr - 0009-0007-9037-4100

Dr. Öğr. Üyesi Erdener ÖZÇETİN

Hitit University, erdenerozcetin@hitit.edu.tr - 0000-0002-6079-3159

ÖZET

The Quadratic Assignment Problem (QAP) is a fundamental NP-hard combinatorial optimization problem with wide-ranging applications in logistics, facility layout, and circuit design. Due to its quadratic objective function and $n!$ solution space, exact methods are computationally prohibitive for medium-to-large scale instances. This study presents a novel hybrid approach, HSG-FMSG-TS, which integrates the Sharp Augmented Lagrangian (SAL) dual framework, the Feasible Value Based Modified Subgradient (FMSG) algorithm, and Robust Tabu Search (Ro-TS). The methodology employs the SAL framework to handle assignment constraints, effectively narrowing the duality gap. Dual variables are updated iteratively via the FMSG algorithm, which adaptively adjusts step sizes based on feasible solution values to accelerate convergence. The inner loop utilizes Robust Tabu Search as the subproblem solver for intensive local search. The method was evaluated against 73 standard QAPLIB instances. Results indicate that HSG-FMSG-TS achieves superior performance compared to pure Tabu Search, reducing the average gap from 2.09% to 1.52%. Notably, it reached optimal solutions for 31 out of 64 problems. This study validates that combining theoretical dual guidance with metaheuristic intensification provides a significant competitive advantage in solving large-scale QAPs.

Key Terms: Quadratic Assignment Problem, Combinatorial Optimization, Hybrid Approach.

**PERDE-ÇERÇEVELİ BETONARME BİR YAPININ ARDIŞIK DEPREM
DAVRANIŞININ DOĞRUSAL OLMAYAN ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ
İLE İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Öğrencisi, CEM PATLAR

Kırıkkale Üniversitesi, cem.ptl@gmail.com - 0009-0004-9642-1957

Doç. Dr., SARUHAN KARTAL

Kırıkkale Üniversitesi, saruhankartal@kku.edu.tr - 0000-0002-1870-3287

ÖZET

Bu çalışmada, 2023 yılında meydana gelen M_w 7.7 Pazarcık ve M_w 6.4 Hatay merkezli ardışık depremlerin, Hatay ili Antakya ilçesindeki 3125 numaralı ivmeölçer istasyonu konumunda yer aldığı kabul edilen, perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip 6 katlı betonarme bir konut yapısının doğrusal olmayan sismik davranışı ile kümülatif hasar süreci üzerindeki etkileri ETABS yazılımı kullanılarak zaman tanım alanında analiz yöntemiyle incelenmiştir. TBDY-2018 esaslarına göre tasarlanan yapının, DD-2 deprem düzeyi (%10 aşılma olasılığı, 475 yıl geri dönüş periyodu) altındaki "Kontrollü Hasar" (KH) performans hedefini karşılama yeterliliği irdelenmiştir. Yapının maruz kaldığı sismik talebi gerçeğe en yakın şekilde temsil edebilmek amacıyla ivme kayıtları herhangi bir ölçeklendirme işlemine tabi tutulmaksızın; söz konusu istasyondan alınan tamamen ham gerçek verilerle modele etkilmiştir. Gerçekleştirilen spektral kıyaslamalar, bu konumda kaydedilen sismik verilerin DD-2 tasarım ivme spektrumu sınırlarını yatay bileşende %233'e, düşey bileşende ise %354'e varan oranlarda aştığını göstermiştir. Doğrusal ötesi dinamik analizler kapsamında uygulanan ardışık sismik yükleme senaryosu; M_w 7.7 ana şoku neticesinde meydana gelen kalıcı yer değiştirmelerin, plastik deformasyon hasarlarının ve kümülatif iç kuvvet matrisinin, bir sonraki dinamik analize kronolojik başlangıç koşulu olarak aktarıldığı kesintisiz bir durum sürekliliği metodolojisiyle yürütülmüştür. Zaman tanım alanındaki ardışık analizler sonucunda, incelenen yapının ilk büyük sarsıntı altında Kontrollü Hasar (KH) sınırına ulaştığı, ikinci sarsıntı neticesinde oluşan kümülatif hasar artışına rağmen hedeflenen Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyini koruduğu tespit edilmiştir. Eleman bazlı sismik hasar dağılımlarının TBDY-2018'de tanımlanan yönetmelik sınırları içinde kaldığı görülmüş; dayanıma göre tasarlanan binanın, söz konusu istasyon konumundaki ardışık aşırı sismik talepler altında başarılı ve güvenli bir yapısal performans sergilediği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 2023 Kahramanmaraş Depremleri, Ardışık Deprem Etkisi, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz, ETABS.

NONLINEAR TIME HISTORY ANALYSIS OF A RC SHEAR WALL-FRAME BUILDING UNDER SEQUENTIAL EARTHQUAKE EFFECTS

ABSTRACT

In this study, the effects of sequential earthquakes centered in Pazarcık ($M_w=7.7$) and Hatay ($M_w=6.4$) that occurred in 2023 on the nonlinear seismic behavior and cumulative damage process of a 6-story reinforced concrete residential building with a shear wall-frame structural system, assumed to be located at the position of the accelerometer station No. 3125 in the Antakya district of Hatay province, were investigated by the time history analysis method using ETABS software. The adequacy of the structure, designed according to the principles of TBDY-2018, to meet the "Controlled Damage" (KH) performance objective under the DD-2 earthquake level (10% probability of exceedance, 475-year return period) was evaluated. In order to represent the seismic demand to which the structure was exposed as close to reality as possible, the acceleration records were applied to the model using completely raw real data obtained from the aforementioned station without being subjected to any scaling process. The spectral comparisons performed showed that the seismic data recorded at this location exceeded the TBDY-2018 DD-2 design acceleration spectrum limits by up to 233% in the horizontal component and 354% in the vertical component. The sequential seismic loading scenario applied within the scope of nonlinear dynamic analyses was carried out with a continuous state-dependency methodology, in which the residual displacements, plastic deformation damages, and the cumulative internal force matrix resulting from the $M_w=7.7$ mainshock were transferred as chronological initial conditions to the next dynamic analysis. As a result of the sequential analyses in the time history domain, it was determined that the investigated structure reached the Controlled Damage (KH) limit under the first major shock, and maintained the targeted Controlled Damage (KH) performance level despite the cumulative damage increase that occurred as a result of the second shock. It was observed that the element-based seismic damage distributions remained within the code limits defined in TBDY-2018; it was concluded that the building designed based on strength exhibited a successful and safe structural performance under the sequential extreme seismic demands at the specified station location.

Keywords: 2023 Kahramanmaraş Earthquakes, Sequential Earthquake Effect, Nonlinear Time History Analysis, ETABS.

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde yürürlükte olan sismik tasarım kodları ile yönetmelikler, genel bir kabul olarak yapıların servis ömürleri boyunca tek bir büyük depreme maruz kalacağı varsayımı üzerine şekillenmiştir. Ancak yakın geçmişte sismik olarak aktif bölgelerde kaydedilen deprem serileri ve saha gözlemleri, bu konvansiyonel kabulün yapısal güvenlik ile can güvenliği hedefleri açısından yetersiz kalabileceğini göstermiştir. Özellikle 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri (M_w 7.7 Pazarcık ve M_w 7.6 Elbistan) ile kronolojik akışta bu ana şokları takip

eden 20 Şubat 2023 Hatay depremi (Mw 6.4), yapıların henüz ilk büyük sarsıntının getirdiği hasarları onaramadan ve yapısal takviye almada ardışık büyük şoklara maruz kalabileceğini acı ve somut bir şekilde kanıtlamıştır. Sismik tasarım literatüründe "ardışık deprem etkisi" olarak tanımlanan bu tür ardışık sismik senaryolar, taşıyıcı sistemler üzerinde doğrusal ötesi kümülatif hasar süreçlerini tetiklemekte ve yapı güvenliğini tehdit etmektedir.

Kümülatif hasar mekanizması doğrultusunda, ilk ana şok dalgaları altında doğrusal ötesi safhaya geçerek akma sınırını aşan veya belirli performans düzeylerinde plastik mafsallara ulaşan betonarme elemanlarda kesit düzeyinde kalıcı hasarlar ve yapısal deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu süreçte kabuk betonunda çatlamaların oluşması veya beton paspayının dökülmesi, donatının kalıcı şekil değiştirmelere maruz kalarak akması ve tekrarlı çevrimsel yükler altında rijitlik ile dayanımda önemli ölçüdeki azalışların ortaya çıkması kaçınılmaz bir sonuçtur. Yapı, sismik olarak yorulmuş, sönüm kapasitesini tüketmiş ve başlangıç rijitliğini büyük oranda kaybetmiş bu ön hasarlı kümülatif iç kuvvet matrisi ile ikinci bir sarsıntıya yakalandığında, sistemin dinamik karakteri, doğal titreşim periyotları ve yanal yük paylaşım kapasitesi ilk tasarım durumuna göre tamamen farklı bir boyut kazanmaktadır.

Mevcut literatürde yer alan ardışık deprem odaklı çalışmaların büyük çoğunluğu incelendiğinde, sismik ivme kayıtlarının analiz kolaylığı sağlaması ya da yönetmelik spektrumlarına uyum yakalaması adına belirli tasarım spektrumlarına göre ölçeklendirildiği yani yapay ivme kayıtlarından yararlanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, yürütülen doğrusal olmayan dinamik analizlerin büyük bir kısmında, düşey deprem bileşeninin hesap yükünü artırması nedeniyle, hesap kolaylığı sağlamak amacıyla bu bileşenin ihmal edildiği saptanmıştır. Bu durum, yapıların tasarım ötesi gerçek sismik talepler ve eş zamanlı düşey ivme şokları altındaki doğrusal ötesi davranışlarının, gerçekçi sınırlarla ve tüm çıplaklığıyla ortaya konulmasını sınırlandırmaktadır.

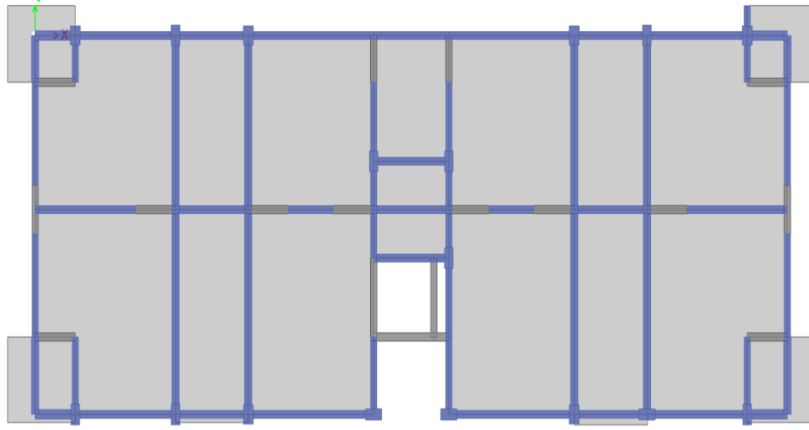
Bu kapsamda, Zümre [6] Malatya'da bulunan 8 katlı betonarme bir işyeri ve konut binasının malzeme dayanımlarını değiştirerek, ardışık depremler altındaki sismik davranışı incelenmiş, analizlerde, yapıya en yakın 4406 numaralı istasyonda kaydedilen ardışık iki deprem (0.4g ve 0.2g) yer hareketi kullanılmış ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem ile performans sonuçları irdelenmiştir. Gökmen [7] Şubat 2023 Kahramanmaraş depremi de olmak üzere, dünyanın farklı bölgelerinde meydana gelmiş olan en etkili ardışık depremlerin betonarme binalar üzerinde ek talepler oluşturabileceğini ve bu durumun kısa vadede yapıların deprem tasarımı ve analizi açısından kesin olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya çıkarmaktadır. Dal [8] 1998 öncesi ve 1998 sonrası tasarlandığı düşünülmüş 2 farklı yapı tipi üzerinde 2023 Kahramanmaraş deprem kayıtları kullanılarak ETABS [2] programında ardışık deprem analizleri yapılmış. Analiz sonucunda, yapısal elemanlarda ve yapısal sistemin bütününde oluşan tepe deplasman değerleri, göreceli kat ötelenmeleri, mafsallarda oluşan dönme/birim şekil değiştirme sonuçları incelenmiştir. Sırlıbaş [9] Farklı kat ve simetri durumlarındaki betonarme binaları Sta4CAD[5] ve ETABS [2] yazılımları ile modelleyerek karşılaştırmış; ETABS'in [2] yüksek katlı ve düzensiz yapılarda daha tutarlı sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. [10] Tayfuroğlu Yıldız ve dikdörtgen plan geometrisinin yapıların deprem davranışları üzerindeki etkisi ETABS [2] matris yazılımında doğrusal olmayan zaman tanım

alanında deprem performans analizleri ile incelenmiş ve yıldız plan geometrisine sahip yapıların deprem davranışlarının dikdörtgen plan geometrisine sahip yapılara göre kötü performans sergilediği sonucuna ulaşılmıştır.

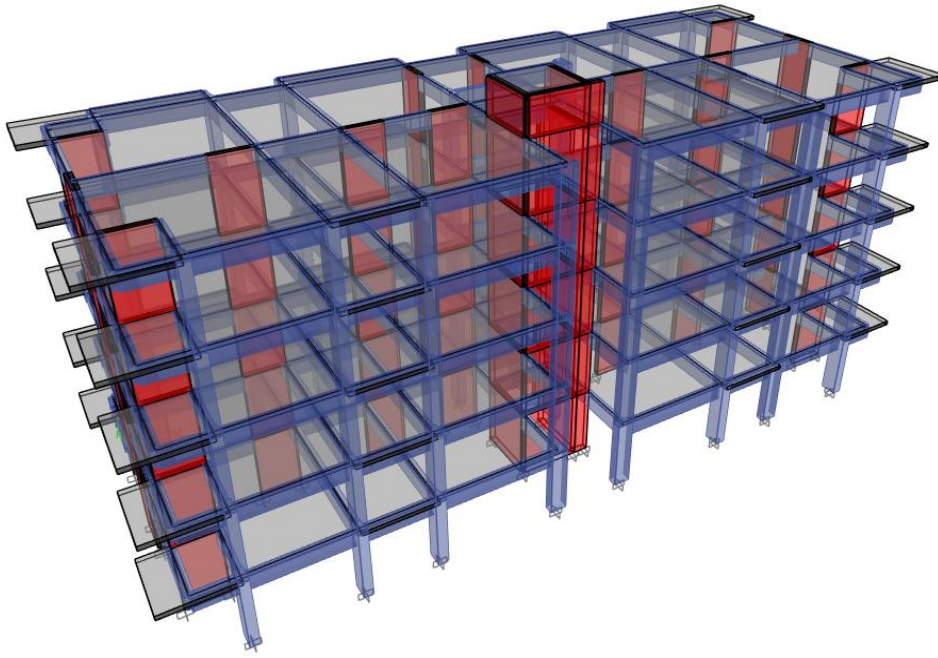
Bu çalışmayı literatürdeki ana akım çalışmalardan ayıran en temel özgün değer; AFAD [3]'a ait Hatay Antakya 3125 numaralı ivmeölçer istasyonundan alınan sismik kayıtların sismik karakteristiğini, frekans içeriğini ve enerji yoğunluğunu korumak adına hiçbir ölçeklendirme, filtreleme veya yapay müdahale işlemine tabi tutulmaksızın tamamen ham ve gerçek verilerle sisteme etkilmesidir. Analizler kapsamında, 6 Şubat Pazarcık (M_w 7.7) ve 20 Şubat Hatay (M_w 6.4) depremleri, iki yatay (E-W, N-S) ve bir düşey (U-D) olmak üzere üç sismik bileşeniyle eş zamanlı olarak, kronolojik sırayla yapısal modele ardışık olarak uygulanmıştır. Gerçekleştirilen spektral kıyaslama analizleri sonucunda, söz konusu istasyon konumunda kaydedilen sismik talebin TBDY-2018 [1] tasarım sınırlarını (DD2 düzeyi) yatay bileşende %233, düşey bileşende ise %354 oranında aştığı saptanmış olup; bu ekstrem tasarım ötesi ardışık sismik yüklemenin, perde-çerçeve betonarme bir konut yapısının kümülatif performansı ve doğrusal ötesi hasar geçmişi üzerindeki etkileri zaman tanım alanında kesintisiz doğrusal olmayan analizler ile doğrudan gözlemlenmiştir.

2. PERDE-ÇERÇEVELİ SİSTEMİN GEOMETRİSİ VE DOĞRUSAL OLMAYAN MATEMATİKSEL MODELLEMESİ

Bu çalışma kapsamında incelenen bina; AFAD [3] 3125 numaralı ivmeölçer istasyonunun coğrafi konumu ve zemin özellikleri esas alınarak projelendirilmiştir. İstasyon lokasyonundaki lokal zemin sınıfı ve sismik tehlike parametreleri altında, gerçek sismik kayıtların yapısal model üzerinde doğrudan ve anlamlı bir şekilde kullanılabilmesi adına, bina TBDY-2018 [1] bünyesindeki dayanıma göre tasarım esaslarına uygun olarak tasarlanmış ve ardından gerçek ardışık deprem senaryolarına tabi tutulmuştur. Plan düzleminde düzenli ve simetrik bir geometriye sahip olan bu yapı, yanal sismik etkilerin ve düşey yüklerin güvenli bir şekilde aktarılmasını sağlayan 6 katlı perde-çerçeve betonarme bir konut sistemidir. Yapının mimari ve statik yerleşimini gösteren tipik kalıp planı ile analizlerde kullanılan üç boyutlu matematiksel sonlu elemanlar modeli Görsel 1'de sunulmuştur. Kat yükseklikleri sabit olup 2.90 m'dir. Bina yüksekliği TBDY-2018[1] 3.3.1.3 maddesinde belirtilen, H_N tanımına göre makine dairesi yüksekliği dikkate alınmamış ve H_N 14.50m olarak belirlenmiştir. Beton için karakteristik silindirik basınç dayanımı $f_{ck} = 30$ MPa, donatı çeliği için ise B420C karakteristik akma dayanımı $f_{yk} = 420$ MPa olarak seçilmiştir.



Görsel 1.(a) Betonarme Yapıya Ait Tipik Kalıp/Kat Planı



Görsel 1.(b) Betonarme Yapıya Ait ETABS 3 Boyutlu Matematiksel Sonlu Elemanlar Modeli

Yapının tasarım ötesi ardışık sismik yükler altındaki doğrusal ötesi kümülatif davranışını ve sınır durumlarını zaman tanım alanında gerçekçi bir şekilde simüle edebilmek amacıyla, ETABS [2] yazılımı bünyesinde gelişmiş doğrusal olmayan modelleme tekniklerinden yararlanılmıştır.

Çerçeve elemanlarını oluşturan kiriş ve kolonların doğrusal ötesi davranışı ve iç kuvvet etkileşimleri, eleman uçlarına atanan yığılı plastiklik modelleri ile temsil edilmiştir. Bu doğrultuda, kiriş uçlarına sadece plastik dönme kabiliyetini esas alan saf eğilme momenti plastik mafsalları tanımlanırken; kolon elemanlarının uçlarına ise dinamik deprem yükleri altında değişken eksenel kuvvet ile çift eksenli moment etkileşimini eş zamanlı olarak hesaba katan, plastik şekil değiştirme esaslı etkileşimli plastik mafsallar atanmıştır. Söz konusu plastik mafsalların doğrusal ötesi kapasite eğrileri, taşıyıcı eleman kesitlerinin sargılı çekirdek ve sargısız kabuk beton geometrileri ile mevcut donatı şemaları dikkate alınarak gerçekleştirilen

moment-eğrilik analizlerine dayandırılmıştır. Malzeme modellerinde beton için Mander sargılı beton modeli, donatı çeliği için ise çift doğrusal (bilinear) elasto-plastik model kullanılmıştır.

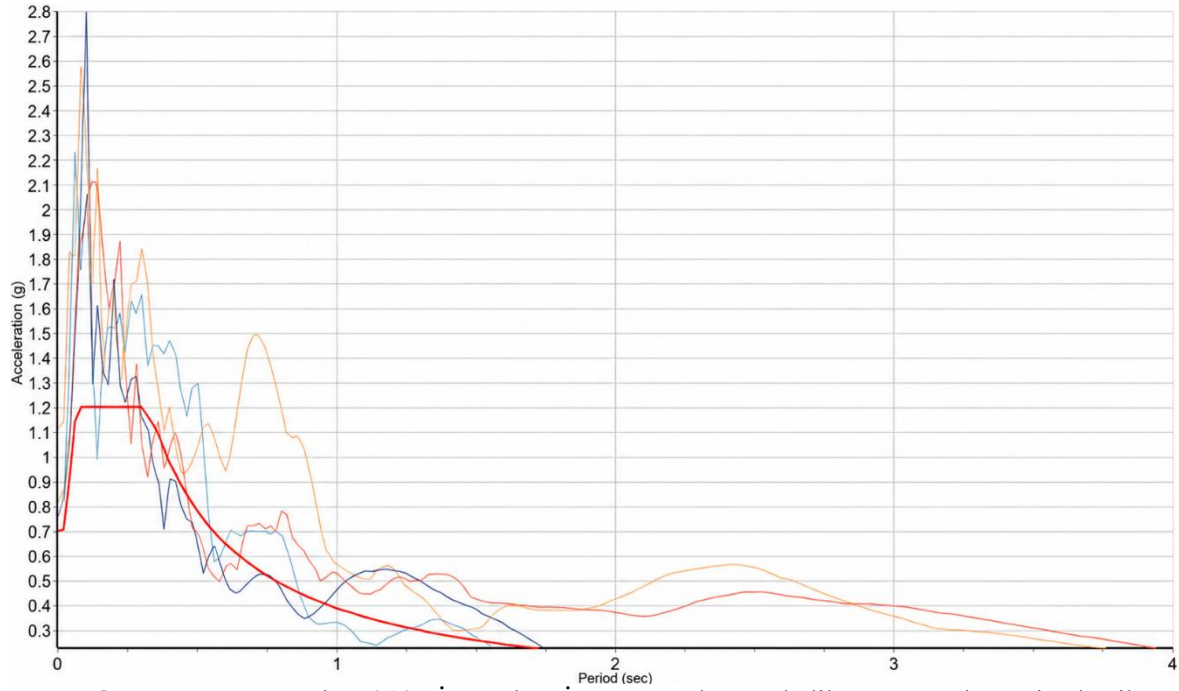
Sistemde yanal rijitliği sağlayan ve sismik yük paylaşımında kritik rol oynayan betonarme perde duvarların doğrusal olmayan eğilme-eksenel yük etkileşimlerini kesit düzeyinde yakalayabilmek adına, ETABS [2] bünyesindeki "Doğrusal Olmayan Lifli Kabuk Model" tercih edilmiştir. Böylece düşey deprem bileşeninin perde duvarlar üzerinde yaratacağı dinamik eksenel kuvvet dalgalanmalarının yanal rijitliğe ve kesme mukavemetine olan anlık etkileri gerçeğe en yakın şekilde modele yansıtılmıştır.

Doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizlerinde yapısal kütle ve rijitlik matrislerine bağlı olarak ortaya çıkan sönüm etkileri, yapının ilk iki doğal titreşim periyodu esas alınarak %5 sönüm oranı kabulüyle Rayleigh sönüm matrisi formülasyonu kullanılarak sisteme dahil edilmiştir. Analiz sonuçlarının yapısal performans açısından değerlendirilmesinde ise TBDY-2018 [1] Bölüm 15 bünyesinde yer alan "Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım" esasları kılavuz edinilmiştir. Eleman bazlı plastik mafsallarda ve liflerde meydana gelen kalıcı birikimli şekil değiştirme ve plastik dönme talepleri, yönetmelikte tanımlanan sınır değerler ile karşılaştırılarak yapısal hasar seviyeleri; Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi (GÖ) performans sınırlarına göre irdelenmiştir.

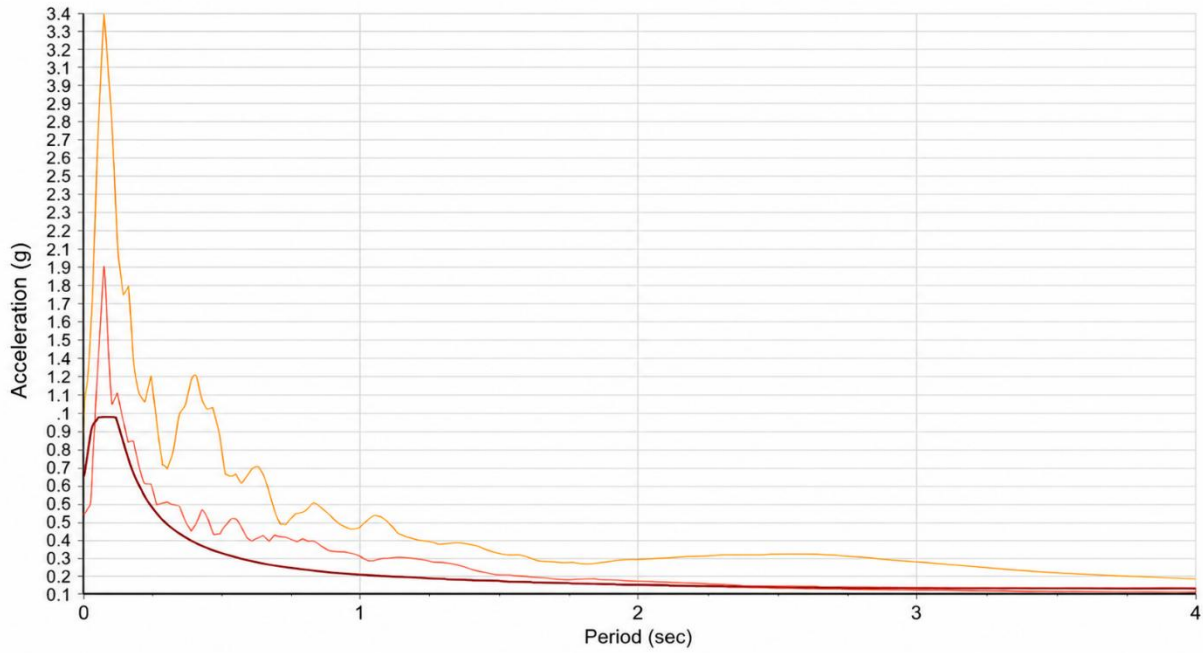
3. PERDE-ÇERÇEVELİ SİSTEMİN GEOMETRİSİ VE DOĞRUSAL OLMAYAN MATEMATİKSEL MODELLEMESİ

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik analizlerde, yapının maruz kalacağı ardışık sismik talep senaryosunu oluşturmak amacıyla 6 Şubat 2023 Pazarcık (Mw 7.7) ana şoku ile kronolojik akışta bu sarsıntıyı takip eden 20 Şubat 2023 Hatay (Mw 6.4) depremi girdi verisi olarak seçilmiştir. Analizlerde kullanılan sismik veriler, depremlerin merkez üssüne ve fay kırılma hattına yakınlığı sismik hasar mekanizmaları açısından büyük önem arz eden AFAD [3] Hatay Antakya 3125 numaralı ivmeölçer istasyonundan ham olarak temin edilmiştir.

Söz konusu istasyonda her iki deprem esnasında kaydedilen sismik talebin büyüklüğünü ve yönetmelik sınırları ile olan uyumsuzluğunu ortaya koymak adına yürütülen spektral kıyaslama analizleri; ham ivme kayıtlarından elde edilen elastik davranış spektrumlarının, TBDY-2018 [1] bünyesindeki tasarım deprem düzeyi (DD-2, %10 aşılma olasılığı, 475 yıl geri dönüş periyodu) tasarım ivme spektrumu ile karşılaştırılması esasına dayanmaktadır. Seismomatch [4] yazılımı ile yapılan spektral analizler sonucunda, ham sismik kayıtlardan türetilen ivme taleplerinin, yürürlükteki tasarım sınırlarını yatay doğrultuda %233, düşey doğrultuda ise %354 gibi ekstrem oranlarda aştığı saptanmıştır. Bu ekstrem tasarım ötesi sismik ivme spektrumlarının (Pazarcık ve Hatay depremleri) TBDY-2018 [1] DD-2 tasarım spektrumu ile olan dinamik karşılaştırma grafikleri Görsel 2’de detaylandırılmıştır.



Görsel 2. (a) Hatay Antakya 3125 İvmeölçer İstasyonunda Kaydedilen Depremlere Ait Elastik Davranış Spektrumlarının TBDY-2018 DD-2 Tasarım Spektrumu ile Karşılaştırılması
6 Şubat 2023 Pazarcık Depremi



Görsel 2.(b) Hatay Antakya 3125 İvmeölçer İstasyonunda Kaydedilen Depremlere Ait Elastik Davranış Spektrumlarının TBDY-2018 DD-2 Tasarım Spektrumu ile Karşılaştırılması
(b) 20 Şubat 2023 Hatay Depremi (Mw 6.4)

Ardışık depremlerin taşıyıcı sistem üzerindeki kümülatif yıpratıcı etkisini gerçeğe en yakın şekilde matematiksel modele yansıtabilmek adına analizler durum sürekliliği (Continue frome State) ilkesi gözetilerek kurgulanmıştır. Bu doğrultuda, sismik senaryolar iki bağımsız yükleme durumu olarak değil, bir önceki yükleme adımının nihai yapısal matrisini girdi kabul eden kesintisiz bir zincirleme doğrusal olmayan analiz dizisi olarak ETABS [2] yazılımı ortamında

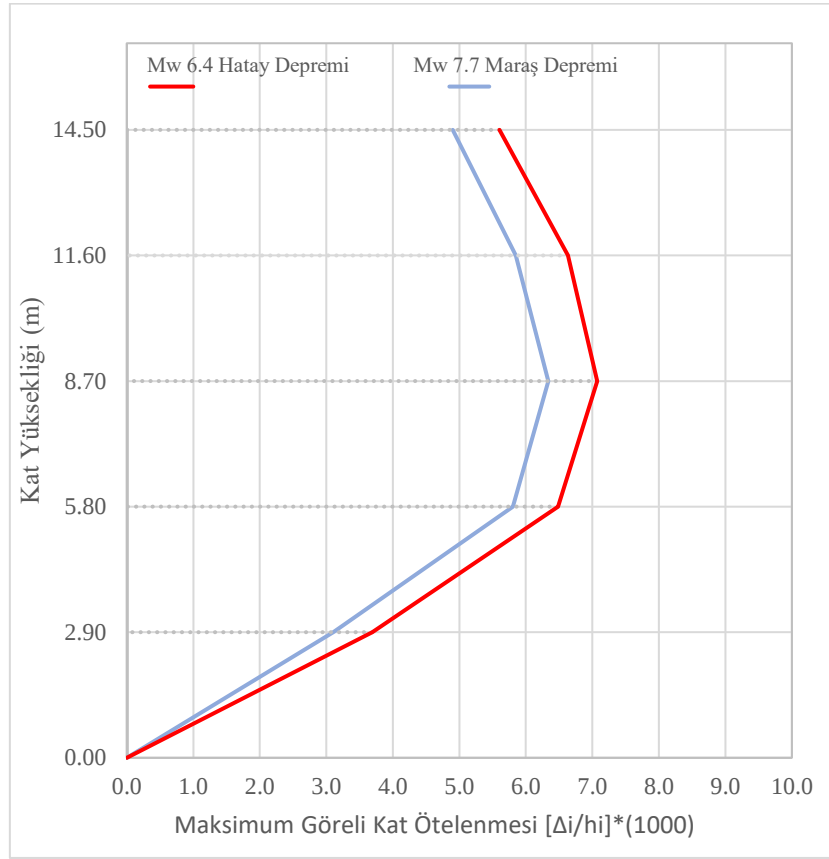
çözölmüştür. Analiz zincirinin ilk adımında, yapısal kütle ve sismik ağırlık kombinasyonunu temsil eden düşey yerçekimi yükleri ($G+0.3Q$), sisteme doğrusal olmayan statik olarak etkitilmiştir. Hemen ardından başlatılan 1. Deprem (Pazarcık) analizi, yerçekimi yüklemesi sonucunda yapıda oluşan ön gerilmeleri ve eleman bazlı başlangıç rijitlik matrisini devralarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik hesap adımlarına başlamıştır. Ana şok niteliğindeki bu ilk sismik analiz evresi tamamlandığında, yapıda meydana gelen tüm kalıcı yer değıştirmeler, betonarme elemanların plastik mafsallarla donatılan kesitlerinde ve liflerinde biriken kümülatif plastik dönme talepleri, doğrusal ötesi kalıcı şekil değıştirmeler ve taşıyıcı sistem iç kuvvet matrisleri eksiksiz olarak korunmuştur. Bu ön hasarlı ve sismik olarak yorulmuş dinamik yapısal durum, ETABS [2] bünyesindeki gelişmiş analiz geçmişı sürekliliği protokolleri kullanılarak doğrudan 2. Deprem (Hatay) yükleme durumunun başlangıç koşulu olarak atanmıştır. Böylece yapı, sönüm kapasitesini kısmen tüketmiş, kabuk betonları dökölmüş, donatıları akma sınırını aşmış ve doğal titreşim periyotları uzamış bir doğrusal ötesi hasar geçmişı ile ikinci sarsıntıya maruz bırakılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

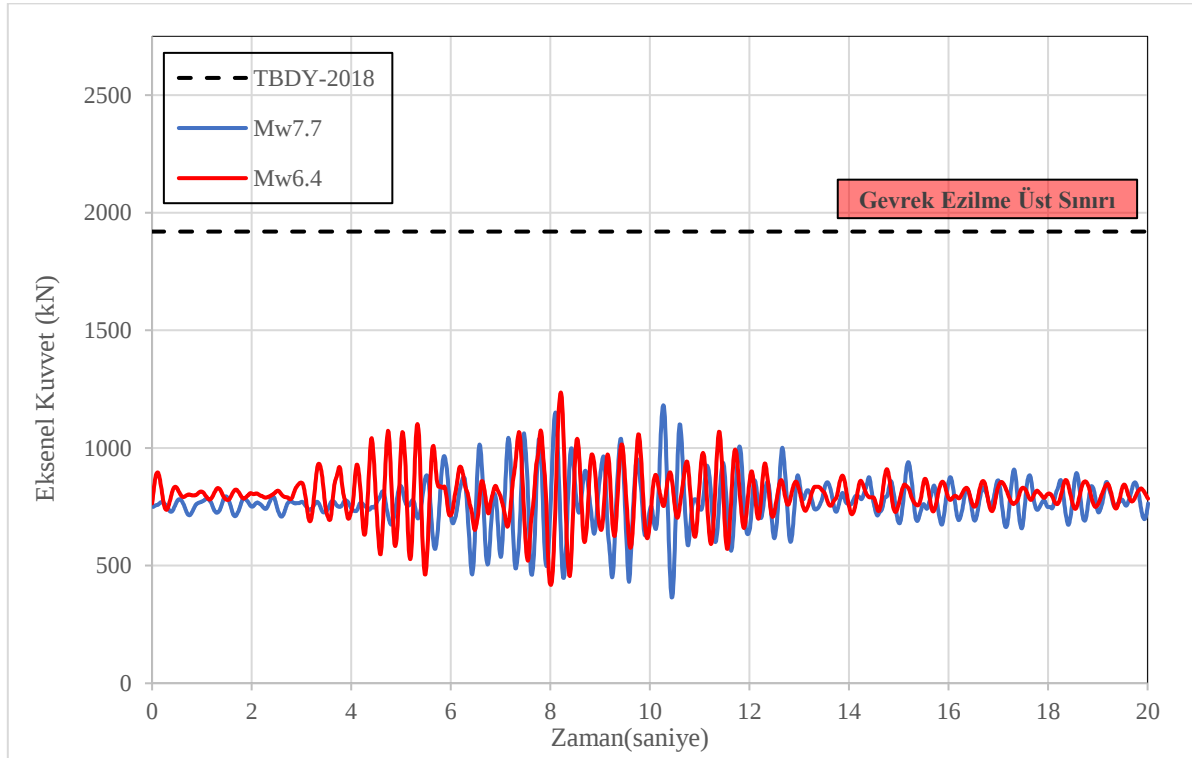
Gerçek ardışık sismik yüklemeler (M_w 7.7 Pazarcık ve M_w 6.4 Hatay) altında perde-çerçevesel betonarme konut yapısının sergilediğı doğrusal olmayan zaman tanım alanı analiz sonuçları; görelî ötelenmeler ve eleman bazlı kümülatif hasar kronolojisi ekseninde bütöncöl olarak irdelenmiştir. Yapının maruz kaldığı sismik talepleri, yönetmelik sınırlarını ve kümülatif hasar süreçlerini özetleyen veriler Çizelge 1, Görsel 3 ve Görsel 4'te sunulmuştur.

Çizelge 1. Katlar Boyunca Elemanların Hasar Dağılımı

Kat No	Eleman	Hasar Seviyesi	1. Deprem Sonu (Pazarcık)	2. Deprem Sonu (Hatay)	Artış Oranı
4. Kat	Kiriş Kolon	SH / KH / GÖ SH / KH / GÖ	[49] / [9] / [9] [26] / [6] / [0]	[29] / [29] / [9] [20] / [12] / [0]	% + [40.82] % + [23.08]
3. Kat	Kiriş Kolon	SH / KH / GÖ SH / KH / GÖ	[39] / [18] / [9] [30] / [2] / [0]	[20] / [37] / [9] [17] / [15] / [0]	% + [48.72] % + [43.33]
2. Kat	Kiriş Kolon	SH / KH / GÖ SH / KH / GÖ	[34] / [24] / [9] [31] / [1] / [0]	[16] / [42] / [9] [13] / [19] / [0]	% + [52.94] % + [58.06]
1. Kat	Kiriş Kolon	SH / KH / GÖ SH / KH / GÖ	[34] / [24] / [9] [31] / [1] / [0]	[17] / [41] / [9] [14] / [18] / [0]	% + [50.00] % + [54.84]
Zemin Kat	Kiriş Kolon	SH / KH / GÖ SH / KH / GÖ	[40] / [19] / [2] [30] / [2] / [0]	[27] / [32] / [2] [15] / [17] / [0]	% + [32.50] % + [50.00]



Görsel 3. Ardişık Deprem Senaryoları Altında Katlar Boyunca Maksimum Göreli Kat Ötelenmesi Dağılımı



Görsel 4. Zemin Kat Kritik S106 Kolonu Dinamik Eksenel Yük Dalgalanması

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik analiz çıktıları incelendiğinde; referans yapının, tasarım spektrumu sınırlarını yatay ve düşey doğrultuda ekstrem düzeylerde aşan olağan dışı bir sismik talebe maruz kalmasına rağmen, kümülatif hasar sürecini kararlı ve küresel toptan göçmeyi engelleyen bir mekanizmayla yönettiği görülmüştür. Analizin ilk evresini oluşturan 6 Şubat 2023 Pazarcık (Mw 7.7) ana şoku neticesinde, sismik enerji sönmüleme kapasitesinin bir gereği olarak yapının özellikle alt ve orta kat girişlerinde yaygın plastik mafsallaşmalar meydana gelmiştir. Buna karşın, yapının ana düşey taşıyıcı elemanları olan kolon ve perde duvarlar büyük oranda Kontrollü Hasar (KH) güvenlik sınırları içerisinde kalmış ve sistem ilk sarsıntı tamamlandığında hedeflenen sismik performans seviyesini karşılamıştır.

ETABS [2] bünyesinde uygulanan kesintisiz durum sürekliliği metodolojisiyle bu ön hasarlı ve rijitliği azalmış yapısal matris üzerine kronolojik sırayla etkitilen 20 Şubat 2023 Hatay depremi (Mw 6.4), binanın maksimum yanal tepe deplasman taleplerini kümülatif olarak %14.31 mertebesinde artırmıştır. Bu durum, taşıyıcı elemanlardaki plastik şekil değiştirme birikimini büyütmesinin yanı sıra, bölme duvarlar ve cephe elemanları gibi yapısal olmayan bileşenlerdeki hasar riskini ve ikinci sarsıntı altındaki P-Δ (ikinci mertebe) etkilerini tetiklemiştir.

Görsel 4'de sunulan dinamik eksenel kuvvet zaman serisi grafiği analiz edildiğinde, düşey deprem bileşeninin düşey taşıyıcı elemanların iç kuvvet dağılımları üzerindeki yıpratıcı etkisi açıkça görülmektedir. Düşey ivmenin yarattığı anlık eksenel basınç şokları, zemin kat kritik kolon yüklerini ani bir çevrimsel yüklemeye N_{max} (1236.10 kN) pik değerine ulaştırarak TBDY-2018 [1]'de tanımlanan süneklik düzeyi yüksek kolonların eksenel yük üst sınır şartı olarak tanımlanan $0.40A_c f_{ck}$ sınır değerini zorlamıştır. Bu olumsuz eksenel yük dalgalanmalarına karşın, perde duvarların doğrusal olmayan lifli (fiber) modellemesinden elde edilen sonuçlar, yüksek yanal rijitliğe sahip perde elemanlarının kesme hasarlarını kendi bünyesinde sınırladığını ve plastikleşmeyi eğilme liflerinde (sünek bölgede) tuttuğunu ortaya koymuştur. Perde duvarlar, çerçeve elemanları ile eş zamanlı çalışarak alt katlarda tehlikeli bir hasar yığılmasını önlemiş ve sismik mühendislikte istenmeyen yumuşak kat veya ani kat göçmesi mekanizmalarının oluşmasını engellemiştir.

Sonuç olarak, ölçeklendirilmemiş ham veriler ve şiddetli düşey deprem bileşeni altında gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizler; ardışık depremlerin yarattığı kümülatif hasar ve deplasman artışlarına rağmen, binanın ikinci deprem sonunda da "Kontrollü Hasar" (KH) küresel performans hedefini koruduğunu kanıtlamıştır. Yapı, ardışık aşırı sismik talepler altında toptan göçme kararsızlığı sergilemeyerek, TBDY-2018 [1] bünyesindeki dayanıma göre tasarım felsefesinin ve perde-çerçeve sistem seçiminin yapısal güvenliği sağlamadaki başarısını ortaya koymuştur.

5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, projelendirildiği ivmeölçer istasyonu lokasyonundaki lokal zemin ve sismik tehlike parametreleri esas alınarak TBDY-2018 [1] dayanıma göre tasarım ilkelerine göre tasarlanan 6 katlı perde-çerçeve betonarme bir konut yapısının, ardışık tasarım ötesi

gerçek sismik yükler altındaki doğrusal olmayan kümülatif davranışı incelenmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- AFAD [3] Hatay Antakya 3125 numaralı istasyonda kaydedilen gerçek sismik ivme kayıtlarının, TBDY-2018 [1] standart deprem düzeyi (DD2) tasarım spektrumu ivme taleplerini yatay bileşende %233, düşey bileşende ise %354 gibi sıra dışı oranlarda aştığı spektral analizlerle grafiksel olarak ortaya konmuştur.
- Yapı, projelendirme kriterlerinin çok üzerinde olan bu ekstrem ivme talebine rağmen, ilk ana şok (Pazarcık M_w 7.7) sarsıntısı altında yönetmeliğin can güvenliği ekseninde hedeflediği "Kontrollü Hasar" (KH) performans sınırları içerisinde kalmayı başarmıştır.
- Durum sürekliliği ilkesine göre ön hasarlı ve rijitliği azalmış yapısal matrise kronolojik olarak etkitilen ardışık sismik yükleme (Hatay M_w 6.4) altında, binanın maksimum yanal tepe deplasman talebi %14.31 oranında kümülatif bir artış göstermiştir. Yapı, bu doğrusal ötesi kümülatif hasar birikimine rağmen nihai durumda da "Kontrollü Hasar" (KH) performans düzeyini korumuş ve toptan göçme (collapse) kararsızlığı sergilememiştir.
- Elde edilen tüm bulgular; yönetmeliğe uygun projelendirilen perde-çerçevesel taşıyıcı sistem kombinasyonunun, tasarım ötesi ardışık deprem şokları ve şiddetli düşey ivme bileşenlerinin birleşik etkisi altında dahi plastik hasarı kararlı bir şekilde dağıttığını ortaya koymuştur. Yüksek yanal rijitliğe sahip lifli (fiber) perde modellerinin kesme hasarlarını sınırlandırarak çerçeve elemanları ile eş zamanlı çalışması, alt katlarda tehlikeli hasar yığılmalarını ve ani yumuşak kat göçmelerini engelleyerek can güvenliği hedefini başarıyla sağladığını kanıtlamıştır.

KAYNAKÇA

- [1] TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- [2] ETABS (Version V22.7.0) [Computer Software], Extended Three Dimensional Analysis of Building System, Computer And Structures Inc., Berkeley, California.
- [3] T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara. (<https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>)
- [4] Seismomatch, Earthquake Engineering Software Solutions, Messina, Italy.
- [5] Amasralı, S. Çok Katlı Betonarme Yapıların Üç Boyutlu Analiz ve Tasarımı, Sta4Cad, Ver.14.1, İstanbul
- [6] Zümre E., 2023 Şubat Ardışık Depremlerinde Malatya'da Kısmen Göçen Binanın Göçme Biçiminin İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2025.
- [7] Gökman E., Ardışık Depremler Altında Betonarme Çerçevesel Binaların Duruma Bağlı Deprem Davranışları, Doktora Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2025.

- [8] Dal C., Betonarme Yapıların Ardışık Depremler Altında Sismik Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Gebze Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kocaeli, 2024.
- [9] Sırlıbaş C., Farklı Tipteki Betonarme Yapıların St4CAD ve ETABS Programları İle Çözümlemesi ve Sonuçların Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013
- [10] Tayfuroğlu N., Yıldız Yapı Geometrisinin Perdeli-Çerçeveveli Betonarme Yapısal Sistemlerin Deprem Performanslarına Katkılarının Doğrusal Olmayan Zaman-Tanım Alanında Analiz Yöntemiyle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 2026.

**2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİNDE YIKILAN BETONARME BİR
BİNANIN GÖÇME NEDENLERİNİN ANALİZİ VE OPTİMUM GÜÇLENDİRME
PERDESİ ORANININ PARAMETRİK OLARAK BELİRLENMESİ**

Yüksek Lisans Öğrencisi, MUSTAFA ALPER ÖZÇAM

Kırıkkale Üniversitesi, alperozcam@hotmail.com - 0009-0009-5623-9567

Doç. Dr., SARUHAN KARTAL

Kırıkkale Üniversitesi, saruhankartal@kku.edu.tr - 0000-0002-1870-3287

Prof. Dr., İLKER KALKAN

Kırıkkale Üniversitesi, ilkerkalkan@kku.edu.tr - 0000-0002-5987-631X

ÖZET

Bu çalışmada, 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremlerde Adıyaman ilinde yıkılan betonarme bir yapının göçme nedenleri teknik yönleriyle incelenmiş; ardından yapının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) standartlarına uygun olarak güçlendirilmesi amacıyla parametrik bir optimizasyon çalışması yürütülmüştür. Özgün statik projesinde bodrum ve zemin kata ilave olarak 4 normal kat (toplam 6 kat) şeklinde kurgulanan yapının, sahada yapılan teknik tespitler neticesinde projeye aykırı biçimde 2 normal kat ve 1 çekme kat daha eklenerek kaçak olarak 9 kata çıkarıldığı belirlenmiştir. Yapısal modelleme süreçlerinde, mevcut durumdaki nervürsüz düz donatı kullanımı, etriye sıklaştırması zafiyetleri, projersiz katların getirdiği kütleli düzensizlikler ve rijit bodrum şartlarının sağlanamaması gibi sismik kusurlar dikkate alınmıştır. Yapının sismik performans değerlendirilmesi, Sta4CAD V14.1 yazılımı kullanılarak Çok Modlu Nonlineer İtme Analizi yöntemiyle, 1975 Afet Yönetmeliği malzeme parametreleri ve 0.75 bilgi düzeyi katsayısı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. DD-2 deprem düzeyinde (475 yıllık tekrarlanma periyodu) mevcut haliyle ağır hasar ve göçme konumunda olan binanın sismik güvenliğini artırmak amacıyla, taşıyıcı sisteme simetrik olarak C30 sınıfı yeni betonarme perde duvarlar eklenmiştir. Güçlendirme senaryoları kapsamında, perde alanlarının taban alanına oranı %0.5, %1.0, %1.5 ve %2.0 olmak üzere dört farklı parametrik varyasyonda test edilmiştir. Yapılan nonlineer analizler sonucunda; %0.5 perde oranının yapının sismik güvenliğini artırmada yetersiz kaldığı ve yapıyı ancak sınır

değer olan "Göçmenin Önlenmesi" (GÖ) performans düzeyine ulaştırabildiği görülmüştür. Buna karşın, %1.0 ve üzerindeki perde oranlarının hedeflenen "Kontrollü Hasar" (KH) performans seviyesini başarıyla yakaladığı tespit edilmiştir. Rijitlik fazlalığı ve ekonomik kriterler birlikte değerlendirildiğinde, hem yapısal sismik talebi optimum düzeyde sönümleyen hem de kesit boyutlandırma verimliliği sağlayan %1.5 oranının en verimli ve optimum güçlendirme stratejisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler : 2023 Kahramanmaraş Depremleri, Çok Modlu Nonlinear İtme Analizi, Perde Duvar ile Güçlendirme, Optimum Güçlendirme Perdesi Oranı.

1. GİRİŞ

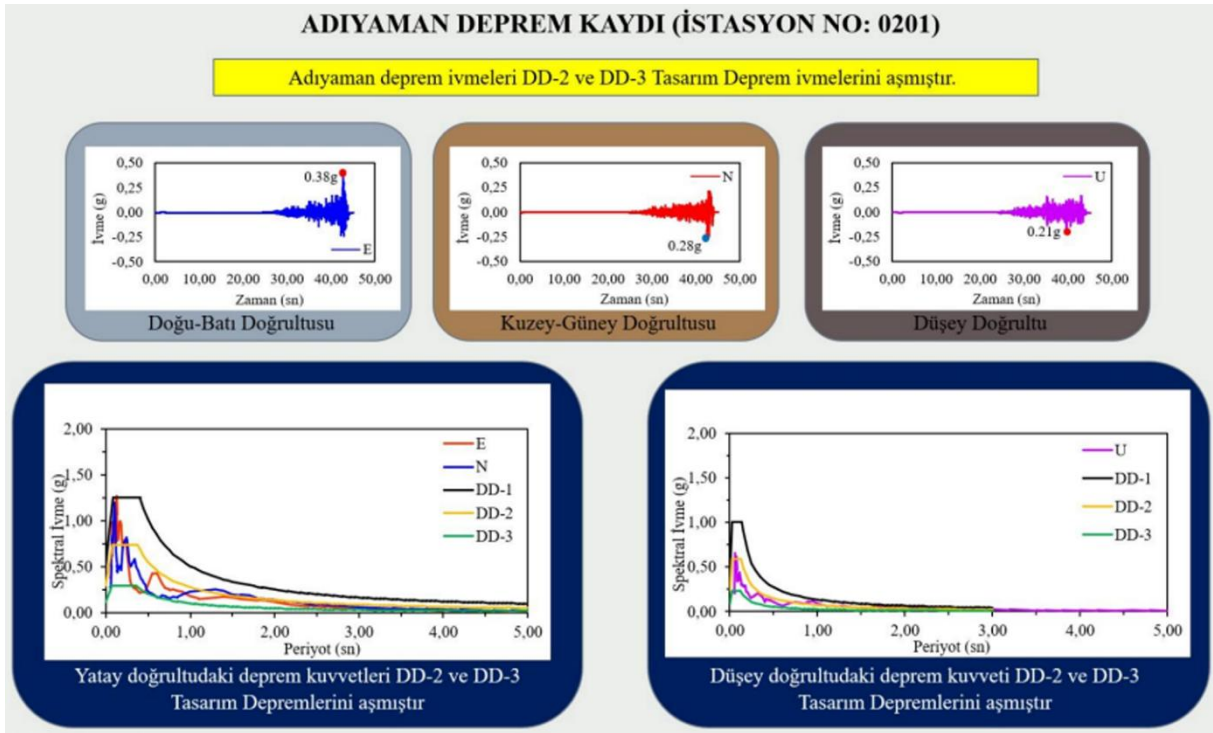
1.1. Problemin Tanımı ve Çalışmanın Önemi

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri (M_w 7.7 ve M_w 7.6), Adıyaman bölgesindeki betonarme yapı stoğu üzerinde tasarlanan sınır değerlerin ötesinde yıkıcı bir sismik ivme talebi oluşturmuştur (Görsel 1). Saha incelemeleri, yıkılan binaların maruz kaldığı sismik enerji sönümleme talebinin, mevcut taşıyıcı sistem kapasitelerinin çok üzerinde olduğunu göstermektedir. Yapı stoğundaki en kritik sismik zafiyetlerden biri olan projesiz ve denetimsiz kat ilaveleri (kaçak katlar), binaların kütle-rijitlik dengesini temelden bozmaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenen Adıyaman ilindeki betonarme bina özelinde yapılan teknik tespitler; onaylı statik projesine aykırı biçimde inşa edilen 3 adet kaçak katın yapının kütlelerini önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur. Bu kontrolsüz kütle artışı, bir yandan kolonlardaki eksenel basınç yükünün artmasına diğer yandan daha büyük deprem kuvvetlerinin meydana gelmesine sebep olmuştur.

Binanın göçmesine zemin hazırlayan yapısal kusurlar incelendiğinde, birbirini tetikleyen bir dizi sismik ve mekanik zafiyet öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra sıra, inşa edildiği dönemin imalat pratikleri ve yürürlükteki 1975 Afet Yönetmeliği koşulları gereği elemanlarda sargılama (etiriye sıklaştırması) eksikliği ve düz donatı kullanımı mevcuttur. Söz konusu malzeme ve detaylandırma kusurları, kaçak katların ürettiği yüksek sismik yükler altında kolon-kiriş düğüm noktalarında ani ve gevrek kesme kırılmalarına yol açmıştır. Sistemin sismik enerji sönümleme kapasitesini düşüren bir diğer kritik faktör ise çevre perdelerinden oluşan bir rijit bodrum kat yapısının oluşturulmamış olmasıdır. Bu eksiklik, sismik etkilerin zemin kattan itibaren

sönümlenmeden doğrudan üst katlara aktarılmasına ve zemin kat seviyesinde aşırı görelî ötelenme meydana gelmesine sebep olmuştur.

Sonuç olarak; denetimsiz kat ilaveleri, binaların deprem güvenliğini tamamen ortadan kaldıran en kritik yapısal kusurdur. Bu durum, sismik güçlendirme projelerinde yalnızca yerel eleman (kolon/kiriş) mantolamasının yeterli olmadığını; yapının tüm kütle eylemsizliğinin yeniden hesaplanarak, sismik enerjiyi sönümleyecek yüksek rijitlik ve sünekliğe sahip betonarme perde duvar sistemlerinin taşıyıcı sisteme entegre edilmesini zorunlu kılmaktadır.



1.2. Literatür Özeti ve Çalışmanın Kapsamı

Mevcut betonarme çerçeve sistemlerin sismik performansını ve yanal rijitliğini artırmak amacıyla uygulanan en efektif yöntemlerden biri yapısal sisteme yeni betonarme perde duvarların eklenmesidir. Güçlendirme süreçlerinde sisteme dahil edilen perdelerin mekanik davranışı; eksenel yük oranı, narinlik, kayma açıklığı oranı ve donatı detaylandırması gibi parametrelere doğrudan bağlıdır [1, 2]. Literatür incelendiğinde; Özcebe ve ark. [3] taşıyıcı sisteme eklenen betonarme dolgu duvarların yapının başlangıç rijitliğini 15 kat, yük taşıma kapasitesini ise 4 kat artırdığını deneysel olarak ortaya koyarken, Kaplan ve ark. [4] bina

tahliyesine gerek bırakmayan dış cephe perde duvar uygulamasının yanal yük kapasitesini yaklaşık 3.25 katına çıkardığını rapor etmiştir. Betonarme perdelerin performansını diğer alternatiflerle kıyaslayan Alashkar ve ark. [5], bu sistemlerin kat ötelenmelerini ve kesit tesirlerini çelik çapraz düzenlemelerine göre çok daha radikal şekilde düşürdüğünü saptamıştır. Perdelerin geometrik parametreleri üzerine çalışan Li ve Li [6] kayma açıklığı oranının artmasıyla göçme modunun gevrek kesme yerine sünek eğilme kırılmasına evrildiğini gösterirken, Khanmohammadi ve Heydari [7] çoklu salınım yapan perde tasarımlarının yüksek mod etkilerini ve yanal kuvvet taleplerini başarıyla sönümlediğini belirlemiştir. Son olarak Mamdouh ve ark. [8] ise üzerlerinde mimari boşluklar bulunan perdelerin sismik takviyesinde, betonarme mantolama yönteminin yanal yük ve başlangıç rijitliği artışında en yüksek performansı sergilediğini vurgulamıştır [9, 10].

Bu bilgiler ışığında yürütülen bu çalışmada; 2023 Kahramanmaraş depremlerinde Adıyaman ilinde yıkılmış olan gerçek bir betonarme yapının göçme nedenleri teknik yönleriyle incelenmiş ve yapının mevcut taşıyıcı sistem performansı Sta4CAD yazılımı kullanılarak doğrusal olmayan yöntemlerle analiz edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, söz konusu binaya zamanında sismik performans analizleri yapılsaydı ve yapı yeni betonarme perdeler eklenerek güçlendirilseydi, hangi perde oranında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) sismik performans hedeflerinin güvenle sağlanabileceğini parametrik olarak araştırmaktır. Gerçek bir saha yıkım vakasındaki kaçak katlar, malzeme yetersizlikleri ve rijit bodrum eksikliği gibi karmaşık kusurları sonlu elemanlar modeline yansıtmasıyla teorik yaklaşımlardan ayrılan bu çalışma; yapısal rijitlik, periyot ve taban kesme kuvveti değişimlerini X ve Y yönleri için ayrı ayrı tanımlanan doğrultusal perde oranları altında test ederek sismik güçlendirme literatürüne yönsel ve parametrik yaklaşımıyla özgün bir katkı sunmaktadır.

2. İNCELENEN YAPININ MÜHENDİSLİK EKSİKLİKLERİ VE YIKILMA NEDENLERİ

2.1. Yapı Kimliği, Kat Rejimi ve Geometrik Parametreler

Adıyaman ili, Merkez ilçesi, Siteler mahallesi, 429 ada ve 76 parselde konumlanan konut yapısı, projelendirme evresinden işletme sürecine kadar uzanan statik uyumsuzluklar sergilemektedir.

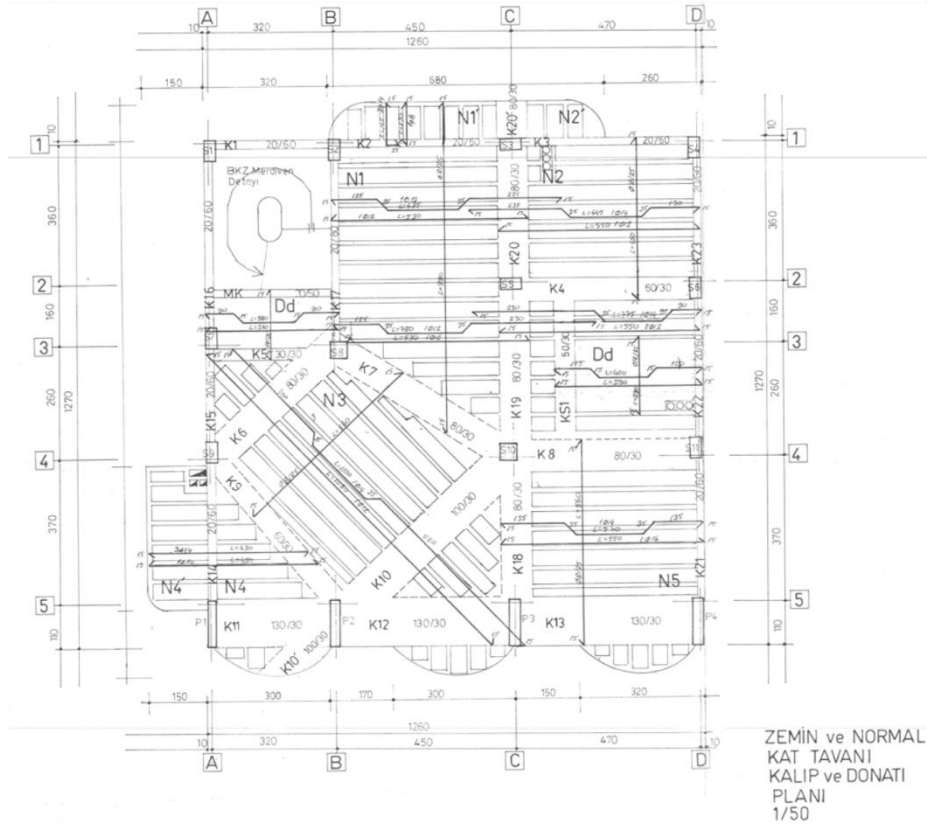
Onaylı projesi ve ruhsat verileri incelendiğinde, 1975 Afet Yönetmeliği esaslarına göre tasarlanan yapının; 1 bodrum, 1 zemin ve 4 normal kat olmak üzere toplam 6 katlı bir taşıyıcı sisteme sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak sahada gerçekleştirilen rölöve çalışmaları, yapının statik projesine aykırı şekilde, denetimsiz olarak 2 adet normal kat ve 1 adet çekme kat ilavesiyle genişletildiğini ortaya koymaktadır. Söz konusu kaçak imalatlar sonucunda yapı, 6 katlık tasarım kapasitesini aşarak toplam 9 katlı (zemin + 8 normal kat) bir kütleye ulaşmıştır (Görsel 2)

Yapı toplam yüksekliğinin projesiz katlar nedeniyle 22.5 metre sınırına ulaştığı bu süreçte, düşey taşıyıcı elemanlar (kolonlar), orijinal tasarımda öngörülen düşey yük kombinasyonlarının çok üzerinde bir eksenel yük seviyesine maruz kalmıştır. Buna ek olarak, ticari işlevsellik kaygılarıyla zemin katın diğer normal katlardan daha yüksek inşa edilmesi, yapıda "yumuşak kat" düzensizliğini tetiklemiştir. Rijit bodrum perdelerinden yoksun olan bu yapısal kurgu, sismik eylemsizlik kuvvetlerinin zemin kat seviyesinde plastik mafsallaşma eğilimi göstermesi, bu katı dinamik etkiler karşısında yapının en kritik kesiti haline getirmiştir.

2.2. Sahada Tespit Edilen Yapı Mühendisliği ve Detaylandırma Kusurları

Yapının deprem sarsıntıları altındaki toptan göçme mekanizması, yalnızca kütle artışı ve kat düzensizlikleriyle sınırlı kalmayıp, birbirini zincirleme olarak tetikleyen malzeme ve detaylandırma zafiyetlerinin de doğrudan bir sonucudur. Sahada gerçekleştirilen incelemelerde, taşıyıcı sistemde yerinde dökülen düşük dayanımlı betonun kullanılması ve donatı işçiliğindeki kronik hatalar, sistemin sismik enerji sönmüleme yeteneğini (sünekliğini) tamamen ortadan kaldırmıştır. Özellikle dönemin imalat pratiklerine paralel olarak nervürsüz düz çelik donatının tercih edilmiş olması, beton ile çelik arasındaki aderans (kenetlenme) mekanizmasının sismik yükler altında hızla çözülmesine ve mukavemet kaybına yol açan donatı sıyrılmasına neden olmuştur.

Bu malzeme yetersizliğine ek olarak, kolon-kiriş düğüm noktalarında ve plastik mafsal bölgelerinde etriye sıklaştırmalarının (sargılama) yapılmamış olması, sismik kesme talepleri karşısında en kritik zayıflığı oluşturmuştur. Ayrıca, etriye kancalarının sismik tasarım esaslarının aksine 135 derece yerine 90 derece bükülmesi, beton çekirdeğinin yanal birim deformasyonunu engelleyememiş ve kancaların aşırı basınç altında kolayca açılmasına sebep olmuştur.



Görsel 2. İncelenen Yapının Orijinal Görseli ve kat planı

3. MEVCUT DURUM SİSMİK PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

3.1. Sta4CAD Yazılımı ile Sayısal Modelleme Kurgusu

Yapının sismik performans analizleri, STA4CAD V14.1 sonlu elemanlar analizi yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen üç boyutlu bilgisayar modeli (Görsel 3) üzerinden yürütülen nonlineer simülasyonlara dayanmaktadır. Modelleme sürecinde, deprem sonrası sahadan elde edilen rölöve verileri esas alınmış ve yapının 9 katlı (Zemin + 8 Normal Kat) fiili geometrisi, kat yükseklikleri ve kesit boyutları yazılıma bütünüyle aktarılmıştır. Mevcut yapı stoğunun sismik kapasitesinin değerlendirilmesinde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Bölüm 15 esasları doğrultusunda "Sınırlı Bilgi Düzeyi" yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yaklaşımın tercih edilmesinde, binanın projersiz inşa edilen kaçak katlarına dair herhangi bir resmi statik verinin bulunmaması ve sahada gözlemlenen imalat kusurlarının (kancasız donatılar, sargılama eksiklikleri vb.) tasarım varsayımlarıyla çelişmesi etkili olmuştur. Bu doğrultuda, yapısal belirsizlikleri güvenli bir yaklaşımla dengelemek adına Bilgi Düzeyi Katsayısı 0.75 olarak belirlenmiş; söz konusu katsayı yerinde ölçülen malzeme dayanımlarına uygulanarak sayısal modelin sahadaki mevcut zafiyetleri gerçeğe en yakın şekilde simüle etmesi sağlanmıştır. Yerinde ölçülen değerler 0.75 kat sayısı ile çarpılarak elde edilen değerler analizlerde kullanılmıştır.

3.2. Çok Modlu Nonlineer İtme Analizi Yöntemi ve Plastik Mafsal Kabulleri

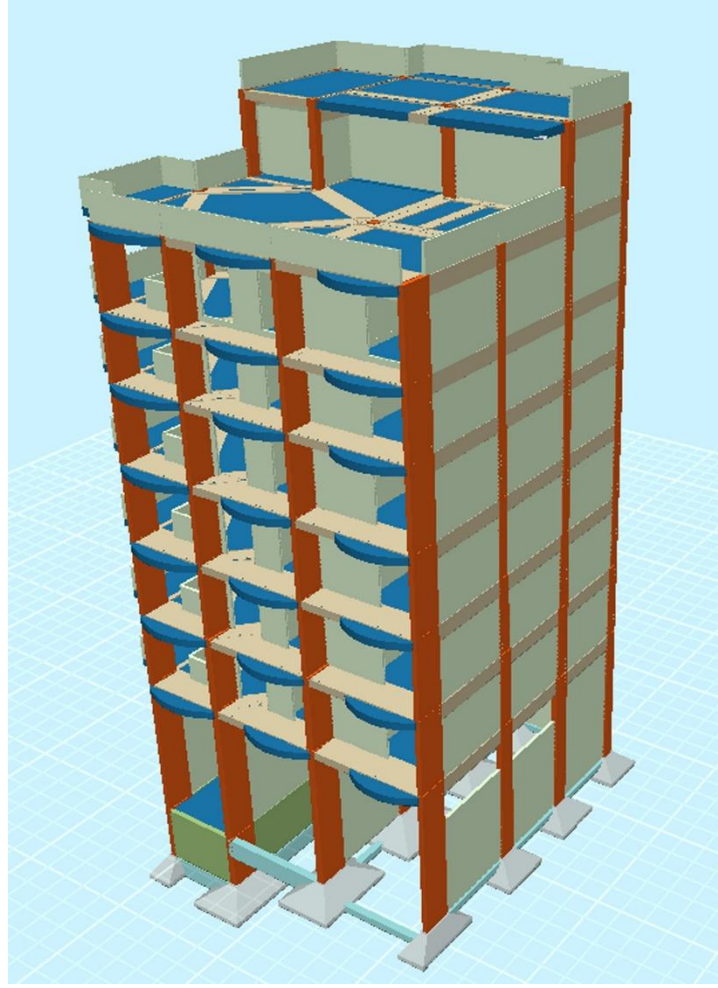
Klasik tek modlu (sabit yük dağılımlı) statik itme analizleri, sadece hakim birinci moda ait yer değiştirme profilini esas aldığından, kat sayısı ve kütlesi kontrolsüz şekilde artan bu tip binalarda üst katlarda ortaya çıkan yüksek mod etkilerini ve dinamik burulma davranışlarını yakalamakta yetersiz kalmaktadır. Yapının sismik talep ve yer değiştirme kapasitesinin, yüksek modların (özellikle ikinci ve üçüncü titreşim modlarının) taşıyıcı sistem üzerindeki kırbaçlama ve kesme kuvveti yığılması etkilerini de içerecek şekilde gerçeğe en yakın düzeyde belirlenmesi amacıyla, hesaplamalarda Çok Modlu Nonlineer İtme Analizi yöntemi tercih edilmiştir.

Yapısal elemanların sismik yükler altındaki inelastik davranışını tanımlamak amacıyla, TBDY-2018 Bölüm 15.4 standartlarına uygun kesit bazlı plastik mafsal modelleri kurgulanmıştır. Kiriş elemanlarında plastikleşmenin salt eğilme etkisi altında gerçekleştiği kabul edilerek kiriş uçlarında "Salt Eğilme (M)" plastik mafsalları tanımlanmış, elemanların kesme kapasiteleri ise moment kapasitelerinden türetilen plastik sınırlar ile çerçevelenmiştir. Kolon elemanlarında ise düşey yüklerin ve çok yönlü deprem etkilerinin yarattığı yüzey içi kuvvet etkileşimlerini gözetmek adına "Eksenel Yük-Moment Etkileşimi (P-M-M)" plastik mafsal modelleri

kullanılmıştır. Bu dinamik model, kolon üzerindeki anlık eksenel kuvvet değişimlerine bağlı olarak moment kapasitesinin anlık değişimini P-M etkileşim diyagramları üzerinden takip etmektedir. Böylece, düz donatı kullanımı ve sargılama yetersizliği gibi kusurlar nedeniyle plastikleşme kapasiteleri moment-vektör plastisite matrisleri üzerinden sınırlandırılan elemanların, DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerindeki göçme limitleri hassasiyetle belirlenmiştir.

3.3. Analiz Çıktıları ve Göçme Konumunun Matematiksel Kanıtı

Çok Modlu Nonlineer İtme Analizi sonuçları, yapının kaçak kat ilaveleri sonrası değişen dinamik karakteristiklerini ve sismik performans zafiyetini matematiksel olarak ortaya koymaktadır. Orijinal 6 katlı proje verileriyle yapılan dinamik analizlerde binanın hakim doğal titreşim periyodu düşük saniye olarak hesaplanırken, 9 kata çıkarılan fiili yapının kütledeki ekstrem artış, hâkim periyodu daha yüksek saniyelere çıkmıştır. TBDY-2018 Bölüm 3 kapsamında tanımlanan DD-2 deprem düzeyi (475 yıllık yinelenme periyodu) altında, yapıdaki düşey kolon elemanlarının %85'i, TBDY-2018 Bölüm 15.7 limitlerinde tanımlanan "Göçme Bölgesi" (GÖ) sınırını aşmıştır. Kolon uçlarında tanımlanan plastik dönme kapasitelerinin hedef yer değiştirmeden çok önce tükenmesiyle elemanlar moment aktarma kabiliyetini kaybetmiştir. Kaçak katların getirdiği ilave eksenel yükler altında P-M-M kapasite zarflarını aşan kolonlarda başlayan ani gevrek kırılmalara neden olmuştur. Yapılan bu analizler, malzeme ve işçilik kalitesi yetersiz olan bu yapının, mevcut 9 katlı kütleyle herhangi bir sismik talebi karşılamasının teorik ve pratik olarak imkânsız olduğunu kanıtlamaktadır.



Görsel 3. Mevcut 9 Katlı Kaçak Yapının Sta4CAD Sonlu Elemanlar Modeli

4. PARAMETRİK PERDE DUVAR İLE GÜÇLENDİRME VE SİSMİK PERFORMANS İNCELEMESİ

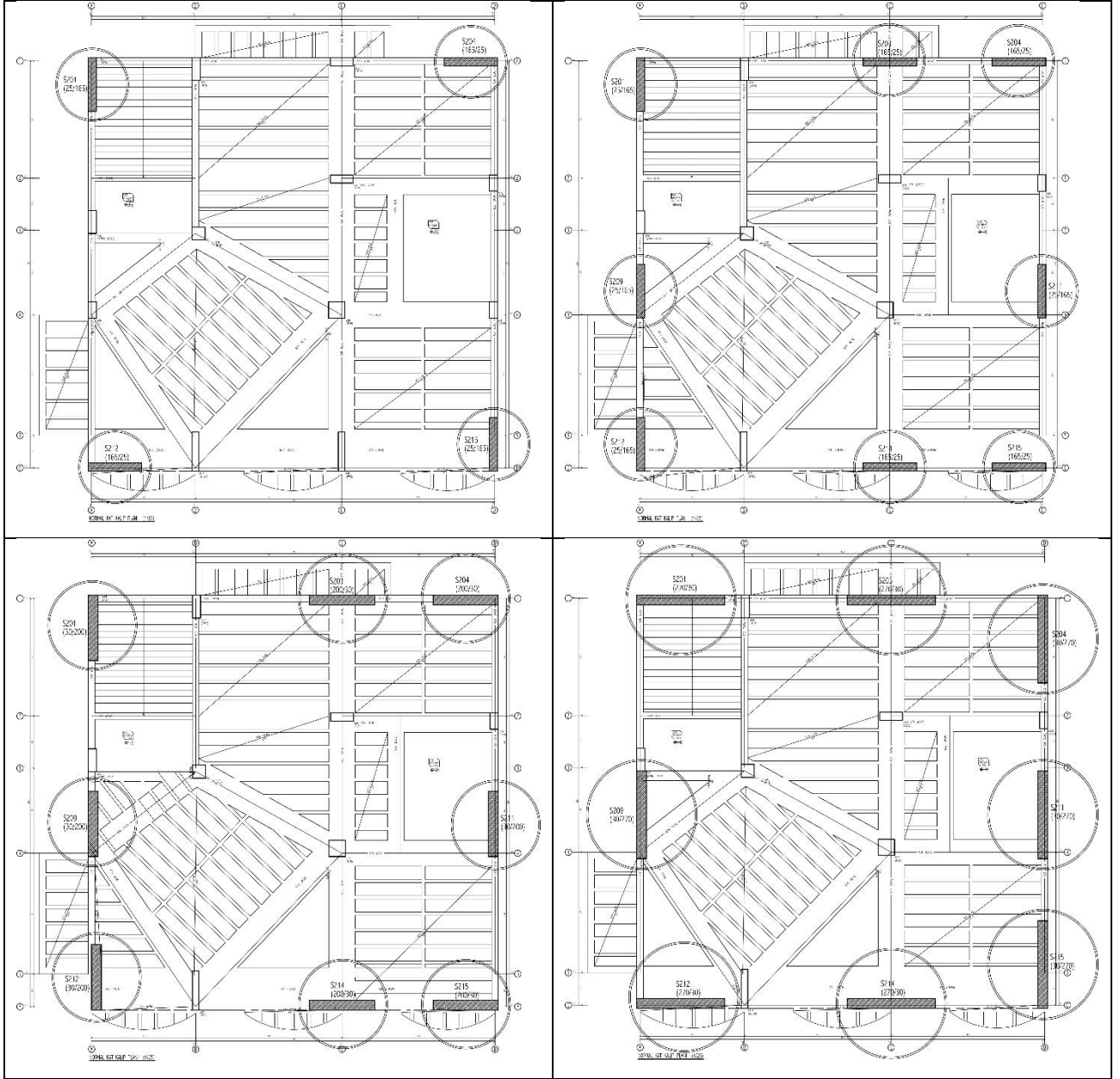
4.1. Güçlendirme Tasarım Felsefesi

Mevcut yapının Bölüm 2 ve 3'te detaylandırılan düşük beton dayanımı, nervürlü düz donatı kullanımı ve sargısız birleşim bölgeleri gibi ağır sismik zafiyetleri göz önüne alındığında, uygulanacak güçlendirme stratejisi sistemin yanal rijitlik açığını kapatmak ve sismik enerjiyi sünek mekanizmalarla sönmölemek üzerine kurgulanmıştır. Bu doğrultuda, mevcut çerçeve sisteme entegre edilecek yüksek dayanımlı C30 sınıfı yeni betonarme perdeler, sismik eylemsizlik kuvvetlerini ve yanal ötelenme taleplerini karşılayacak ana taşıyıcı elemanlar olarak tasarlanmıştır.

Güçlendirme tasarımında yeni betonarme perdelerin yerleşimi, planda burulma düzensizliğini minimize edecek şekilde projelendirilmiştir. Yapıda ek bir dış merkezlik momentinin oluşmasını engellemek, rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki geometrik sapmayı ortadan kaldırmak amacıyla perdeler, X ve Y doğrultularında tam simetrik bir matris düzeninde konumlandırılmıştır. Bu yerleşim stratejisi, sismik taban kesme kuvvetinin yapı genelinde homojen olarak dağılmasını sağlayarak düşey taşıyıcı elemanların görece kat ötelemesi taleplerini dengeli bir şekilde sınırlandırmaktadır.

Yapının sismik performansını iyileştirmede kullanılan perde kesit alanları, depremin ana doğrultuları olan X ve Y eksenleri yani her iki doğrultuda eklenmiştir. Perde enkesit alanlarının toplam kat alanına oranı temel parametre olarak seçilmiş ve bu doğrultuda dört farklı parametrik güçlendirme senaryosu (S1, S2, S3 ve S4) kurgulanmıştır.

Bu çalışma kapsamında, mevcut yapısal sistemin deprem performansını iyileştirmek amacıyla dört farklı güçlendirme senaryosu geliştirilmiştir. Analizlerde temel alınan senaryolar; yapısal perde oranları, sisteme eklenen toplam perde adetleri ve enkesit boyutlandırma parametreleri açısından sistematik olarak çeşitlendirilmiştir. Mevcut durumun "0" referans noktası olarak kabul edildiği çalışmada; Senaryo 1'de %0,50 perde oranına ulaşmak için her bir yönde 2'şer adet olmak üzere toplam 4 adet 25x165 cm boyutlarında perde eklenmiştir. Senaryo 2'de perde oranı %1,0 seviyesine çıkarılmış, bu doğrultuda her bir yöne 4'er adet yerleştirilen toplam 8 adet 25x165 cm enkesitli perde ile rijitlik artırılmıştır. Senaryo 3'te %1,5 perde oranına ulaşmak hedefiyle toplam 8 adet 30x200 cm boyutlarında perde tanımlanmış; Senaryo 4'te ise %2,0 perde oranı ile en yüksek rijitlik değerine ulaşmak amacıyla yine 8 adet 30x270 cm boyutlarında perde eklemesi yapılarak tasarım optimize edilmiştir. Bu kademeli artış stratejisi, yapının yanal rijitlik merkezini kütle merkezine yaklaştırarak deprem yüklerinin daha dengeli karşılanmasını ve taşıyıcı sistemin sünekliğinin yönetmelik limitleri dahilinde artırılmasını sağlamıştır.



Görsel 4. C30 güçlendirme perdelerinin X ve Y doğrultularındaki kat planı yerleşimi senaryoları

4.2. Parametrik Güçlendirme Senaryolarının Nonlineer Analiz Sonuçları

Her bir senaryo, Bölüm 3.2'de tanımlanan Çok Modlu Doğrusal Olmayan (Nonlinear) İtme Analizi (Pushover) yöntemine tabi tutulmuştur. Bu doğrultuda elde edilen kapasite eğrileri, periyot değişimleri ve eleman bazlı hasar dağılımları, yapının TBDY-2018 standartlarında

hedeflenen sismik performans seviyelerine ulaşma dereceleri bakımından karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Doğrusal olmayan analizlerden elde edilen ilk bulgular, minimum takviye seviyesini temsil eden S1 senaryosunun (%0.5), yapının mevcut rijitliğini sınırlı ölçüde artırsa da kaçak kat imalatından kaynaklanan TBDY-2018 sınır değerlerine göre ağırlıklı olarak Göçmenin Önlenmesi (GÖ) bölgesinde kümelenmiş ve sistem sismik kapasitesini erken tüketmiştir. Buna karşın, perde oranının %1 seviyesine çıkarıldığı S2 senaryosunda dinamik karakteristiklerde somut bir iyileşme kaydedilmiş, hakim doğal titreşim periyotlarının kısalmasına bağlı olarak göreceli kat ötelemeleri yönetmelik sınırlarının altına çekilmeye başlanmıştır. Bu basamakta düşey taşıyıcı elemanların önemli bir bölümü gevrek kırılma riskinden kurtularak sünek davranış eğilimi sergilemiştir.

Parametrik araştırmanın optimizasyon eşiğini oluşturan S3 senaryosunda (%1.5) ise binanın TBDY-2018 Bölüm 15.7 kapsamında tanımlanan Kontrollü Hasar (KH) sismik performans hedefini kararlı bir şekilde yakaladığını ortaya koymaktadır. Planda oluşan göreceli kat ötelenmesi yığılmalarının her iki doğrultuda da sönmüldüğü bu model, yapısal süneklik kapasitesi ile dinamik rijitlik artışı arasında mekanik açıdan en dengeli çözümü üretmiştir. Perde oranının %2 düzeyine ulaştığı S4 senaryosu incelendiğinde ise üstyapının "aşırı rijit" bir karakter kazanması nedeniyle taban kesme kuvveti önemli ölçüde artmıştır.

Yürütülen parametrik simülasyonlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde; %1.5 perde oranının (S3 Senaryosu), binanın 9 katlı mevcut kütlelerinden doğan sismik talepleri karşılayan, yapısal güvenlik kriterlerini eksiksiz sağlayan teknik ve ekonomik açıdan en tutarlı optimizasyon çözümü olduğu kanıtlanmıştır.

5. TARTIŞMA

Çok Modlu Nonlineer İtme Analizleri sonucunda elde edilen sayısal ve dinamik veriler, sismik rijitlik artışı, sismik enerji sönmüleme kapasitesi, temel yükleri ve ekonomik verimlilik kriterleri üzerinden gerçekleştirilen karşılaştırmalı değerlendirmeyi özetlemek adına Çizelge 1’de toplu olarak sunulmuştur.

Çizelge 1. Sismik Güçlendirme Senaryoları ve Yapısal parametreler

Yapı	Doğrultu X / Y	Periyot (T, sn)	Taban Kesme (V_b , kN)	Maks. Görelî Öteleme (Δ_{max})	Perde Devrilme Mom. Oranı	TBDY-2018 Performans Seviyesi (DD-2)
Mevcut Durum	0.0m ² / 0.0m ²	1.10	1.050	0.0125	%37.7	Göçme
Senaryo 1	0.80m ² / 0.80 m ²	1.05	1.450	0.0083	%43.5	Göçmenin Önlenmesi (GÖ)
Senaryo 2	1.60 m ² / 1.60 m ²	0.85	1.980	0.0024	%64.2	Kontrollü Hasar (KH)
Senaryo 3 (Optimum)	2.40 m ² / 2.40 m ²	0.72	2.520	0.0020	%76.1	Kontrollü Hasar (KH)
Senaryo 4	3.20 m ² / 3.20 m ²	0.55	3.850	0.0018	%83.6	Kontrollü Hasar (KH)

Çizelge 1'de elde edilen veriler sismik talep incelendiğinde, perde oranının parametrik değişiminin yapısal sistem davranışı üzerinde belirleyici bir eşik oluşturduğu görülmektedir. Minimum takviye seviyesini temsil eden S1 senaryosundaki düşük rijitlik artışı, yapının plastik mafsallık kapasitesini erkenden tükenme noktasına getirmekte ve hedef sismik güvenliği sağlamada yetersiz kalmaktadır. Buna karşın, perde alanının en yüksek seviyeye ulaştığı S4 senaryosu ise yapıyı "aşırı rijit" bir forma sokmaktadır; bu durum, periyodu 0.55 seviyesine düşürerek sismik enerjinin sünek mekanizmalarla sönmelenmesi yerine, sistemin ani ivme artışlarına bağlı gevrek reaksiyonlar göstermesine yol açmaktadır. Her iki doğrultuda ... m² yeni perde alanının entegre edildiği S3 senaryosu ise yapıyı TBDY-2018 sınırları dahilinde Kontrollü Hasar (KH) performans seviyesinde kararlı bir şekilde tutarak, süneklik kapasitesi ile dinamik rijitlik talebi arasında en ideal sönmeme karakteristiğini sergilemektedir.

Güçlendirme stratejisinin temel ekonomisi ve yapısal verimlilik kriterleri doğrultusundaki analizi, aşırı betonarme perde kullanımının (S4) toplam taban kesme kuvvetini 3850 kN seviyesine çıkararak mevcut radye temele iletilen momentleri yönetilemez boyutlara

ulaştırdığını doğrulamaktadır. Taban kesme kuvvetinde meydana gelen bu radikal artış, mevcut radye temel taşıma kapasitesinin açılmasına sebebiyet vermekte ve üstyapı rehabilitasyonunun ötesinde, binanın altyapısında da yüksek maliyetli ek temel güçlendirmelerini zorunlu kılmaktadır. S_3 senaryosunda elde edilen veriler ise mevcut temel kapasitesini aşmayan, kesit boyutlandırma verimliliği ile temel ekonomisini eşzamanlı sağlayan kritik bir optimizasyon eşiğini temsil etmektedir. Sonuç olarak; yapısal sismik talebi en uygun düzeyde sönümleyen, sistemi aşırı rijitlik kırılranlığıyla karşı karşıya bırakmayan ve inşaat ekonomisini gözeterek sürdürülebilir bir müdahale sunan bu optimal yönsel perde alanı, çalışmanın en verimli stratejisi olarak tanımlanmıştır. Söz konusu strateji, binanın projesiz ve kaçak durumundan kaynaklanan kronik zafiyetlerini, TBDY-2018 standartları çerçevesinde en az yapısal müdahaleyle en yüksek sismik güvenlik seviyesine ulaştıran yegâne rasyonel çözümdür.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, denetimsiz kat ilaveleri neticesinde sismik taşıyıcı sistemi ağır hasar gören mevcut bir konut yapısının sismik performansı ile TBDY-2018 standartlarına göre kurgulanan parametrik güçlendirme stratejileri, saha verileri ve ileri analitik modelleme teknikleri ışığında incelenmiştir. Deneysel saha gözlemleri ve gerçekleştirilen sayısal simülasyonlar neticesinde, onaylı statik projesine aykırı şekilde inşa edilen 3 adet kaçak katın yapıya yüklediği ekstra yükü toptan göçme mekanizmasını tetikleyen birincil mühendislik kusuru olduğu saptanmıştır.

STA4CAD yazılım platformu üzerinde yürütölen Çok Modlu Doğrusal Olmayan İtme Analizi (Pushover) sonuçları, deprem sonrasında sahada gözlemlenen inelastik gevrek hasar dağılımlarını matematiksel olarak doğrulamıştır. Analitik modelleme çıktıları; yapının mevcut fiili geometrisi, malzeme zafiyetleri (sargılama yetersizliği, düşük beton dayanımı ve düz donatı kullanımı) ve düzensiz kütle dağılımıyla, yürürlükteki yönetmelik uyarınca uygulanan tüm sismik yük senaryolarında doğrudan "Göçme Konumu" sınır durumunda olduğunu kesin olarak kanıtlamaktadır. Yapısal sisteme uygulanan parametrik perde takviyeli analizler ise mevcut bina tipolojisinde %0.5 ile %1.0 aralığında tutulan perde oranlarının, taşıyıcı elemanlardaki inelastik plastik dönme taleplerini azaltmada ve sismik performansı güvenli kabul edilebilir sınırlara taşımada yetersiz kaldığını göstermiştir.

Yürütülen parametrik çalışma sonucunda; TBDY-2018 bünyesinde hedeflenen Kontrollü Hasar (KH) sismik performans seviyesini yapı genelinde kararlı bir biçimde karşılayan, aynı zamanda sistemi aşırı rijit bir forma sokmayarak taban kesme kuvveti yığılmalarını ve buna bağlı altyapı/temel maliyetlerini artırmayan %1.5 perde oranının (S3 senaryosu), bu bina için teknik ve ekonomik açıdan en rasyonel "Optimum Güçlendirme Oranı" olduğu saptanmıştır. Bu bilimsel çıktı, kaçak kat ilaveleriyle yapısal güvenliği ekstrem düzeyde zayıflatılmış betonarme çerçeve sistemlerin rehabilitasyon projelerinde, üstyapı rijitlik talebi ile altyapı (temel) taşıma kapasitesi sınırlarını eşzamanlı olarak dengeleyen sürdürülebilir ve efektif bir mühendislik yaklaşımı sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] A. C. Aydın ve B. Bayrak, "Betonarme perde duvarların farklı yapı malzemeleri açısından değerlendirilmesi," Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol. 10, no. 1, pp. 217-240, 2021.
- [2] M. N. A. S. Al-Dwaik, "Investigation of seismic behavior of reinforced concrete shearwall building frames subjected to ground motions from the 1999 Turkish Earthquakes," in Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 2008. (Makaledeki sismik davranış ve çerçeve-perde yanal yük atfı)
- [3] Özcebe, G., Canbay, E., & Ersoy, U. (2001). Betonarme dolgu duvarların yapıların sismik davranışı üzerine etkileri.
- [4] Kaplan, H., Yilmaz, S., Cetinkaya, N., & Atımtay, E. (2011). Seismic strengthening of RC structures with exterior shear walls. Sadhana, 36(1), 17-34.
- [5] Alashkar, Y., Nazar, S., & Ahmed, M. (2015). A comparative study of seismic strengthening of RC building by steel bracings and concrete shear walls. International Journal of Civil and Structural Engineering Research, 2(2), 24-34.
- [6] Li, H. N., & Li, B. (2004). Experimental study on seismic restoring performance of reinforced concrete shear walls. Journal of Building Structures, 25(5), 35-42.

- [7] Khanmohammadi, M., & Heydari, S. (2015). Seismic behavior improvement of reinforced concrete shear wall buildings using multiple rocking systems. *Engineering Structures*, 100, 577-589.
- [8] Mamdouh, H., Zenhom, N., Hasabo, M., Deifalla, A. F., & Salman, A. (2022). Performance of strengthened, reinforced concrete shear walls with opening. *Sustainability*, 14(21), 14366.
- [9] D. Shen, Q. Yang, C. Huang, Z. Cui, ve J. Zhang, "Tests on seismic performance of corroded reinforced concrete shear walls repaired with basalt fiber-reinforced polymers," *Construction and Building Materials*, vol. 223, pp. 697-709, 2019.
- [10] J. Zhang, W. Zheng, C. Yu, ve W. Cao, "Shaking table test of reinforced concrete coupled shear walls with single layer of web reinforcement and inclined steel bars," *Advances in Structural Engineering*, vol. 21, no. 15, pp. 2282-2298, 2018.
- [11] https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/huam_d87be.pdf

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CARBON MESH REINFORCEMENT ON
THE FLEXURAL PERFORMANCE OF GEOPOLYMER CONCRETE BEAMS**

Öğr. Gör. Serpil AĞIRMAN

Erzurum Teknik Üniversitesi, serpil.agirman@erzurum.edu.tr - 0000-0002-3522-3269

Yüksek Lisans Öğrencisi, Mehmet ERDOĞAN

Atatürk Üniversitesi, mehmet25036@gmail.com - 0009-0003-7014-4480

Doç. Dr. Barış BAYRAK

Kafkas Üniversitesi, bbayrak@kafkas.edu.tr - 0000-0002-7438-1227

Doç. Dr. Mahmut KILIÇ

Atatürk Üniversitesi, mahmut.kilic@atauni.edu.tr - 0000-0003-0947-685X

ABSTRACT

The problems of reinforcement corrosion, frequently observed in reinforced concrete structures, and the high carbon emission of conventional concrete have increased interest in innovative concrete designs. This study, which proposes improving the flexural performance and mechanical properties of concrete beams produced using carbon mesh instead of steel reinforcement and geopolymer concrete instead of conventional cement, aims to fill a significant gap in the literature. In the experimental program, blast furnace slag was used as a binder in the geopolymer mortar mixture, and quartz powder and marble powder were used as mineral additives. Sodium hydroxide and sodium silicate were used as alkali activators. The effects of the number of carbon mesh layers (0, 1, 2, and 3 layers) on the flexural performance of beams produced with dimensions of 40x10x10 cm were investigated. A three-point bending test was applied to the beams to evaluate their flexural strength. Load-displacement graphs were examined, and while the reference specimen fractured brittlely, a significant increase in the maximum load-carrying capacity was observed in carbon mesh-reinforced specimens as the number of layers increased. Adding carbon mesh to geopolymer concrete increased the toughness of the material, limited crack formation, and enabled controlled deformation in the beams. As a result, experimental results have proven that carbon mesh-reinforced geopolymer concrete elements are an innovative, environmentally friendly concrete that eliminates corrosion problems.

Keywords: Geopolymer, carbon mesh, bending behavior, carbon mesh-reinforced geopolymer concrete

1. INTRODUCTION

While commonly preferred cement-like binders offer high stabilization potential, they raise serious concerns about environmental sustainability and economic cost (Anju et al., 2026). Geopolymer concrete, on the other hand, is considered a new generation concrete technology due to its environmental sustainability parameters. Geopolymer concrete (GC) stands out with its properties such as high compressive strength, low permeability rates, high tolerance to chemical effects, and high fire resistance (Pedretti et al., 2026). By replacing Portland cement, it provides a significant reduction in CO₂ emissions. According to the general classification in the literature, binder elements whose raw materials are aluminum and silicon are considered geopolymers, while alkali-activated cements are based on raw materials with a high calcium content. The fundamental difference from traditional Portland cement is that the binder phase in GC is formed as a result of a process called geopolymerization. (Qaidi et al., 2022)

Geopolymerization is a low-carbon cementation process in which aluminosilicate-rich industrial mineral wastes (IMWs), such as fly ash and blast furnace slag (BFS), are converted into inorganic polymer binders through alkali activation. (Yadavalli et al., 2026) This reaction is based on the principles of dissolution and polymerization. In this phase, reactive Si and Al components are dissolved in an alkaline environment and then rearranged to form a three-dimensional aminosilicate network.

Alkali activators, usually consisting of NaOH and its combinations, are used in the mixture to initiate the geopolymerization process. Furthermore, the concentration and ratio of these components play a significant role in the fluidity and setting time of the mixture. High NaOH molarity causes the mixture to harden and reduces fluidity, decreasing workability; while an increase in sodium silicate content reduces internal friction and increases lubrication, improving workability up to an optimal limit. However, excessive use of sodium silicate can increase viscosity and reduce spreadability due to rapid setting and excessive gel formation. The ratio of sodium silicate to sodium hydroxide (Na₂SiO₃/NaOH) controls these parameters (Javan et al., 2026). Therefore, this ratio needs to be carefully established to achieve balanced workability and appropriate setting time. Well-optimized solutions provide better workability in geopolymer concrete mixes by increasing fluidity while maintaining strength. In this context, maintaining a ratio of 2.0-3.0 is important for designing a geopolymer matrix with superior properties. In this study, the activator mixture used at a ratio of 2.57 is important both for ensuring sufficient fluidity and balancing the setting time.

Due to their mechanical performance and economic advantages, reinforced concrete beams (RC) are widely used in modern structural engineering (buildings, bridges, etc.). However, with the extension of service lives, reinforced concrete structures worldwide are facing a significant number of durability problems. According to data from the U.S. Federal Highway Administration (2023), 46.6% of bridges in the U.S. have structural defects or functional deficiencies (Zhang et al., 2026). One of the most fundamental causes of premature deterioration in reinforced concrete structures is reinforcement corrosion. The effect of corrosion causes both a loss of cross-sectional area in the reinforcement and a gradual decrease in the adhesion between the reinforcement and the concrete matrix (Lliso-Ferrando et al., 2026).

Furthermore, corrosion is one of the biggest causes of resource waste, ecosystem destruction, and environmental pollution. Moreover, corrosion-induced degradation leads to the release of hazardous substances such as iron oxide and toxic components such as iron or mercury into the environment (Verma et al., 2026).

In 2022, the European Commission Joint Research Centre published a noteworthy report on corrosion risks in European regions. According to the report, corrosion and cracking were observed in 35-48% of reinforced concrete elements along the Mediterranean coast, while the damage rate in similar structures in high-humidity coastal areas of Northern Europe remained at 28-40%. In addition, the economic burden of corrosion-related deterioration is enormous. Annual repair and strengthening works across the US amount to tens of millions of dollars, and this economic loss is increasing every year (Wang et al., 2026).

One of the newest solutions developed as an alternative to the corrosion problems in traditional steel-reinforced concrete elements is Textile Reinforced Composite applications (Giese et al., 2021). These systems, which can fulfill the structural performance requirements of traditional reinforced concrete elements, are composite systems containing one or more layers of structural textile meshes such as carbon, basalt, or glass embedded within the matrix. These systems successfully achieve the structural performance of traditional reinforced concrete structures by using textile meshes instead of steel reinforcement. Using an inorganic material like carbon mesh instead of steel reinforcement eliminates the risk of corrosion and enables lightweight structural elements. This innovative technology is becoming increasingly popular in the field of structural strengthening and repair. The aim of this study is to investigate the flexural behavior and mechanical performance of carbon mesh-reinforced geopolymer concrete beams as a sustainable alternative in reinforced concrete elements. The main variable in the experimental program is the number of carbon mesh layers (0, 1, 2, and 3 layers), and the aim is to examine the effect of this variable on the structural element. In the study, three-point bending tests were applied to samples produced with dimensions of 40x10x10 cm using YFC as the main binder and marble powder and quartz powder as mineral additives. Based on the results obtained from the experiments, load-displacement graphs of the samples were plotted; By observing maximum load-carrying capacities, fracture modes, crack formation, and post-peak energy absorption (toughness) capacities, the extent to which the brittle structure of geopolymer concrete acquires ductile behavior will be revealed through experimental results.

2. MATERIALS AND METHODS

In this experimental study, granulated blast furnace slag (GBFS) was used as the main binder in the mixtures prepared for the production of geopolymer concrete beams, while marble powder and quartz powder were used as mineral additives. Sodium hydroxide (NaOH) and sodium silicate (Na_2SiO_3) were used as alkali activators to initiate the geopolymerization reactions. In the literature, maintaining a sodium silicate/sodium hydroxide ratio between 2.0 and 3.0 is a generally accepted approach for optimizing workability. The ratio of 2.57, chosen considering pre-castings, eliminated the risk of sudden setting and made it possible to maintain

sufficient workability of the concrete mortar. The mixing ratios and quantities of the materials are presented in detail in Table 1.

Table 1. Geopolymer mixing ratios (kg/m³)

GBFS	Marble powder	Quartz powder	Water	NaOH	Na ₂ SiO ₃
700	685	483	70	98	252

In this study, geopolymer concrete was produced using GBFS in accordance with the ASTM C 618 standard. The specific gravities of the GBFS, marble powder, and quartz powder that make up the mixture are 2.88 g/cm³, 2.67 g/cm³, and 2.82 g/cm³, respectively (Bayrak et al., 2024). Furthermore, the specific gravity of sodium silicate is 1.42 g/cm³ and the specific gravity of sodium hydroxide is 1.2 g/cm³. Table 2 provides the values for the chemical components of the materials (Kılıç et al., 2025; Alcan et al., 2025).

Table 2. Chemical components (%) of GBFS, marble powder and quartz powder.

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Ka ₂ O	SO ₃	LOI
GBFS	36.4	33.11	19.9	0.5	8.8	0.2	0.4	0.5	0.2
Marble powder	0.8	52.9	43.6	0.6	0.3	0.6	0.1	0.1	0.3
Quartz powder	53.2	0.4	0.1	0.1	0.4	0.2	0.1	0.1	-

Particle size distribution is one of the key parameters determining both the early workability and the later pore structure of concrete. The graphs obtained through this process help to achieve a less porous and more compact structure within the geopolymer matrix. The sieve analysis graphs of GBFS, quartz powder, and marble powder used in the geopolymer mixture are given in Figure 1. Examination of the curves shows that the materials have a continuous gradation and present a well-graded (continuous) structure. In particular, due to the high fineness of GBFS, it is known that the fine particles fill the micro-voids in the matrix and accelerate the alkali activation process.

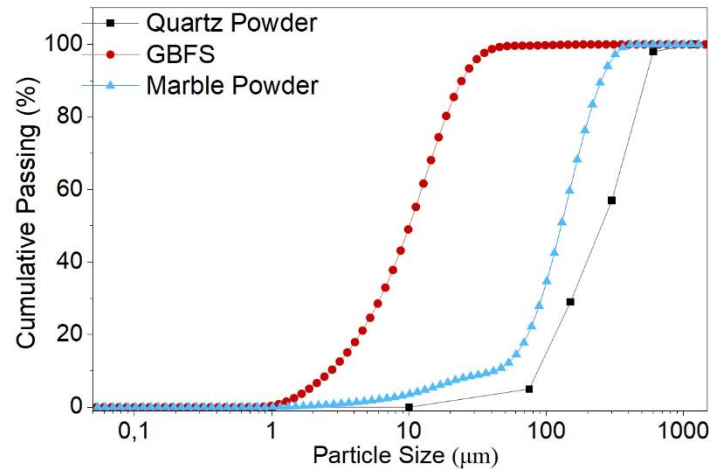


Figure1. Sieve analysis results of quartz, GBBFS and marble powder.

The XRD analysis results for examining the mineralogical structures of the GBFS and quartz powder used are presented in Figure 2. The glassy structure of GBFS indicates that it has good potential for easily dissolving in the alkali activation process to form C-S-H gels. On the other hand, the XRD pattern of the quartz powder shows a sharp and intense peak, indicating that the material has a high-purity crystalline structure. In light of these findings, it is shown that due to the amorphous structure of GBFS and the crystalline structure of quartz powder, both gel formation and filler effect complement each other in the design of geopolymer concrete.

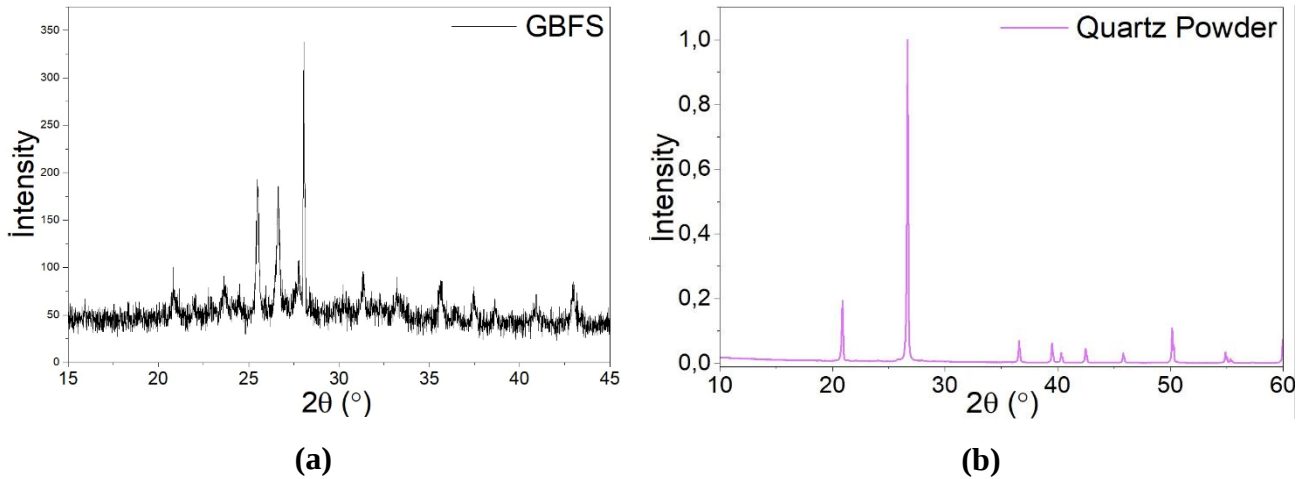


Figure 2. XRD pattern of (a) GBFS and (b) quartz powder.

In this study, a total of 4 beam specimens with dimensions of 40x10x10 cm were prepared. Figure 3 shows the geometric details of the beam specimen. To ensure experimental consistency and to examine the use of carbon mesh in more detail, the mixing ratios were kept the same in all beam specimens. The independent variable of the study was determined as ‘Carbon Mesh Usage’. To understand the effect of the presence of carbon mesh on the beam specimen, 1 specimen was selected as a reference specimen. The reinforced specimens were designed with

a stepped number of mesh layers: specimen 2 with 1 mesh layer, specimen 3 with 2 mesh layers, and specimen 4 with 3 mesh layers. The distance between the meshes was kept equal, and the distance between each mesh and between the mold and the mesh was 1 cm (Figure 4).

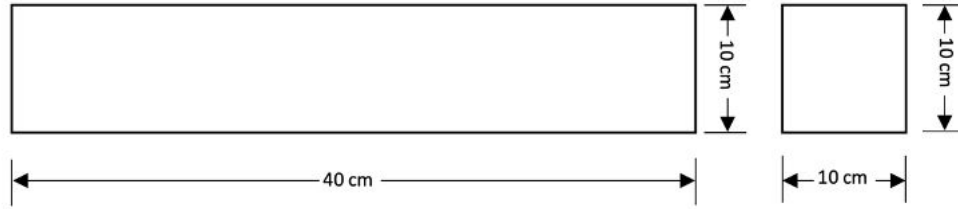


Figure 3. Sample dimensions

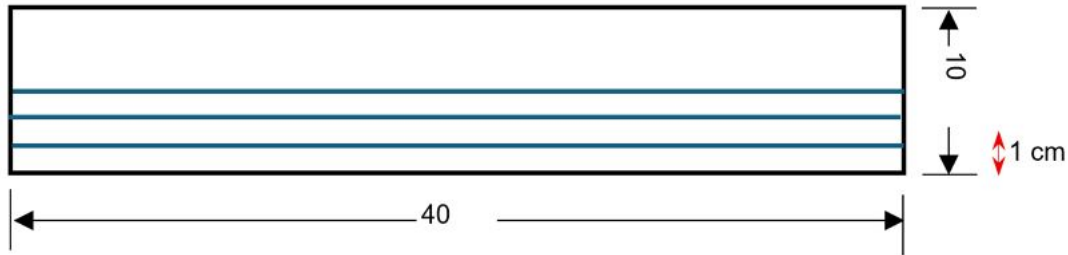


Figure 4. Carbon mesh arrangement in beam samples.

A three-point bending test was conducted to investigate the bending behavior of geopolymer concrete beams. Details of the experimental setup used in this study are given in Figure 5. The tests were performed in displacement-controlled mode with a constant loading rate of 10 mm/min. To examine the post-fracture behavior of the specimens, the tests were terminated at a common deformation value after the beams reached their maximum load.



Figure 5. (a) Beam specimen molds and carbon mesh, (b) and (c) experimental setups.

3.RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Load-Displacement Behavior and Bending Performance

Figure 6 shows the load-displacement curve for each specimen, and Figure 7 shows the load-displacement curves for all specimens. Examination of the graphs clearly shows that adding carbon mesh to the beams caused a significant change in the bending performance of the beam specimens. The control beam without carbon mesh exhibited linear elastic behavior under the applied stress until it reached its ultimate load capacity, and after reaching the P_{max} value, it experienced a sudden load change and showed brittle fracture. This sudden fracture behavior of the reference beam is an indication of the characteristic low tensile strength of the unreinforced geopolymer matrix.

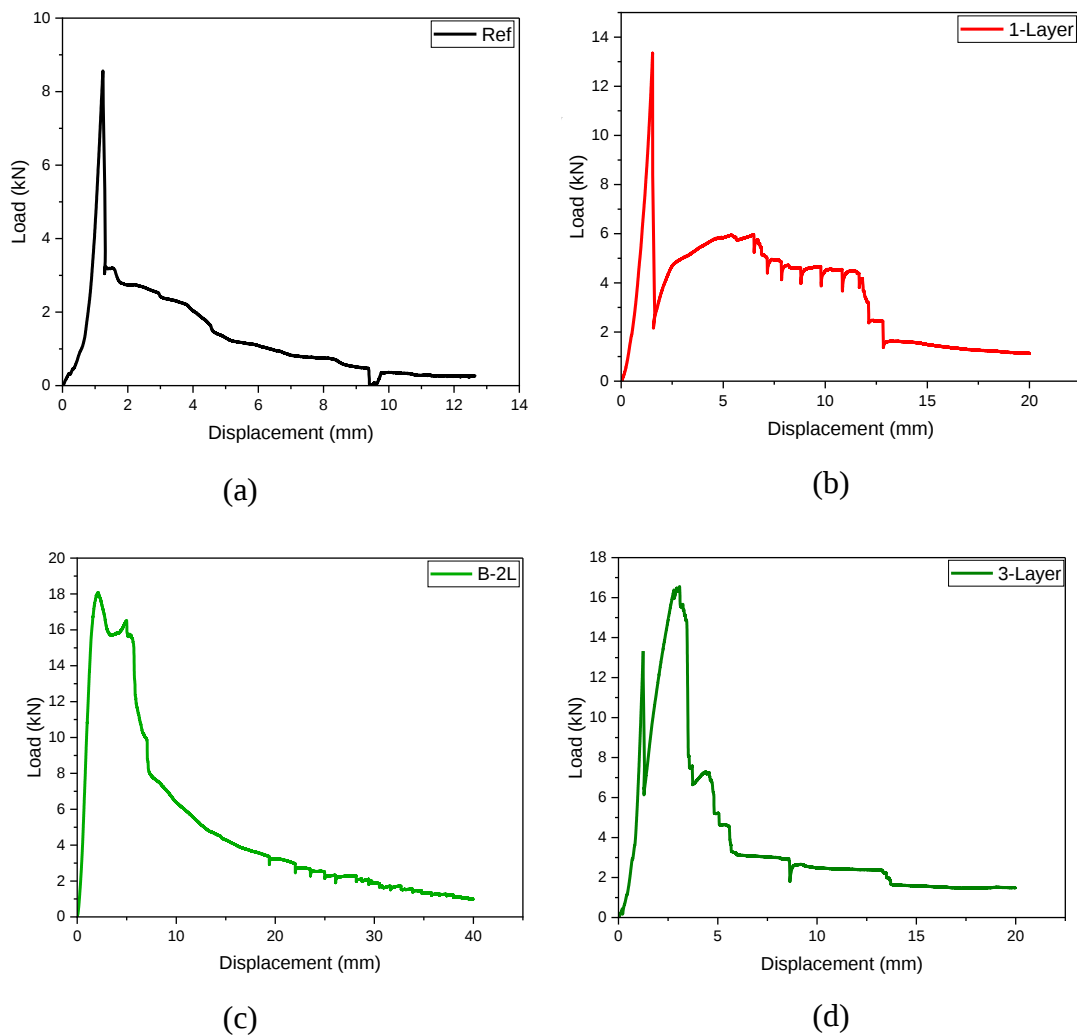


Figure 6. Load-mid-point displacement of (a) Ref (b) 1 Layer sample (c) 2 Layer sample (d) 3 Layer sample

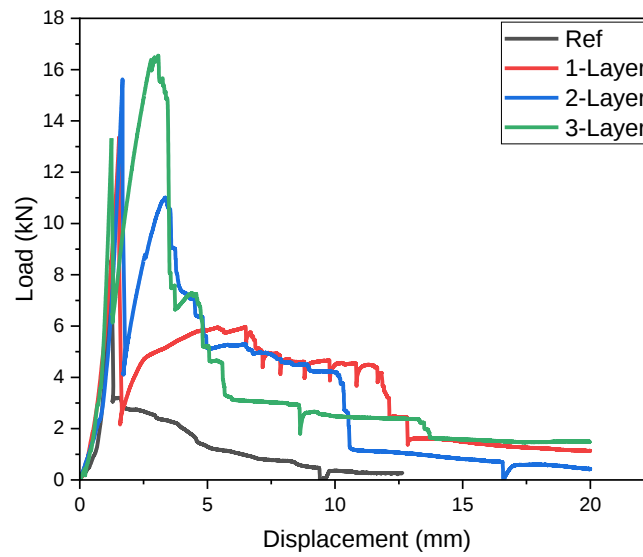


Figure 7. Load-mid-point displacement of samples

When examining the behavior of carbon mesh-reinforced beams (Figures 6b, 6c, 6d), it is observed that although there is a sudden drop in load after reaching the maximum load point, the load-carrying capacity is not completely eliminated. This observed post-peak behavior clearly demonstrates that the beams possess significant ductility and energy absorption capacity (toughness). The main factor providing these observed mechanical improvements is the positive effect of the carbon meshes added to improve the behavior of geopolymer concrete elements.

When we look at the effect of the number of layers on the beams, it is seen that the sample with 2 layers of carbon mesh reaches the highest value in terms of maximum load-carrying capacity. This shows that 2 layers of carbon mesh reinforcement has a positive effect on improving the load-carrying capacity under bending behavior. Although the sample with 3 layers of carbon mesh lags behind the sample with 2 layers of mesh in carrying the maximum load, it exhibits more stable behavior by continuing to carry the load for a longer period after the peak point. This shows that the sample with 3 layers of carbon mesh has a positive effect, especially in terms of post-cracking behavior.

Table 3. Characteristic load, displacement, and energy absorption values for beam specimens.

	P _{cr} (kN)	Δ_{cr} (mm)	P _{max} (kN)	Δ_{max} (mm)	P _u (kN)	Δ_u (mm)	E (kN.mm)
B-Ref	2.02	0.484	12.62	1.142	6.82	1.144	4.82
B-1L	5.36	1.116	9.12	5.332	0.85	40.00	131.64
B-2L	10.47	0.978	18.01	2.192	1.00	40.00	200.21
B-3L	10.73	1.881	14.63	5.344	1.47	40.00	204.93

According to the results given in Table 3, increasing the number of carbon mesh layers significantly improves the initial crack load and energy absorption capacity. The highest maximum load of 18.01 kN was observed in the sample with 2 layers of carbon mesh, while the highest energy absorption capacity of 204.93 kNmm was obtained from the sample with 3 layers of carbon mesh. These results show that the use of carbon mesh reduces brittle fracture

behavior. Pmax values are presented in a bar graph in Figure 8 for a clearer comparison of the samples.

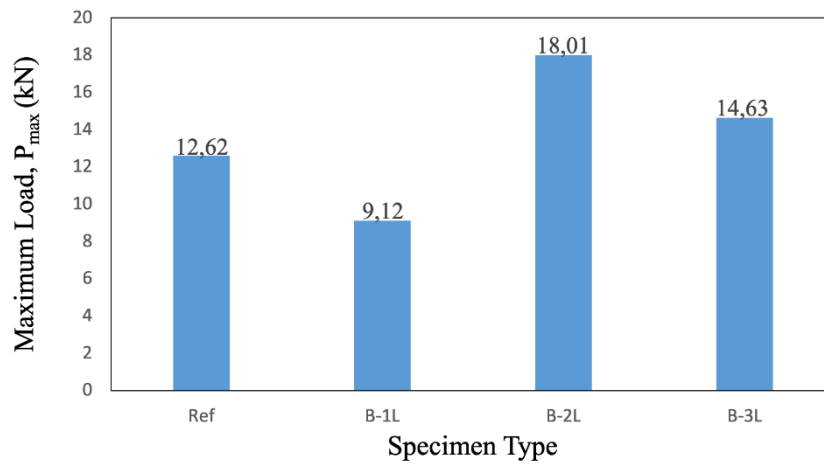


Figure 8. Maximum load-carrying capacity (Pmax) values.

3.2. Energy Absorption Capacity

When the energy absorption capacity values are examined (Figure 9), it is seen that carbon mesh reinforcement has a positive effect on the toughness behavior of geopolymer concrete beams. While the energy absorption capacity of the reference sample is 4.82 kNmm, this value has increased significantly in carbon mesh reinforced samples. In particular, the values of 200.21 kNmm in the sample with 2 layers of carbon mesh reinforcement and 204.93 kNmm in the sample with 3 layers of carbon mesh reinforcement have been reached, indicating that the increased carbon mesh layer has positively affected the load-carrying capacity and deformation capacity of the geopolymer concrete after the peak point.

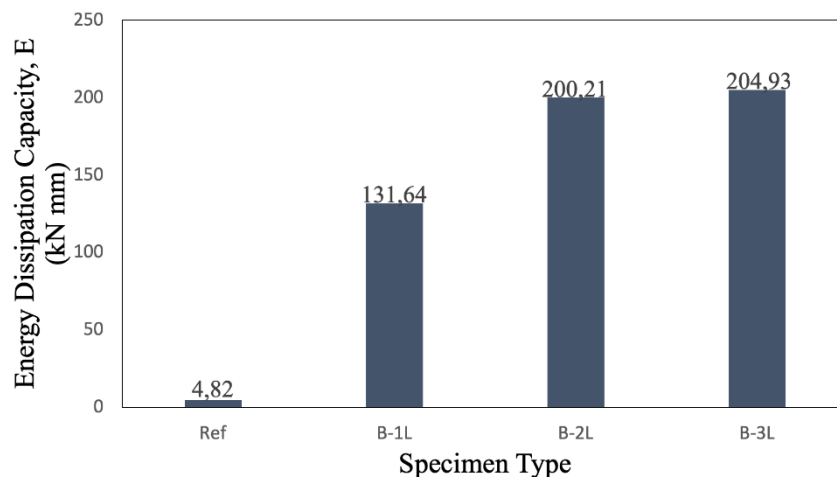


Figure 9. Energy dissipation capacity values depending on sample type.

3.2. Failure modes and crack formation

When the physical conditions of the geopolymer concrete beams after the experiment are examined in Figure 10, it is seen that the damage on the specimens is parallel to the results obtained from the load-displacement curves. It is observed that the reference specimen (Figure 10a) loses its structural integrity instantly and reaches final failure in a brittle manner when the applied load reaches its maximum level, without showing any signs of ductility. In carbon mesh reinforced specimens (Figures 10b, 10c, 10d), it was observed that although the first concrete matrix crack formed, the specimens maintained their structural integrity and did not experience sudden rupture similar to the reference specimen. As the number of layers increases, it is seen that the damage does not accumulate in a single main crack, but is absorbed by the mesh layers, and deformation occurs in the specimen in a more controlled manner. This helps the geopolymer matrix to exhibit a more ductile behavior rather than a rigid behavior thanks to the mesh. Thus, carbon mesh provides good adhesion with the geopolymer structure, and sudden failure problems are eliminated due to the even distribution of stresses.

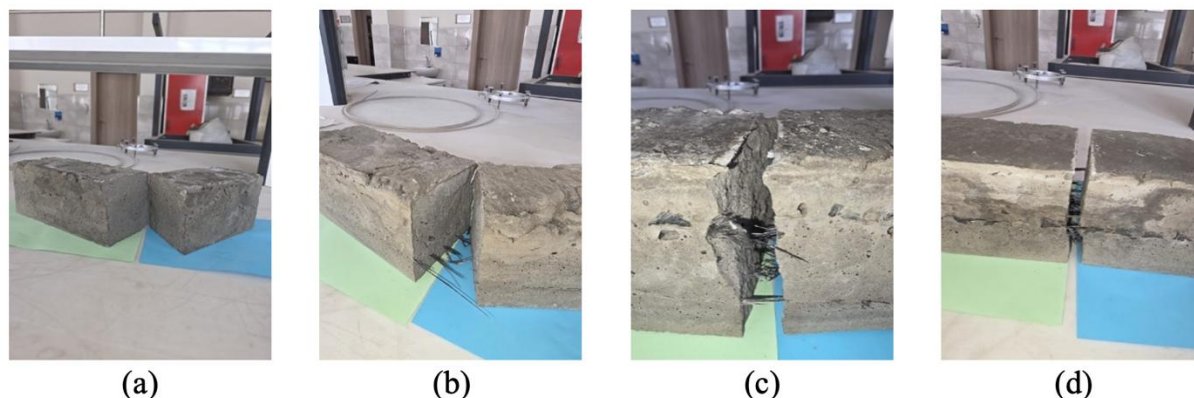


Figure 10. Images of the experimental samples after testing. (a) Reference sample (b) Sample with single-layer carbon mesh (c) Sample with double-layer carbon mesh (d) Sample with triple-layer carbon mesh

4. GENERAL ASSESSMENT AND CONCLUSIONS

This study investigates corrosion-induced damage in concrete structural elements and the flexural behavior of carbon mesh-reinforced geopolymer concrete elements as an innovative solution to Portland cement. Experiments performed using three-point bending tests yielded several results.

- While the reference specimen without reinforcement exhibited brittle fracture due to low tensile strength, the use of carbon mesh overcame the shortcomings of low tensile strength in geopolymer concrete, allowing the specimen to exhibit ductile behavior under applied loads. This indicates that the use of carbon mesh creates a bridging effect between crack surfaces in the specimen, reducing the tendency for brittle fracture.
- According to the experimental results, the highest maximum load-carrying capacity was achieved in the specimen containing 2 layers of carbon mesh, with a value of 18.01 kN. When the specimens were evaluated in terms of energy absorption capacity, the highest value was

reached in the specimen containing 3 layers of carbon mesh, with a value of 204.93 kNmm. These values demonstrate that the use of carbon mesh positively affects both the flexural performance and toughness behavior of geopolymer concrete beams.

- It was observed that good adhesion was formed between the geopolymer matrix and the carbon mesh. Thanks to this, even after the first crack formation, the load-carrying capacity of the beams did not suddenly drop to zero, and the samples continued to maintain their integrity.

In conclusion, this study has shown that the combination of carbon mesh and geopolymer concrete is an effective method for limiting brittle fracture behavior and improving post-cracking load-carrying capacity in concrete elements.

REFERENCES

- [1] Anju, M. J., Beulah, M., & Varghese, A., Review of geopolymer composites synthesized using different industrial By-products, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 19(1), 26-45, 2026.
- [2] Pedretti, M. E., Liggieri, L., Valentini, L., Canu, G., Lagazzo, A., Ravera, F., & Santini, E., Solid Foams from Geopolymerization of Lunar Regolith Simulants Slurries, *Colloids and Interfaces*, 10(2), 29, 2026.
- [3] Qaidi, S., Najm, H. M., Abed, S. M., Ahmed, H. U., Al Dughaisi, H., Al Lawati, J., ... & Milad, A., Fly ash-based geopolymer composites: A review of the compressive strength and microstructure analysis, *Materials*, 15(20), 7098, 2022.
- [4] Yadavalli, V. S., Chauhan, R., Reddy, P. K., Gande, V. V., Bhawnani, R. R., Anex, R. P., ... & Singh, M. R., High-Throughput Screening of Geopolymerization Kinetics for Rapid Mixture Design Optimization, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 65, 6021-6029, 2026.
- [5] Zhang, Y., Wang, Z., Liu, J., Li, Y., Huang, Z., & Yu, X., A metaheuristic-driven categorical boosting framework with interpretability for high-precision prediction of mechanical properties in corroded reinforced concrete beams, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 163, 112804, 2026.
- [6] Lliso-Ferrando, J. R., Gasch, I., Martínez-Ibernón, A., & Valcuende, M., Localised corrosion on reinforced concrete structures: Pitting factor analysis. *Construction and Building Materials*, 512, 145352, 2026.
- [7] Verma, C., Pathania, A. R., Barsoum, I., Rhee, K. Y., Qiang, Y., & Alfantazi, A., Coordination chemistry in corrosion science and engineering: Role of coordination bonding and coordination materials, *Coordination Chemistry Reviews*, 549, 217258, 2026.
- [8] Wang, J., Advances in the understanding of corrosion and performance of hot-dip galvanized rebar in concrete structures, *Corrosion Reviews*, 44(1), 20250016, 2026.

- [9] Bayrak, B., Akarsu, O., Kılıç, M., Alcan, H. G., Çelebi, O., Kaplan, G., & Aydın, A. C., Experimental study of bond behavior of geopolymer concrete under different curing condition using a pull-out test, *Construction and Building Materials*, 439, 137357, 2024.
- [10] Javan, K., Chaggar, P. K., Darestani, M., Markhali, B. P., Katwal, U., & Duarte, M. C., Workability of Geopolymer Concrete and Mortar Materials: A Systematic Review of Influencing Parameters and Optimization for Sustainable Construction Materials, *Cleaner Environmental Systems*, 20, 100408, 2026.
- [11] Giese, A. C. H., Giese, D. N., Dutra, V. F. P., & Da Silva Filho, L. C. P., Flexural behavior of reinforced concrete beams strengthened with textile reinforced mortar, *Journal of Building Engineering*, 33, 101873, 2021.
- [12] Kılıç, M., Bayrak, B., Akarsu, O., Alcan, H. G., Çelebi, O., Kaplan, G., ... & Aydın, A. C., Strengthening of damaged RC beams using geopolymer concrete layers: Experimental and analytical insights, *Engineering Failure Analysis*, 185, 110419, 2025.
- [13] Alcan, H. G., Bayrak, B., Öz, A., Çelebi, O., Kaplan, G., & Aydın, A. C., Experimental study on various properties of sustainable, high-performance, and innovative composite (SIFGEO), *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 8(3), 175-199, 2025.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF SEQUENTIAL RULE MINING ALGORITHMS:
CMRules, RuleGrowth and ERMiner**

Elif YILMAZ

Bursa Technical University, elifylmz.official@gmail.com - 0009-0009-2343-3654

Prof. Dr. Turgay Tugay BİLGİN

Bursa Technical University, turgay.bilgin@btu.edu.tr - 0000-0002-9245-5728

ABSTRACT

Sequential rule mining (SRM) is a data mining method that discovers ordered relationships between itemsets in sequence databases, widely applied in web clickstream analysis, recommender systems, and quality control. CMRules, RuleGrowth, and ERMiner were comparatively evaluated on two real-world datasets, BMSWebView2 and Leviathan, differing in sequence length, density, and item count. Experiments used the SPMF framework with minimum confidence fixed at 50% and minimum support tested at {2%, 5%, 10%, 20%, 30%}. Each configuration was repeated five times; scalability experiments ran three times across five size fractions (20%–100%) at a fixed 10% support threshold. Measurements cover runtime, memory usage, timing consistency, rule count, and scalability.

On Leviathan at low support, RuleGrowth and ERMiner complete significantly faster than CMRules: at minsup=2%, CMRules' runtime reaches 2.41 times that of ERMiner, widening to 2.51 times at minsup=5%. All three algorithms produce identical rule sets at every support level, confirming algorithmic completeness. For memory, SPMF heap output was used for CMRules and psutil RSS for RuleGrowth and ERMiner; this methodological difference limits findings to trend-level interpretation. Runtime scales linearly with data size on Leviathan, supported by Pearson $r \geq 0.91$. No rules were produced on BMSWebView2 under any configuration. Given its sparse structure (mean sequence length 4.62, median 3), this outcome was predictable from sequence statistics prior to experimentation, underscoring the need to review a dataset's statistical profile before applying SRM. ERMiner is recommended for dense datasets with sufficient memory; RuleGrowth is preferred in memory-constrained settings.

Keywords: Sequential rule mining, CMRules, RuleGrowth, ERMiner, SPMF, comparative study

1. INTRODUCTION

Sequential rule mining (SRM) is a fundamental data mining task that discovers ordered relationships between itemsets in sequence databases. A sequential rule expressed as $X \Rightarrow Y$ states that itemset X appears before itemset Y with sufficient frequency (support) and certainty (confidence). This temporal ordering distinguishes SRM from standard association rule mining

and makes it valuable in areas such as web clickstream analysis, e-learning, recommender systems, quality control, and alarm sequence analysis [1].

The computational difficulty of SRM stems from the exponential size of the candidate rule space, especially at low support thresholds. CMRules [2], RuleGrowth [3], and ERMiner [4] represent breadth-first generate-and-test, pattern-growth, and equivalence-class paradigms, respectively, within the SPMF framework [5]. In [6], four sequential rule mining algorithms were compared on a single proprietary retail dataset and observed to produce identical rule sets; however, the study lacked repeated trials, confidence intervals, and structurally diverse public datasets needed to generalize this finding. This study extends that line of work through: (1) a multi-dimensional comparison across two structurally distinct, publicly available datasets; (2) a statistically robust experimental design with repeated trials, 95% confidence intervals, and coefficient of variation; and (3) explicit reporting of memory measurement heterogeneity.

2. ALGORITHMS

2.1. CMRules

CMRules [2] follows a two-phase approach. In the first phase, the database is scanned to identify item pairs that co-occur with sufficient frequency; occurrence information is stored using a horizontal list structure. In the second phase, candidate rules are validated and their sequential support and confidence values are recomputed. The algorithm employs a breadth-first search strategy. The pruning mechanism is based on the downward closure property; since all item pairs must be evaluated at the outset, the candidate count grows as $O(|I|^2)$.

2.2. RuleGrowth

RuleGrowth [3] adopts a pattern-growth-based depth-first search approach. It begins with seed rules derived from frequent item pairs and iteratively expands them. Sequence ID sets and bitset representations are used as data structures. The depth-first structure eliminates the need for repeated database access.

2.3. ERMiner

ERMiner [4] offers an approach that organizes rules based on equivalence classes. Rules sharing the same antecedent form left equivalence classes, while rules sharing the same consequent form right equivalence classes. Class-based representation and a Sparse Count Matrix (SCM) are used as data structures. The pruning mechanism operates at two levels: SCM pre-filtering and expansion pruning within equivalence classes. Since SCM size is proportional to $O(|I|^2)$, a fixed memory cost arises independent of the support threshold.

Table 1. Theoretical Comparison of Algorithms

Feature	CMRules	RuleGrowth	ERMiner
Search Strategy	Breadth-first	Depth-first	Equivalence class
Paradigm	Generate-and-test	Pattern-growth	Class-based
Data Structure	Horizontal list	Occurrence list	SCM + class
Candidate Generation	Yes	No	No (SCM-filtered)
Memory Complexity	Low	Medium	High

3. EXPERIMENTAL EVALUATION

3.1. Datasets and Preliminary Analysis

Two publicly available datasets were used. BMSWebView2 is a large, sparse web clickstream dataset with short sequences (77,512 sequences, mean length 4.62, median 3). Leviathan is a much denser, literary-text-derived small dataset averaging 33.81 items per sequence (5,834 sequences, 9,025 distinct items). Satisfying the confidence condition $P(Y|X) \geq 0.50$ in BMSWebView2 is statistically unlikely; the zero-rule outcome was predictable from the sequence statistics before the experiments. BMSWebView2 was intentionally included to test algorithm behavior under sparse conditions and to demonstrate the importance of dataset pre-analysis in SRM applications.

Table 2. Dataset Features

Feature	BMSWebView2	Leviathan
Number of Sequences	77,512	5,834
Distinct Items	3,340	9,025
Mean Sequence Length	4.62	33.81
Median Sequence Length	3.0	29.0
Std. Sequence Length	6.07	18.61
Total Item Occurrences	358,278	197,251
Expected Rules (50% conf.)	≈ 0	Present

3.2. Experimental Design

All algorithms were executed via SPMF JAR (Java 21, 6 GB heap, macOS, Apple M1, 16 GB RAM). Minimum confidence was fixed at 50%, a value chosen independently of the confidence settings used in the original algorithm papers [2]–[4], which varied across their own experiments (e.g., minconf = 0.2–0.3 in [3] and 0.75 in [4]); minimum support was swept over {2%, 5%, 10%, 20%, 30%}. Each configuration was repeated $n=5$ times; mean and standard deviation of runtime, 95% confidence interval (CI), and coefficient of variation (CV = std/mean) were recorded. Scalability experiments were run three times each across dataset fractions ranging from 20% to 100% at a fixed 10% support threshold. For memory measurement, SPMF heap output was used for CMRules, and psutil RSS sampling for RuleGrowth and ERMiner. This difference arises because CMRules runs entirely within the SPMF JAR process, making heap tracing the only accessible measurement, whereas RuleGrowth and ERMiner were instrumented externally via Python wrappers.

3.3. Runtime

On BMSWebView2, all algorithms complete within 0.33–0.43 s; differences are practically meaningless as JVM startup and I/O overhead dominate algorithmic computation.

On Leviathan, the differences are much more pronounced. At minsup=2%, CMRules takes ≈ 39.0 s, RuleGrowth ≈ 19.5 s, and ERMiner ≈ 16.2 s. The pairwise speedup comparison quantifies these differences: at minsup=2%, CMRules is $2.41\times$ slower than ERMiner and $2.00\times$ slower than RuleGrowth. The largest gap is observed at minsup=5%, where CMRules falls $2.51\times$ behind ERMiner. This gap clearly demonstrates the impact of algorithm selection on runtime in dense datasets. At minsup=30%, fixed costs dominate; the gap falls below 25%; and the algorithms converge.

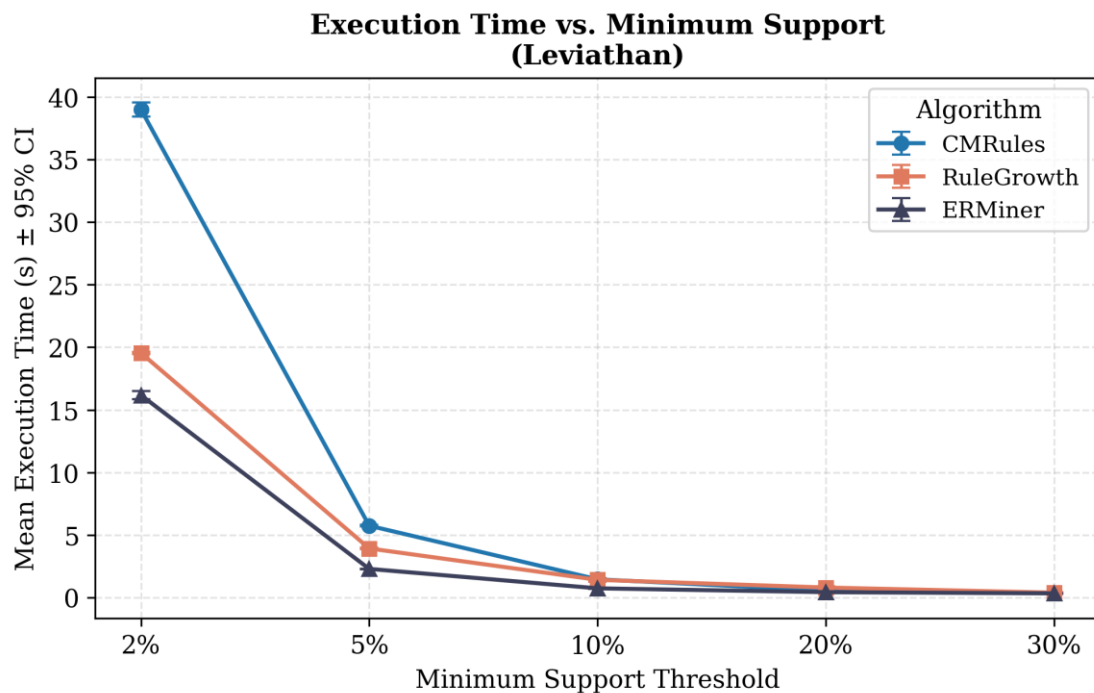


Figure 1. Runtime vs. minimum support (Leviathan)

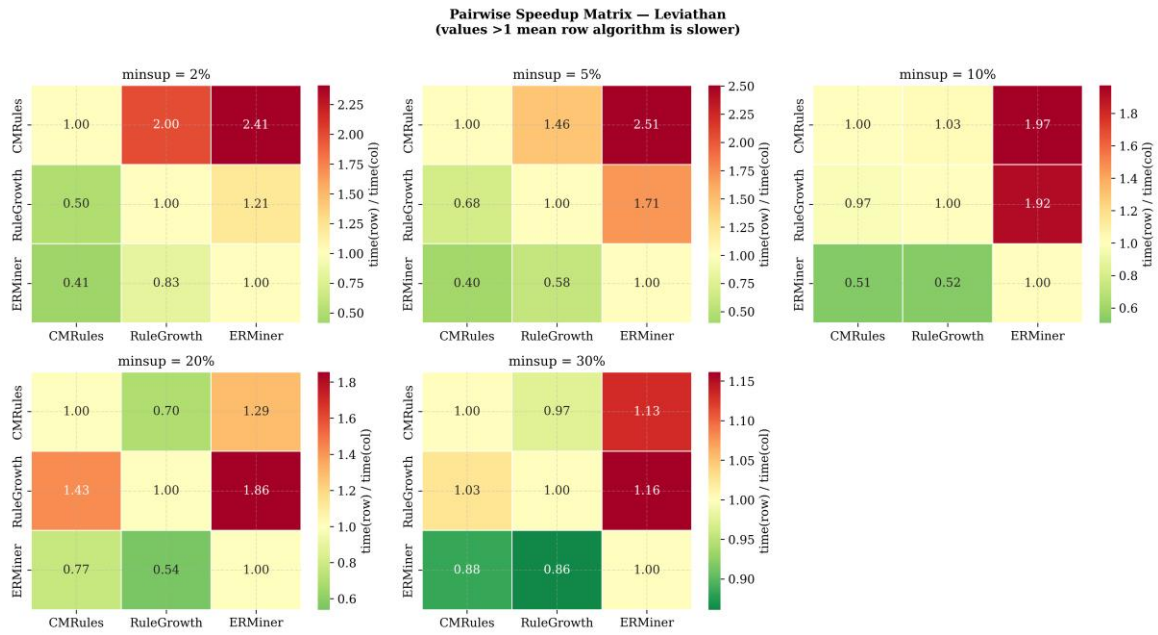


Figure 2. Pairwise speedup matrix (Leviathan). Values greater than 1 indicate that the row algorithm is slower than the column algorithm.

3.4. Number of Rules Discovered

On Leviathan, all three algorithms produced identical rule counts at every support level: 6,510 rules at minsup=2% and 12 rules at minsup=30%. This result experimentally confirms algorithmic completeness. On BMSWebView2, zero rules were produced under all configurations.

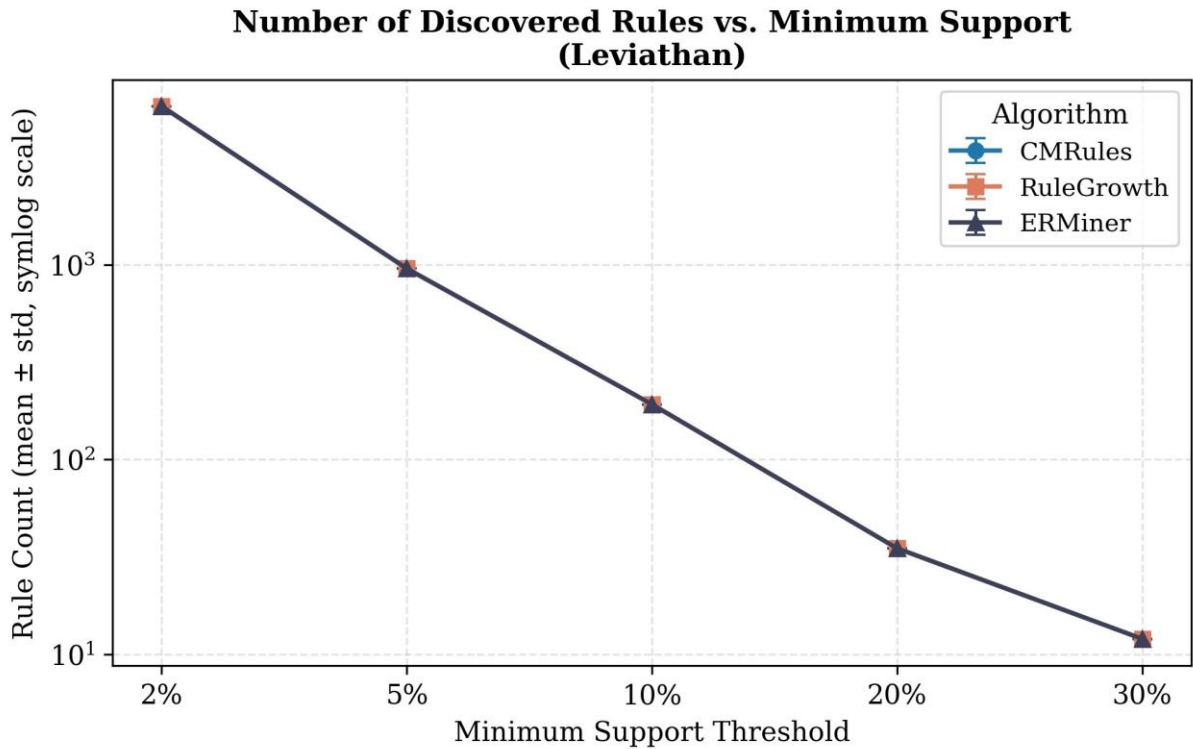
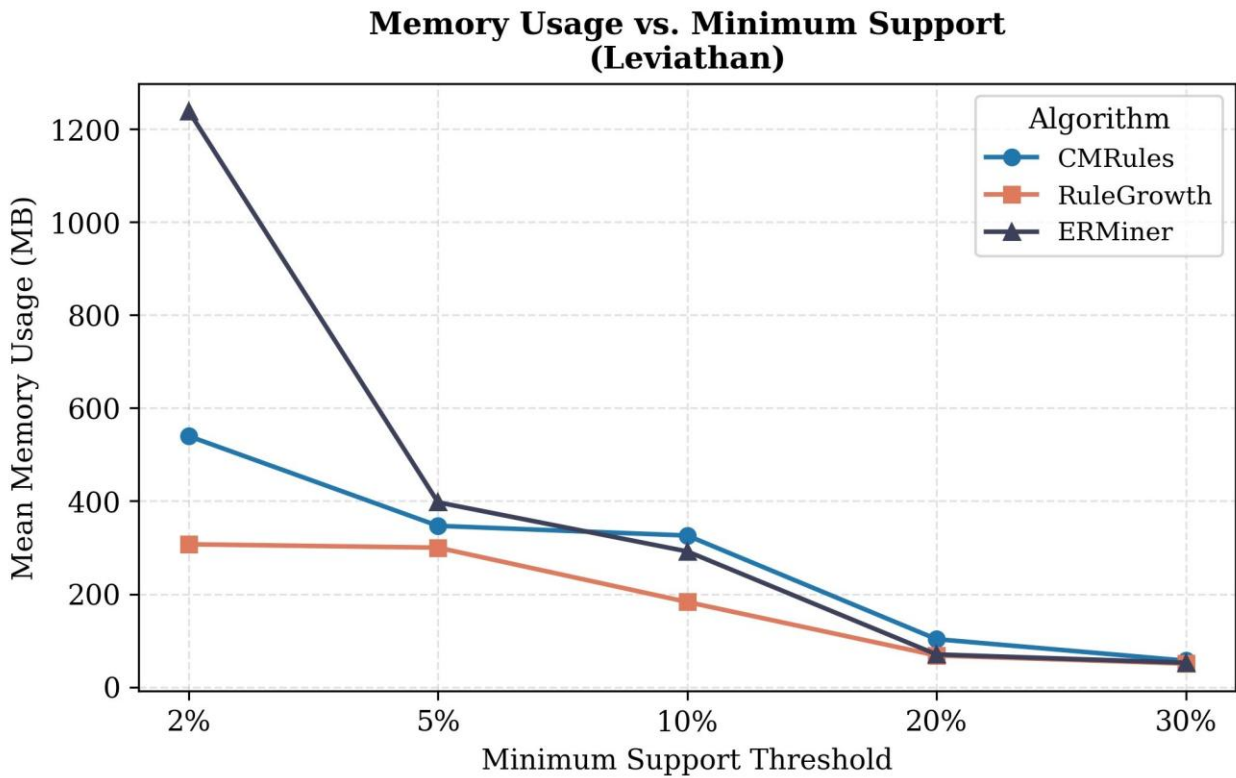


Figure 3. Number of rules discovered vs. minimum support (Leviathan, symlog scale)

3.5. Memory Consumption

ERMiner exhibits the highest memory usage at low support thresholds due to the fixed cost of the SCM structure: $\approx 1,238$ MB (RSS) at minsup=2% on Leviathan. This value drops sharply with higher support thresholds (≈ 53 MB at 30%). CMRules uses 540 MB on Leviathan at minsup=2%, falling to 57 MB at 30%. RuleGrowth has the lowest memory cost at 307 MB (RSS) at minsup=2%. Due to methodological differences in measurement, findings should be interpreted as trends rather than absolute values.



Memory source: SPMF-reported (CMRules) / psutil RSS (RuleGrowth, ERMiner)

Figure 4. Memory consumption vs. minimum support (Leviathan). Note: CMRules values are from SPMF heap tracing; others from psutil RSS sampling; absolute cross-algorithm comparison should not be made.

3.6. Scalability

Regression analysis revealed that the linear growth model provides the best fit across all algorithm-dataset combinations. Pearson r values range from 0.87 to 0.97 on BMSWebView2 and 0.91 to 0.98 on Leviathan. At full size on Leviathan, CMRules (≈ 0.93 s) is approximately 3 $\times$ slower than RuleGrowth and ERMiner (≈ 0.29 – 0.33 s).

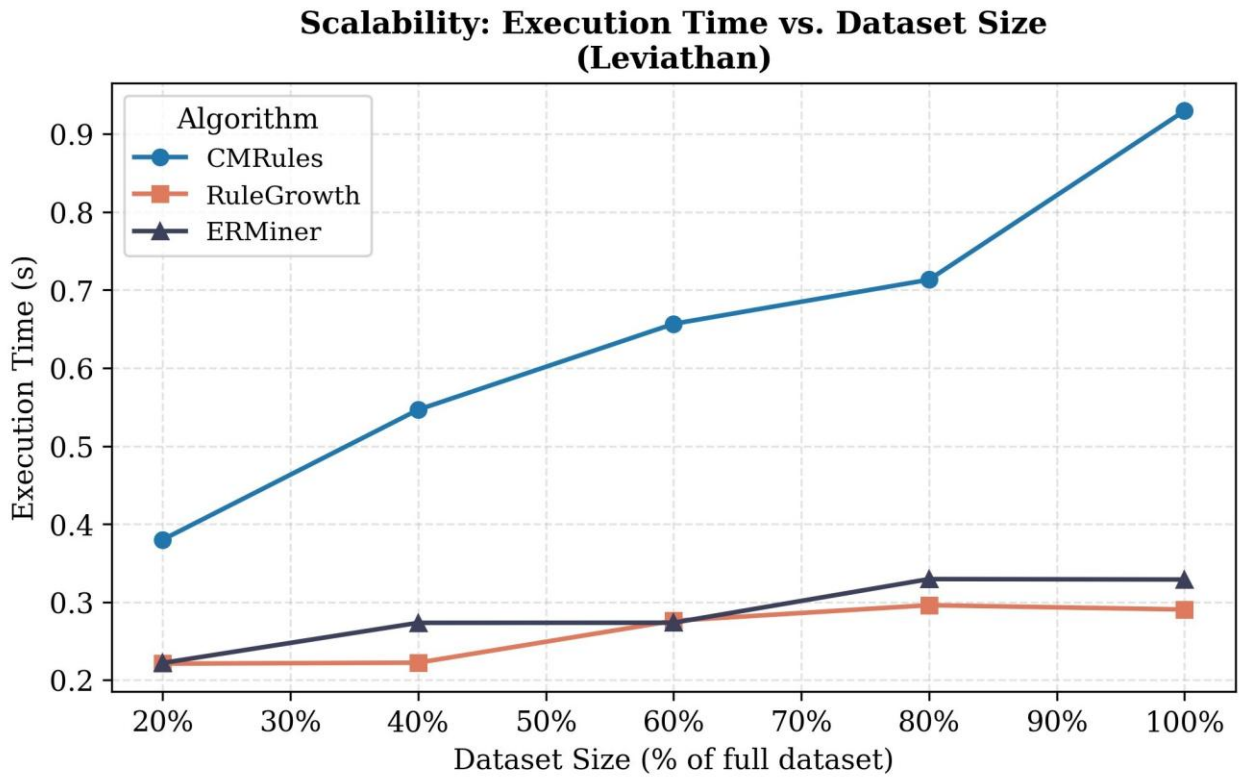


Figure 5. Scalability: runtime vs. dataset size (Leviathan)

Table 3. Scalability Regression Analysis (Linear Model)

Dataset	Algorithm	Pearson r	R ²	Model
BMSWebView2	CMRules	0.965	0.931	Linear
BMSWebView2	RuleGrowth	0.930	0.865	Linear
BMSWebView2	ERMiner	0.872	0.760	Linear
Leviathan	CMRules	0.983	0.967	Linear
Leviathan	ERMiner	0.946	0.895	Linear
Leviathan	RuleGrowth	0.913	0.834	Linear

4. DISCUSSION

The results are consistent with the findings in the original algorithm papers [2]–[4]. On the dense Leviathan dataset, ERMiner and RuleGrowth show a clear advantage over CMRules at low support thresholds; this outcome supports the superiority of pattern-growth and

equivalence-class approaches over the generate-and-test paradigm. On the sparse BMSWebView2, algorithm differences are lost under JVM overhead.

Given the heterogeneity in memory measurement methodology, each algorithm must be interpreted within its own profile. ERMiner exhibits the highest memory usage at low support thresholds, but this cost is offset by its speed advantage. RuleGrowth offers the most favorable speed-memory trade-off profile among the three algorithms. The zero-rule result on BMSWebView2 demonstrates the necessity of dataset pre-analysis before running SRM applications.

This study is limited to two datasets and a single confidence value (50%). The memory measurement method is not homogeneous across algorithms; SPMF heap was used for CMRules and psutil RSS for the others, allowing only trend-level interpretation rather than absolute comparison.

Table 4. Scenario-Based Algorithm Recommendations

Scenario	Recommended Algorithm
Dense dataset, sufficient memory	ERMiner
Memory-constrained environment	RuleGrowth
Sparse/small dataset	Any
Implementation simplicity preferred	CMRules

5. CONCLUSION

All three algorithms produce complete and identical rule sets; users can select an algorithm based on their needs without sacrificing rule quality. ERMiner outperforms CMRules in runtime at every support level tested; RuleGrowth outperforms CMRules at low-to-moderate support (2%–10%) but is overtaken by CMRules at higher support (20%–30%). The largest gap (ERMiner vs. CMRules) is observed on Leviathan at minsup=5%, reaching 2.51×. Memory findings should be interpreted as trends; ERMiner exhibits the highest memory profile at low support thresholds, while RuleGrowth offers the most favorable speed-memory trade-off. Scalability follows a linear growth model for all algorithms (r ranging from 0.87 to 0.98). ERMiner is recommended for dense datasets with sufficient memory, while RuleGrowth is preferred in memory-constrained environments.

REFERENCES

[1] P. Fournier-Viger, An introduction to sequential rule mining, The Data Mining Blog, 2015.

- [2] P. Fournier-Viger et al., CMRules: Mining sequential rules common to several sequences, Knowledge-Based Systems, vol. 25, pp. 63-76, 2012.
- [3] P. Fournier-Viger et al., RuleGrowth: Mining sequential rules common to several sequences by pattern-growth, Proc. ACM SAC, pp. 956-961, 2011.
- [4] P. Fournier-Viger et al., ERMiner: Sequential rule mining using equivalence classes, Proc. IDA, pp. 108-119, Springer, 2014.
- [5] P. Fournier-Viger et al., The SPMF open-source data mining library version 2, Proc. ECML-PKDD, pp. 36-40, 2016.
- [6] P. Yildirim Taser and O. Dogan, Sequential rule mining for analysis of customer movements in different visits, Proc. 4th European Int. Conf. on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM), Rome, Italy, Aug. 2021.

**DATASET OF SEVEN FRUIT AND ONE VEGETABLE CLASSES CAPTURED FOR
AGRICULTURAL AI APPLICATIONS**

Edibe Eylül EMEN

Erciyes University,

eylulemenn@outlook.com - ORCID ID: 0009-0007-9837-3129

Mehmet Safa BİNGÖL

Nigde Omer Halisdemir University,

msbingol@ohu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-4188-2025

Sertaç SAVAŞ

Erciyes University,

sertacsavas@erciyes.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8096-1140

ABSTRACT

In agricultural production and the food supply chain, the automatic recognition, classification, and quality assessment of fruits and vegetables is of great importance. In this study, an image dataset that was created to enable the development and testing of agricultural artificial intelligence applications and that covers a total of eight produce classes, namely seven fruits and one vegetable, is presented. The dataset consists of a total of 8597 images belonging to the fruits pear, strawberry, apple, kiwi, lemon, banana, and orange, and the vegetable carrot. While the dataset was being created, a balanced distribution among the classes was ensured. Each image contains only a single product. In order to create a realistic dataset, rotten and defective samples, products at different color and ripeness levels, and partial images in which only a part of the product is visible were also deliberately added to the dataset. This diversity supports the developed models in working stably under nonideal imaging conditions as well. The presented dataset can be used in the training and evaluation of deep learning based tasks such as product classification, defect detection, ripeness analysis, and automatic product sorting. Owing to its balanced structure and the realistic variations it contains, the dataset is a valuable resource for both academic research and precision agriculture and food processing applications.

Keywords: Deep learning, fruit and vegetable classification, image dataset.

1. INTRODUCTION

The agricultural sector is increasingly turning to automation in production, harvest, and postharvest processes in order to sustainably meet the food needs of the growing world population. In this transformation, computer vision and deep learning methods are frequently used. Deep learning methods have assumed a central role in the automatic recognition, classification, and quality assessment of fruits and vegetables [1]. In particular, convolutional neural networks have begun to replace traditional methods by achieving high accuracy rates in tasks such as product sorting, ripeness detection, defect and rottenness inspection, and yield estimation [2]. However, the performance of these models largely depends on the size of the datasets used for training, their balance across classes, and the degree to which they reflect real world diversity. A significant portion of the existing datasets may be insufficient for practical applications because they contain a limited number of classes, were collected under ideal and controlled conditions, and do not sufficiently include rotten or partially visible samples.

Montalban-Faet et al. created the CampanetaOrangeFruit dataset [3]. They used images obtained with a DJI Mavic 3 Multispectral UAV in a commercial citrus orchard. The dataset consists of 550 synchronized RGB and four multispectral band (R, G, RE, NIR) images. It contains a total of 2750 images and 301232 orange annotations. The dataset, which ensures pixel alignment and geometric consistency between the spectral bands through a homography based reprojection method, provides an important reference for fruit detection, yield estimation, and the development and comparison of cross spectral deep learning models. Bhatt and Joshi created a dataset of the Kalipatti variety of sapota fruits grown in the state of Gujarat [4]. The dataset consists of 16826 images and includes different backgrounds and lighting conditions. The dataset, which covers fresh and spoiled fruits as well as different size classes, contributes to the development of real time fruit classification, grading, and machine vision based agricultural automation systems. Unnikrishnan et al. present a multimodal dataset containing more than 14000 sRGB images, 14500 IR fusion images, and methane sensor data belonging to six different fruits and vegetables, namely guava, carrot, tomato, Indian gooseberry, banana, and mango [5]. The dataset, which brings together visual, thermal, and chemical spoilage indicators, provides an important resource for the noninvasive assessment of product freshness, shelf life estimation, spoilage detection, and the development of artificial intelligence assisted smart agriculture applications.

Bijoy et al. present a large scale fruit dataset consisting of 81232 images that also includes three quality classes, namely fresh, rotten, and formalin mixed, for apple, banana, mango, orange, and grape types [6]. The dataset was obtained with different mobile devices and was enriched with data augmentation techniques. It constitutes an important resource for ensuring food safety, automating formalin detection, and developing machine learning based quality control systems. Abedin et al. present a balanced dataset consisting of leaves belonging to 10 different fruit types commonly found in Bangladesh and containing a total of 3173 high resolution images [7]. The dataset was obtained with standardized smartphones under controlled light conditions. It provides an important resource specific to the South Asia region for the development of leaf based plant recognition, automatic product classification, and agricultural

monitoring systems. Salcedo-Navarro et al. present the CampanetaWeed dataset [8]. The dataset contains more than 10000 images consisting of RGB and four multispectral bands and 271000 labeled objects, obtained at different periods with a DJI Mavic 3 Multispectral UAV in a commercial orchard. The dataset covers six weed types and one soil degradation class. It provides an important resource for weed detection and the development of sustainable precision agriculture applications. Shihab et al. created a dataset of healthy and diseased guava fruits and leaves collected from different regions of Bangladesh [9]. The dataset presents a comprehensive dataset containing 3432 real images and 20344 images created as a result of data augmentation methods. The dataset, which covers diseases such as anthracnose, scab disease, blossom end rot, canker, and rust, contributes to the development of machine learning and computer vision based automatic diagnosis systems for the early detection of guava diseases.

The main contribution of this study is the presentation of a balanced dataset of a total of 8597 images that is designed for agricultural artificial intelligence applications, that covers eight product classes (pear, strawberry, apple, kiwi, lemon, banana, orange, and carrot). The created dataset includes not only samples under ideal conditions but also rotten and defective products, samples at different color and ripeness levels (for example, apples in different colors), and partial images in which only a part of the product is visible. The fact that each image contains a single product enables the dataset to be used flexibly in tasks such as both classification and quality/rottenness detection. In this respect, the dataset has the quality of a reliable benchmark resource for the development and comparative evaluation of models that are robust to real world conditions.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Image Collection

The images that make up the dataset were captured using the camera of Vivo Y16, Iphone 7 plus, Iphone 11, and Iphone 17 pro smartphone. During the shooting, the composition was arranged so that only a single product would appear in each image. In order for the dataset to reflect real world conditions, in addition to fresh and intact samples, rotten and defective products, samples at different color and ripeness levels (for example, apples in red, green, and yellow tones), and partial images in which only a part of the product enters the frame were also deliberately collected. Thus, the dataset covers not only ideal conditions but also the variable imaging scenarios that may be encountered in practice.

2.2. Preprocessing and Organization

All captured images were resized to a resolution of 600×600 pixels in order to provide a uniform input size to the artificial intelligence models. The images were stored in the RGB color space and in JPEG format. The dataset was organized under eight separate folders, each bearing the name of the relevant class, and each image was labeled with the single class to which it belongs. This folder based structure allows the dataset to be used directly with common deep learning libraries such as PyTorch and Keras. No data augmentation operation was applied to the created

dataset. The raw images were presented. Thus, users can freely apply the data augmentation methods and the training/validation/test split that are appropriate for their own studies.

3. DATA DESCRIPTION

The presented dataset consists of 8597 color images belonging to a total of eight product classes, namely seven fruits (pear, strawberry, apple, kiwi, lemon, banana, orange) and one vegetable (carrot). The numbers of images per class are, respectively, 1045 for pear, 1126 for strawberry, 1143 for apple, 1048 for kiwi, 1020 for lemon, 1091 for banana, 1063 for orange, and 1061 for carrot. The distribution of the dataset is given in Table 1 and Figure 1. The average number of images per class is approximately 1075, and the ratio between the class with the fewest samples (lemon, 1020) and the class with the most samples (apple, 1143) is only 1.12. This narrow range shows that the dataset has a balanced distribution across classes and that there is no dominant or under represented class. Therefore, the dataset can be used in training without the need for any class balancing operation.

All images are at a resolution of 600×600 pixels and in the RGB color space. Each image contains only a single product. The rotten/defective samples, the products at different color and ripeness levels, and the partially visible images contained in the dataset ensure that the dataset reflects real world diversity.

Table 1. Distribution of the dataset by class

Class	Number of Images	Type
Pear	1045	Fruit
Strawberry	1126	Fruit
Apple	1143	Fruit
Kiwi	1048	Fruit
Lemon	1020	Fruit
Banana	1091	Fruit
Orange	1063	Fruit
Carrot	1061	Vegetable
Total	8597	-

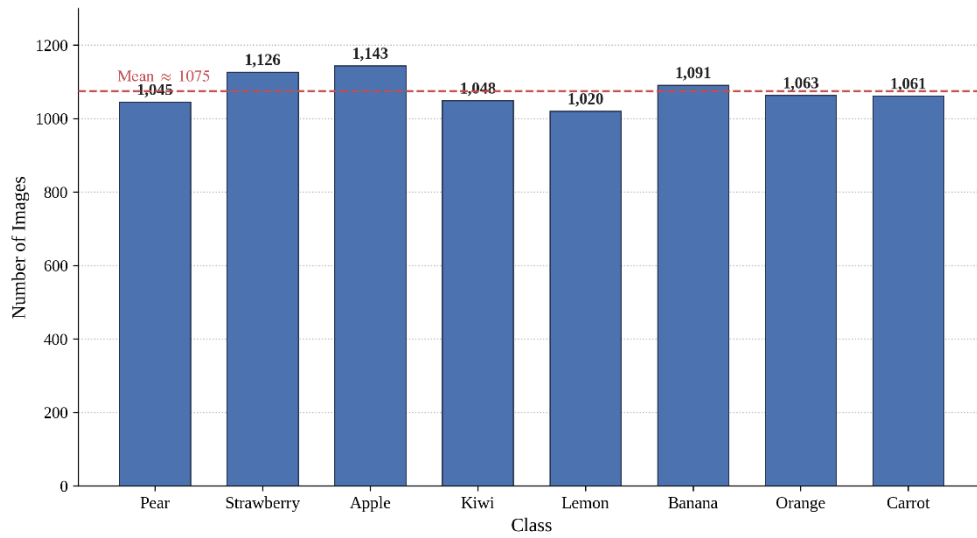


Figure 1. Distribution of images by class in the dataset

The file structure of the dataset is given in Figure 2.

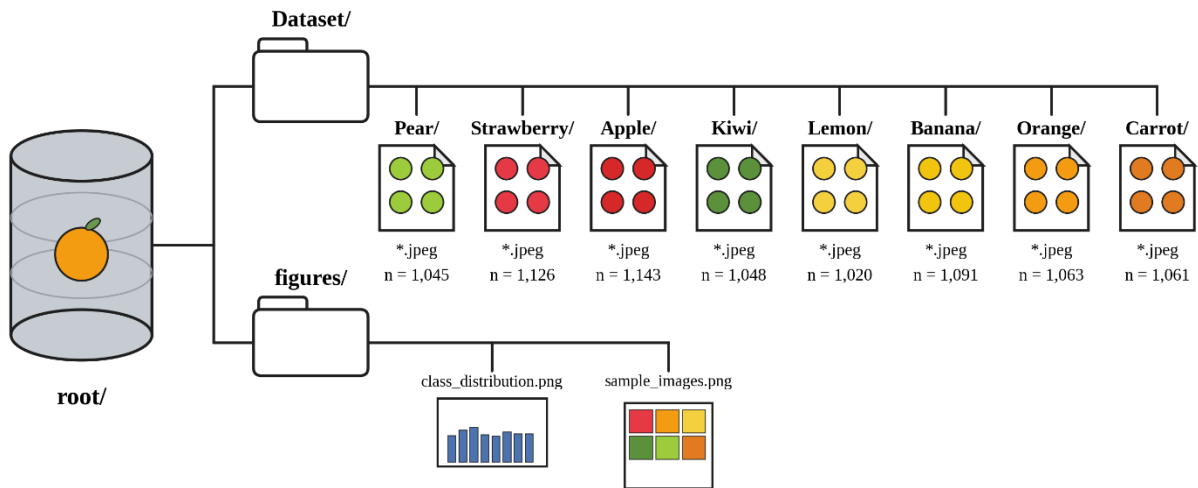


Figure 2. File structure of the dataset

The specifications of the dataset are given in Table 2. Sample images from the dataset are given in Figure 3.

Table 2. Dataset specifications

Subject	Computer sciences, Agriculture engineering
Specific subject area	Image classification, Machine learning, Deep learning
Type of data	Image (JPEG)
Data collection	The images were taken with Vivo Y16, Iphone 7 plus, Iphone 11, and Iphone 17 pro phone camera, with the fruits placed on a white background.

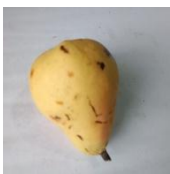
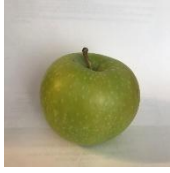
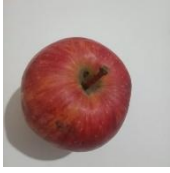
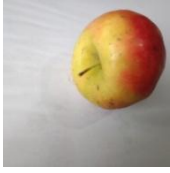
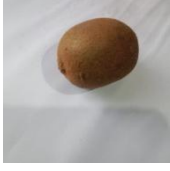
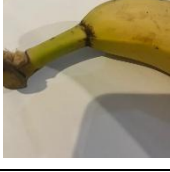
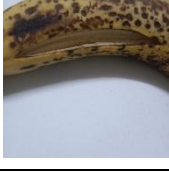
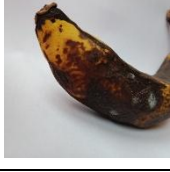
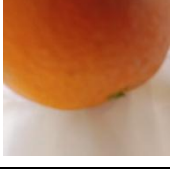
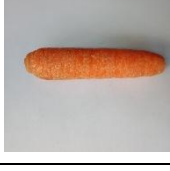
Pear					
Strawberry					
Apple					
Kiwi					
Lemon					
Banana					
Orange					
Carrot					

Figure 3. Sample images from dataset

4. CONCLUSIONS AND DISCUSSIONS

In this study, a balanced image dataset consisting of a total of 8597 images and covering eight product classes, namely seven fruits and one vegetable, for agricultural artificial intelligence

applications was presented. All images were captured with Vivo Y16, Iphone 7 plus, Iphone 11, and Iphone 17 pro smartphone. All images are at a resolution of 600×600 pixels and in the RGB color space. One of the most important aspects of the dataset is that it includes not only samples under ideal conditions but also rotten and defective products, samples at different color and ripeness levels, and partial images in which only a part of the product is visible. This diversity brings the dataset closer to real world conditions and enables the development of models that work robustly under variable conditions.

The presented dataset can form the basis for a wide variety of deep learning based studies. First of all, it is possible to train and compare different deep learning architectures for the classification task on the eight classes. The presence of rotten and defective samples in the dataset can be used for the development of a quality and freshness detection model based on the fresh/rotten distinction. Samples at different color and ripeness levels, on the other hand, enable ripeness and variety analysis. Subsets consisting of partial and defective images can be used to measure the robustness of the models under nonideal conditions. In addition, the dataset is also suitable for studies such as transfer learning, the investigation of the effect of data augmentation strategies, and the development of lightweight models that will run on mobile devices. From a practical point of view, it can contribute to the development of real world solutions such as automatic product sorting in packing facilities, quality control in the supply chain, automatic product recognition in markets, and smartphone applications aimed at farmers or consumers. The balanced structure of the dataset provides the opportunity for fair training and evaluation without the need for any balancing operation between classes. In these respects, the presented dataset constitutes both a reliable benchmark resource for academic research and a valuable foundation for practical applications in the field of precision agriculture and food processing.

Limitations

The presented dataset has some limitations. First, the images are labeled only with a class label at the image level. The dataset does not contain bounding boxes or segmentation masks. Therefore, it cannot be used directly in object detection or segmentation applications without additional labeling. Second, the rotten, partial, and different colored samples in the dataset are not marked with separate sublabels. This situation may require manual labeling so that users can filter according to these characteristics. These limitations can be overcome in future studies by increasing the number of classes, adding detailed condition labels (rotten/fresh, partial/whole), and providing additional annotations for object detection.

REFERENCES

[1]. Espinoza, S., Aguilera, C., Rojas, L., & Campos, P. G. (2023). Analysis of fruit images with deep learning: A systematic literature review and future directions. *IEEE Access*, 12, 3837-3859.

- [2]. Sultana, S., Tasir, M. A. M., Nobel, S. N., Kabir, M. M., & Mridha, M. F. (2024). XAI-FruitNet: An explainable deep model for accurate fruit classification. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101474.
- [3]. Montalban-Faet, G., Navarro-Modesto, E., Salcedo-Navarro, A., Fayos-Jordan, R., Benlloch-Caballero, P., Garcia-Pineda, M., & Segura-Garcia, J. (2026). Dataset for orange fruit detection from UAV in citrus orchards. *Data in Brief*, 112733.
- [4]. Bhatt, A., & Joshi, M. (2025). Dedicated dataset of Sapota (*Manilkara zapota*) fruit for machine vision applications. *Data in Brief*, 111896.
- [5]. Unnikrishnan, D., Deepak, K., & PTS, Y. A. (2026). Multimodal perishable fruits and vegetables dataset. *Data in Brief*, 112545.
- [6]. Bijoy, M. H. I., Tasnim, S. Z., Awsaf, S. A., & Hasan, M. Z. (2025). FruitVision: A benchmark dataset for fresh, rotten, and formalin-mixed fruit detection. *Data in Brief*, 61, 111752.
- [7]. Abedin, M., Islam, S., & Sultana, N. (2025). Comprehensive data of 10 fruit leaf classes captured for agricultural AI applications. *Data in Brief*, 111879.
- [8]. Salcedo-Navarro, A., Montalban-Faet, G., Garcia-Pineda, M., & Segura-Garcia, J. (2025). Dataset for weed detection in fruit orchards. *Data in Brief*, 112276.
- [9]. Shihab, M. R., Saim, N. I., Mojumdar, M. U., Raza, D. M., Siddiquee, S. M. T., Noori, S. R. H., & Chakraborty, N. R. (2025). Image dataset for classification of diseases in guava fruits and leaves. *Data in Brief*, 59, 111378.

MEYBEAT: MÜZİK BEAT PAZARYERİ İÇİN TEMİZ MİMARİ TABANLI WEB PLATFORMU TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ

Eyüp OLGUN

*Lisans Öğrencisi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
Bolu, Türkiye*

Email: 213405053@ogrenci.ibu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0005-8005-6868

Melikenur KAYA

*Lisans Öğrencisi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
Bolu, Türkiye*

Email: melike.kaya603@gmail.com - ORCID ID: 0009-0009-3255-7122

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet MİLLİ

*Tez Danışmanı, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
Bolu, Türkiye*

Email: mehmetmilli@ibu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-0759-4433

ÖZET

Bu çalışmada, bağımsız müzik yapımcıları (beatmaker) ile şarkı yazarları, rapçiler ve vokalistler arasındaki beat lisanslama ve ticaret süreçlerini dijitalleştiren "MeyBeat" adlı çevrimiçi müzik beat pazaryeri platformu tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Türkiye pazarına yönelik yerel ve Türkçe arayüzlü bir alternatif eksikliğini gidermeyi hedefleyen bu platform; beat yükleme, esnek lisanslama modelleri (Basic, Premium, Exclusive, BuyOut), teklif müzakere sistemi, duyuru panosu, gerçek zamanlı anlık bildirimler, ses filigranı (watermark) oluşturma ve kullanıcılar arası sosyal etkileşim özelliklerini bir arada barındırmaktadır. Sistemin arka ucu, C# 12 dili ve .NET 9.0 çerçevesi kullanılarak beş katmanlı Temiz Mimari (Clean Architecture) prensiplerine göre yapılandırılmıştır. Bu sayede iş mantığı ve altyapı bileşenleri birbirinden başarıyla yalıtılmıştır. Veri kalıcılığı PostgreSQL 15 ve Entity Framework Core 9 ile sağlanırken; durumsuz kimlik doğrulama JWT standardıyla, oturum iptali ise Redis tabanlı token kara listesi mekanizmasıyla yönetilmiştir. Fikri mülkiyet koruması için geliştirilen özgün ses filigranı algoritması, NAudio kütüphanesi aracılığıyla ham ses dosyalarına her 30 saniyede bir 440 Hz frekansında sinüs dalgası tonu enjekte ederek en fazla 90 saniyelik önizleme dosyaları üretmektedir. Platformun ön ucu Next.js 15, React 19 ve TypeScript 5 ile geliştirilmiş; istemci durum yönetimi Zustand, sunucu durumu TanStack React Query ve ses dalga formu görselleştirmesi wavesurfer.js ile gerçekleştirilmiştir. Gerçek zamanlı iletişim SignalR protokolü ile kurulmuştur. Yapılan işlevsellik ve performans testleri, sistemin tüm senaryolarda başarıyla çalıştığını, API yanıt sürelerinin önbellekleme sayesinde 45 ms'den 8 ms'ye kadar düştüğünü doğrulamıştır.

Anahtar Kelimeler: Temiz Mimari, Beat Pazaryeri, Ses Filigranı, JSON Web Token, Redis, SignalR, PostgreSQL, ASP.NET Core

1. GİRİŞ

Dijital müzik ekonomisinin küresel ölçekte hızla büyümesiyle birlikte, müzik prodüksiyonu artık yalnızca stüdyo ortamlarına değil küresel çevrimiçi ağlara da taşınmıştır. Bu bağlamda, müzik yapımcıları (beatmaker) ile sanatçılar arasındaki lisanslama ve telif ticareti süreçleri de köklü bir dönüşüm geçirmektedir. Watson ve Leyshon (2022) [22] tarafından belirtildiği üzere, dijital müzik teknolojilerindeki aracısızlaştırma ve platformlaşma dalgası bağımsız müzik profesyonellerinin küresel pazarlara doğrudan erişimini kolaylaştırmaktadır. Geleneksel stüdyo ortamlarının, hukuki aracı kurumların ve fiziksel kopya dağıtımlarının yerini; üretici ile alıcıyı doğrudan buluşturan ve işlemleri otomatikleştiren çevrimiçi "peer-to-peer" (eşler arası) dijital pazaryeri modelleri almıştır. BeatStars ve Airbit gibi uluslararası platformlar bu yeni pazar yapısının öncüleri konumundadır [19, 20]. Ancak bu platformların yerel para birimlerini, Türkçe dil desteğini ve Türkiye'deki bağımsız müzisyenlerin kültürel-teknik ihtiyaçlarını doğrudan karşılayan optimize bir alternatifinin bulunmaması, yerli üreticileri yüksek komisyon oranları ve döviz kuru engelleri ile karşı karşıya bırakmaktadır.

Diğer taraftan, Hracs ve Webster (2021) [24] platformların yalnızca satış odaklı olmayıp kullanıcı deneyimi ve sosyal içerik keşfi üzerinden de farklılaşması gerektiğini savunmaktadır. Bağımsız müzik platformlarında (örneğin Bandcamp) gözlemlenen gelir eşitsizliği ve küçük bir üretici kitlesinin görünürlük avantajına sahip olması [25], platformların sosyal kolaborasi, duyuru ilanları ve sosyal etkileşim araçlarını bütünleşik olarak sunmasını zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda, yazılım mühendisliği tasarımı açısından hem iş mantığını altyapı bağımlılıklarından yalıtın Temiz Mimari (Clean Architecture) [1] prensipleri hem de veri tabanına doğrudan yük bindirmeden soyut erişim sağlayan Repository desenleri [3] sistemin ölçeklenebilirliği için kritik önem taşımaktadır. Ayrıca, dinleyiciler ve üreticiler arasında anlık veri transferi ve gerçek zamanlı anlık bildirim akışı sağlamak için WebSockets gibi iki yönlü kalıcı bağlantı protokollerinin kullanılması modern web mimarisinin temel yapı taşıdır [8]. Telif hakkı koruması ve fikri mülkiyet güvenliği ise dijital müzik pazaryerlerindeki en hassas konudur. Satın alınmamış beatlerin izinsiz indirilerek kullanılmasını engellemek üzere audible (işitsel) dijital ses filigranı (audio watermarking) tekniklerinin uygulanması bir güvenlik gereksinimi olarak öne çıkmaktadır [6].

Bu çalışmada, Türkiye'deki müzik üretim ekosisteminin bu eksikliğini gidermeyi hedefleyen, ölçeklenebilir, güvenli ve sürdürülebilir bir müzik beat pazaryeri platformu olan "MeyBeat" tasarlanmış ve geliştirilmiştir. MeyBeat; beatmaker'ların dijital eserlerini farklı lisans modelleriyle (Basic, Premium, Exclusive, BuyOut) sergileyebildikleri bir vitrin sağlarken; vokalist ve şarkı yazarlarının ihtiyaç duydukları beatleri kolayca bulabilmelerine, teklif müzakereleri yürütebilmelerine ve duyuru panosu aracılığıyla spesifik beat talepleri yayınlatabilmelerine olanak tanımaktadır.

2. MEYBEAT SİSTEM MİMARİSİ VE METODOLOJİ

2.1. Genel Sistem Mimarisi ve İşlevsel Modüller

MeyBeat; istemci (ön uç), uygulama sunucusu (arka uç API) ve veri depolama katmanlarından oluşan üç katmanlı bir istemci-sunucu mimarisine sahiptir. İstemci katmanı Next.js 15 framework'ü [14] ile geliştirilmiş, API katmanı ise .NET 9.0 [11] ve C# 12 ile kodlanmıştır. Veri depolama tarafında ilişkisel veri kalıcılığı için PostgreSQL 15 [13], dağıtık önbellekleme

ve oturum iptali için Redis 7 [9] ve medya dosyası depolama işlemleri için AWS S3 API uyumlu MinIO ile AWS S3 nesne depolama servisleri [15] entegre edilmiştir. Platform, sosyal iş birliğini artırmak üzere beş işlevsel modüle ayrılmıştır:

1. Beat Paylaşım Akışı ve Keşif: Kullanıcılar, müzik dosyalarını BPM, tür ve ruh hali etiketleriyle yükler. Akış, zaman çizgisi tabanlı gönderileri kişiselleştirilmiş önerilerle harmanlar. Müzik bilgi edinimi (MIR) literatüründeki işbirlikçi filtreleme teorilerine [3] uygun olarak, kullanıcının favori etkileşimleri tür tercihlerini modellemede girdi olarak kullanılır.
2. Portfolyo Profilleri: Kullanıcıların biyografilerini, yükledikleri beat vitrinlerini, takipçi istatistiklerini ve uzmanlık etiketlerini barındırır.
3. İş İlanı Sistemi: Sektöre özgü iş akışları (vokal, mix/mastering vb.) üzerinden teklif aşamasına geçişi sağlayan ilan panosudur.
4. Gerçek Zamanlı Mesajlaşma: Kullanıcıların platformun herhangi bir yerindeyken anlık iletişim kurmasını sağlayan WebSocket tabanlı sohbet modülüdür.
5. Ses Dalga Formu Görselleştirmesi: Wavesurfer.js kütüphanesi yardımıyla ses dosyalarının dalga formunu tarayıcıda dinamik olarak çizen oynatıcıdır.

2.2. Temiz Mimari Katman Yapısı

Uygulamanın arka ucu, bağımlılıkların içe doğru akması prensibine dayanan Temiz Mimari (Clean Architecture) [1] şablonuna göre beş katmanlı bir yapıda tasarlanmıştır. Bu katmanlar şunlardır:

- Core (MeyBeat.Core): Bağımsız en iç katmandır. Veritabanı varlıkları (Entity), arayüz tanımları (Interface), enumlar ve tüm servislerin döndürdüğü homojen sonuç tipi olan `ServiceResult<T>` sarmalayıcı sınıfı bu katmandadır. Evans (2003) [2] tarafından tanımlanan Alan Odaklı Tasarım (Domain-Driven Design) prensipleri çerçevesinde iş kuralları varlık modelleri (Beat, Offer, Announcement, Conversation) ile temsil edilmiştir.
- DataAccess (MeyBeat.DataAccess): Entity Framework Core 9 [12] ve PostgreSQL veri tabanı bağlamını (DbContext) içerir. Repository ve Unit of Work somut sınıf uygulamaları burada bulunur [3].
- Business (MeyBeat.Business): Uygulamanın tüm iş kurallarını barındırır. Core katmanındaki arayüzlerin servis implementasyonları bu katmandadır.
- Infrastructure (MeyBeat.Infrastructure): Dış dünya entegrasyonlarını kapsar. JWT üretimi, AWS S3/MinIO dosya işlemleri, Redis dağıtık önbellek yönetimi, e-posta gönderimi, SignalR bildirim altyapısı ve ses filigranı ekleme süreçleri bu katmanda gerçekleştirilir.
- API (MeyBeat.API): RESTful mimarisine [21] uygun tasarlanmış controller sınıflarını ve DI konfigürasyonlarını barındıran dış katmandır. Core katmanındaki tüm varlıklar BaseEntity sınıfından türetilmiştir ve veri geçmişini korumak, silinen verileri geri yükleyebilmek ve yabancı anahtar bütünlüğünü bozmamak amacıyla yumuşak silme (soft-delete) mekanizması uygulanmıştır.

2.3. Ses Filigranı (Audio Watermarking) Algoritması

Fikri mülkiyetin korunması amacıyla platforma yüklenen beat dosyaları (MP3/WAV), WatermarkService isimli özgün bir ses işleme servisi tarafından işlenerek audible (işitsel) filigranlı önizleme dosyalarına dönüştürülmektedir. Ses filigranlama alanındaki temel

sınıflandırmalara uygun olarak [6], yetkisiz kullanımı caydırmak üzere insan kulağıyla duyulabilir ancak parçayı ticari olarak kullanılamaz kılan bir audible filigran tercih edilmiştir. Bu durum, insan kulağı tarafından fark edilmeyen gizli steganografik yaklaşımlara [7] kıyasla pazaryerleri için daha caydırıcıdır. Li (2022) [23] telif hakkı doğrulaması için blok zinciri tabanlı dağıtık modeller önerse de, bu çalışmada merkezi API tabanlı hızlı ve pratik bir doğrulama altyapısı kurulmuştur. NAudio ve NAudio.Lame kütüphaneleri [16] kullanılarak gerçekleştirilen bu algoritma şu işlem adımlarını yürütmektedir:

1. Ses Dosyası Okuma: Dosya formatına göre uygun okuyucu (.mp3 için Mp3FileReader, .wav için WaveFileReader) başlatılır. Diğer formatlar için WaveFormatConversionStream ile hedef biçime dönüştürülür.
2. Örneklem Dönüşümü: Karıştırma işleminin hatasız gerçekleşmesi için ses akışı evrensel referans formatı olan IEEE Float Stereo (44100 Hz, 2 kanal, 32-bit float) formatına dönüştürülür.
3. Süre Kırpma (Truncation): Parçanın ticari değerinin korunması için toplam süre kontrol edilir; eğer parça 90 saniyeden uzunsa, akış TruncatingSampleProvider ile 90. saniyede kesilir ve truncation bayrağı true set edilir.
4. Ses Filigranı Bindirme: Referans frekansı olan 440 Hz'lik bir sinüs dalgası tonu (genlik = 0.15f, süre = 1.5 sn) her 30 saniyede bir (0s, 30s, 60s...) SineWaveProvider ve mixing overlay yardımıyla ana ses akışına bindirilir.
5. Kodlama: Stereo akış MixingSampleProvider ile karıştırıldıktan sonra LameMP3Writer aracılığıyla 192 kbps MP3 olarak buluta kaydedilir. Referans frekansının 440 Hz (La notası) seçilmesinin sebebi, bu tonun insan kulağının en duyarlı olduğu 1 kHz frekans aralığının hemen altında yer alması, müzik aletlerinin akort referansı olması ve temiz sinüs üretiminin işlemci üzerinde düşük maliyet oluşturmalarıdır. 0.15f genlik değeri, müziğin gürültü oranını bozmadan yetkisiz kullanımı engelleyecek duyulabilir eşiği sağlamak üzere ampirik testler sonucunda belirlenmiştir.

2.4. Güvenlik ve Yetkilendirme Mekanizmaları

MeyBeat'te kullanıcı kimlik doğrulama işlemleri durumsuz (stateless) yapıda çalışan RFC 7519 JWT Bearer token standardı ile gerçekleştirilmektedir [4]. Access token'ların çalınma riskine karşı geçerlilik süreleri 1 saat olarak sınırlandırılmıştır. Oturum sürekliliği için 7 gün geçerli refresh token'lar Redis [9] veri tabanında saklanır. Kullanıcı çıkış yaptığında (logout) access token'ın kalan ömrü hesaplanarak token imzası Redis üzerinde bir kara listeye (blacklist) eklenmekte ve TTL (yaşam süresi) ataması yapılmaktadır. JwtMiddleware bileşeni, her HTTP isteğinde token'ın bu kara listede olup olmadığını kontrol ederek iptal edilen oturumların sisteme erişmesini engellemektedir [5]. Ayrıca beat yükleme ve teklif gönderme gibi kritik iş akışları, kullanıcının e-posta doğrulama durumunu sorgulayan ve sonucu 5 dakika boyunca önbelleğe alan özel bir [VerifiedUser] aksiyon filtresi ile korunmaktadır.

2.5. Ön Uç ve Gerçek Zamanlı Bildirim Mimarisi

Uygulamanın ön ucu Next.js 15 App Router mimarisine göre yapılandırılmıştır [14]. İstemci tarafında durum yönetimi iki boyutta ele alınmıştır: Sunucu tabanlı dinamik verilerin yönetimi ve önbellek kontrolü TanStack React Query v5 [17] ile sağlanırken, global istemci arayüz

durumları Zustand kütüphanesi [18] ile yönetilmiştir. Kullanıcı etkileşimlerinin anlık olarak iletilebilmesi için SignalR WebSocket altyapısı kullanılmıştır [10]. Kullanıcı oturum açtığında istemci arka uçtaki /hubs/notifications WebSocket endpoint'ine otomatik olarak bağlanır. Bağlantı koptuğu takdirde istemci withAutomaticReconnect() yapılandırması sayesinde arka planda üstel geri çekilme algoritmasıyla yeniden bağlanmayı dener [8]. Çevrimdışı kalan sürede kaçırılan bildirimler, ilk sayfa yüklemesinde REST API üzerinden PostgreSQL veritabanından çekilerek arayüze yansıtılır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

3.1. Temel İşlevsellik Testleri

Geliştirilen platform, Docker Compose ortamında PostgreSQL, Redis ve MinIO servisleri simüle edilerek kapsamlı işlevsellik testlerine tabi tutulmuştur. Çekirdek kullanım senaryolarında elde edilen test bulguları Çizelge 3.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Temel İşlevsellik Test Sonuçları

Test Senaryosu	Beklenen Sonuç	Durum
Kullanıcı kaydı ve giriş	JWT ve Refresh Token üretilmesi	GEÇTİ
Geçersiz şifre ile giriş denemesi	401 Unauthorized hata kodu alınması	GEÇTİ
Beat yükleme (MP3 formatında)	Filigranlı önizleme üretimi ve S3 yüklemesi	GEÇTİ
Teklif kabul iş akışı	Beat'in Sold olması, bekleyenlerin Rejected olması	GEÇTİ
Çıkış (Logout) sonrası istek	Access token kara listelenmesi ve 401 hatası	GEÇTİ
Yumuşak silme (Soft-delete) sorgusu	Silinen kaydın standart listelemede gizlenmesi	GEÇTİ

3.2. Ses Filigranı ve Süre Sınırı Doğrulaması

WatermarkService bileşeninin doğruluğu ve güvenilirliği, farklı formatlarda ve uzunluklardaki giriş ses dosyaları kullanılarak test edilmiştir. Algoritmanın çıktı dosyalarında süre kırpma (truncation) ve eklenen filigran sayıları üzerindeki doğrulaması Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ses Filigranı Test Sonuçları

Giriş Formatı	Giriş Süresi	Çıkış Süresi	Filigran Sayısı	Kırpma (Truncation)
MP3 128 kbps	45 sn	45 sn	2 (0s, 30s)	Hayır
MP3 320 kbps	120 sn	90 sn	3 (0s, 30s, 60s)	Evet
WAV 44.1 kHz Stereo	75 sn	75 sn	3 (0s, 30s, 60s)	Hayır
MP3 Mono	60 sn	60 sn	2 (0s, 30s)	Hayır

Bulgular, geliştirilen ses filigranı enjeksiyonunun kaynak dosyanın kanal yapısını (mono/stereo) ve bit hızını bozmadan, beklenen periyotlarda koruma tonunu eklediğini ve 90 saniye üst sınırını hassas biçimde uyguladığını kanıtlamaktadır.

3.3. API Performansı ve Yanıt Süreleri

Platformun kullanıcı deneyimini ölçümlemek amacıyla en sık çağrılan API uç noktaları için ortalama yanıt süreleri analiz edilmiştir. Testler 10 eşzamanlı istek (concurrent requests) simülasyonu altında yapılmış ve ortalamalar Çizelge 3.3'te listelenmiştir.

Çizelge 3.3. API Yanıt Süreleri (Ortalama)

API Endpoint (Uç Noktası)	Ortalama Yanıt Süresi
GET /Api/Beats (Sayfalı listeleme, ilk sayfa, 12 kayıt)	~45 ms
GET /Api/Beats (Redis önbellekten getirme)	~8 ms
POST /Api/Auth/Login (Giriş ve şifre hash doğrulama)	~120 ms
POST /Api/Beats (Beat yükleme ve filigran ekleme, ~3 MB dosya)	~2.8 sn
GET /Api/Notifications (SignalR çevrimdışı bildirimleri çekme)	~35 ms

Redis veri tabanının dağıtık önbellek olarak devreye sokulması, sayfalı beat sorgulamalarında gecikmeyi %82 oranında azaltarak yanıt süresini 45 ms'den 8 ms'ye düşürmüştür. Diğer taraftan, beat yükleme işleminin 2.8 saniye sürmesi, ses işleme (decode-encode) ve AWS S3 bulut nesne deposuna yükleme işlemlerinin eşzamanlı olarak yapılmasından kaynaklanmaktadır. Bu sürenin yüksek ölçekli kullanıcı trafiğinde darboğaz oluşturmasını engellemek amacıyla, dosya yükleme işlemlerinin arka planda asenkron iş kuyrukları (Hangfire veya MassTransit) aracılığıyla yürütülmesi mimari bir iyileştirme olarak önerilmektedir.

3.4. Mimari Kararların Değerlendirilmesi

Temiz Mimari deseni, sistem bağımlılıklarının kontrol altında tutulmasında kritik bir rol üstlenmiştir. IStorageService arayüzü sayesinde veri depolama katmanında yerel MinIO sunucusundan canlı AWS S3 bulut ortamına geçiş, iş mantığının yer aldığı Business katmanına hiç dokunulmadan yalnızca Infrastructure katmanındaki servis sınıfının değiştirilmesiyle tamamlanmıştır. Bu durum mimarinin gevşek bağlı (loose coupling) tasarımını doğrulamaktadır.

NAudio kütüphanesinin Windows Media Foundation ve yerel Windows ses kodeklerine bağımlı olması, arka uç uygulamasının yalnızca Windows Server işletim sistemi üzerinde barındırılabilmesi (NSSM yardımıyla Windows Service olarak çalıştırılması) kısıtını doğurmaktadır. Linux tabanlı konteyner (Docker/Kubernetes) altyapılarına geçiş ihtiyacı doğduğunda, NAudio yerine platform bağımsız ses işleme yapan FFmpeg sarmalayıcıları veya platform-agnostik kütüphanelerin entegrasyonu gerekecektir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkiye'deki bağımsız müzik üreticileri ile sanatçıları bir araya getirerek telif ve ticaret süreçlerini güvenli ve anlık bir altyapıya taşıyan yerli müzik beat pazaryeri platformu MeyBeat geliştirilmiştir. Sistemin teknik ve işlevsel katkıları şu şekildedir:

- Beş katmanlı Clean Architecture yapısı ile test edilebilir, teknolojik geçişlere açık ve temiz bir kod tabanı elde edilmiştir.

- NAudio altyapısı üzerine kurulan özgün ses filigranı algoritması ile beatmaker'ların fikri mülkiyet hakları yetkisiz kopyalanmaya karşı etkin şekilde korunmuştur.
- JWT kimlik doğrulama, Redis oturum kara listesi (revocation) ve SignalR tabanlı gerçek zamanlı bildirim akışı ile modern ve güvenli bir kullanıcı deneyimi sunulmuştur.
- Duyuru panosu ve sosyal etkileşim araçları sayesinde platform içi topluluk yapısı desteklenmiştir.

Gelecek çalışmalarda, Windows işletim sistemi bağımlılığını gidermek üzere FFmpeg entegrasyonuna geçilmesi, ses işleme işlerinin asenkron iş kuyrukları (Hangfire/MassTransit) ile arka plana alınması, tam metin arama performansını artırmak için Elasticsearch entegrasyonu ve platform içi ödemelerin otomatikleştirilmesi amacıyla iyzico/Stripe ödeme sistemi entegrasyonlarının yapılması planlanmaktadır. Ayrıca, satın alan kullanıcıya özel steganografik ses filigranı eklenerek, satın alma sonrasında internete sızdırılan dosyaların kaynağının tespit edilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Martin, R. C., Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design, Prentice Hall, New Jersey, 1-432, 2017.
- [2] Evans, E., Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software, Addison-Wesley, Boston, 1-529, 2003.
- [3] Fowler, M., Patterns of Enterprise Application Architecture, Addison-Wesley, Boston, 1-557, 2002.
- [4] Jones, M., Bradley, J. ve Sakimura, N., JSON Web Token (JWT) - RFC 7519, IETF, <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7519> (Erişim tarihi: 01.06.2026).
- [5] Hardt, D., The OAuth 2.0 Authorization Framework - RFC 6749, IETF, <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6749> (Erişim tarihi: 01.06.2026).
- [6] Cox, I. J. ve Miller, M. L., The first 50 years of electronic watermarking, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2002(820936), 2002.
- [7] Katzenbeisser, S. ve Petitcolas, F. A. P., Information Hiding: Techniques for Steganography and Digital Watermarking, Artech House, Boston, 1-240, 2000.
- [8] Grigorik, I., High Performance Browser Networking, O'Reilly Media, Sebastopol, 1-400, 2013.
- [9] Sanfilippo, S., Redis Documentation, <https://redis.io/documentation> (Erişim tarihi: 01.06.2026).
- [10] Microsoft Corporation, ASP.NET Core SignalR Overview, <https://learn.microsoft.com/aspnet/core/signalr/introduction> (Erişim tarihi: 01.06.2026).
- [11] Microsoft Corporation, Introduction to ASP.NET Core, <https://learn.microsoft.com/aspnet/core/introduction-to-aspnet-core> (Erişim tarihi: 01.06.2026).

- [12] Microsoft Corporation, Entity Framework Core Documentation, <https://learn.microsoft.com/ef/core/> (Erişim tarihi: 01.06.2026).
- [13] PostgreSQL Global Development Group, PostgreSQL 15 Documentation, <https://www.postgresql.org/docs/15/> (Erişim tarihi: 01.06.2026).
- [14] Vercel Inc., Next.js Documentation, <https://nextjs.org/docs> (Erişim tarihi: 01.06.2026).
- [15] Amazon Web Services, Amazon S3 Developer Guide, <https://docs.aws.amazon.com/AmazonS3/latest/userguide/> (Erişim tarihi: 01.06.2026).
- [16] Heath, M., NAudio GitHub Repository, <https://github.com/naudio/NAudio> (Erişim tarihi: 01.06.2026).
- [17] TanStack, TanStack Query v5 Documentation, <https://tanstack.com/query/latest> (Erişim tarihi: 01.06.2026).
- [18] Zustand Contributors, Zustand – Bear State Management, <https://github.com/pmndrs/zustand> (Erişim tarihi: 01.06.2026).
- [19] BeatStars, BeatStars Platform, <https://www.beatstars.com> (Erişim tarihi: 01.06.2026).
- [20] Airbit, Airbit Beat Marketplace, <https://airbit.com> (Erişim tarihi: 01.06.2026).
- [21] Fielding, R. T., Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures, Doktora Tezi, University of California, Irvine, 1-162, 2000.
- [22] Watson, A. ve Leyshon, A., Negotiating platformisation: MusicTech, intellectual property rights and third wave platform reintermediation in the music industry, *Journal of Cultural Economy*, 15(3), 326-343, 2022.
- [23] Li, N., Combination of Blockchain and AI for Music Intellectual Property Protection, *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(4482217), 2022.
- [24] Hracs, B. J. ve Webster, J., From selling songs to engineering experiences: exploring the competitive strategies of music streaming platforms, *Journal of Cultural Economy*, 14(2), 240-257, 2021.
- [25] Pilati, F., Houssard, A. ve Sacco, P. L., Mirroring the inequalities of mainstream music platforms: popularity, revenue, and monetization strategies on Bandcamp, *International Journal of Cultural Policy*, 31(3), 338-357, 2024.

ADVANCED CATALYTIC PROCESSES FOR HYDROCARBON REFINING IN KAZAKHSTAN ENERGY SECTOR

Assoc. Prof. Dr. Yerlan Zhumabayev, Aruzhan Kairat, Timur Abishev, Dana Serikova
Faculty of Chemical Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan

ABSTRACT

This study examines advanced catalytic processes for hydrocarbon refining in the Kazakhstan energy sector, with particular attention to the role of catalyst design in improving conversion efficiency, product selectivity, and process sustainability. Hydrocarbon refining remains central to Kazakhstan's industrial economy, and the performance of refining processes is strongly influenced by catalytic materials, reaction conditions, and the integration of modern chemical engineering principles. The research explores how catalytic innovation can contribute to more efficient and environmentally responsible refining.

The study is based on chemical engineering and catalysis literature, with a focus on hydrocracking, catalytic reforming, and upgrading of heavy fractions. It highlights how catalyst structure, active site distribution, and support materials influence reaction pathways and product distribution. The analysis suggests that advanced catalysts can reduce energy demand, improve yield of high-value products, and lower the formation of unwanted by-products. The study also notes that catalyst performance depends on feedstock characteristics, operating conditions, and long-term stability under industrial environments.

The paper argues that the development of catalytic processes should be guided by both technical performance and environmental considerations. In the Kazakhstan context, this means supporting research that strengthens local refining capacity while aligning with international standards for cleaner production. The study concludes that catalytic innovation is a strategic priority for the energy sector, offering opportunities to enhance efficiency, reduce emissions, and support sustainable industrial development.

Key words: catalytic processes, hydrocarbon refining, Kazakhstan, energy sector, chemical engineering

SYNTHESIS OF NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION IN KAZAKHSTAN

Assis. Prof. Dr. Hassan El Idrissi, Dr. Salma Bennani

Faculty of Sciences, Mohammed V University, Morocco

ABSTRACT

This study investigates the synthesis of nanostructured materials for environmental remediation applications in Kazakhstan, focusing on their potential to address pollution challenges in water, soil, and air systems. Nanomaterials offer unique surface properties, high reactivity, and tunable structures that make them suitable for contaminant removal, pollutant degradation, and environmental monitoring. The research explores how synthesis methods influence material performance and environmental compatibility.

The study draws on materials chemistry and environmental nanotechnology literature. It examines sol-gel processes, hydrothermal synthesis, and green synthesis routes as key approaches for producing nanostructured adsorbents, photocatalysts, and reactive composites. The analysis suggests that controlled synthesis can enhance adsorption capacity, catalytic activity, and stability under environmental conditions. The findings also highlight the importance of material safety, lifecycle considerations, and compatibility with local environmental conditions.

The paper argues that nanostructured materials should be developed not only for technical effectiveness but also for sustainable application. In Kazakhstan, such materials can support the treatment of industrial effluents, heavy metal contamination, and organic pollutants. The study concludes that the synthesis of functional nanomaterials offers a promising pathway for environmental remediation when it is integrated with environmental policy, monitoring systems, and responsible material management.

Key words: nanostructured materials, environmental remediation, Kazakhstan, nanotechnology, pollution control

GREEN CHEMISTRY APPROACHES FOR PHOSPHATE INDUSTRY WASTE MANAGEMENT IN MOROCCO

Youssef Alami, Dr. Nadia Tazi, Karim El Fassi

Faculty of Sciences and Techniques, Cadi Ayyad University, Morocco

ABSTRACT

This study explores green chemistry approaches for phosphate industry waste management in Morocco, where phosphate extraction and processing generate significant volumes of by-products and residual materials. The sustainable management of these wastes is essential for reducing environmental impact, improving resource efficiency, and supporting long-term industrial development. The research examines how green chemistry principles can guide the transformation of waste into valuable resources.

The study is based on green chemistry and industrial waste management literature. It focuses on waste valorization, low-impact processing, solvent reduction, and material recovery strategies. The analysis suggests that green chemistry approaches can enable the conversion of phosphate residues into construction materials, fertilizers, and functional compounds. These pathways reduce environmental burden while creating new economic opportunities. The study also highlights the importance of process optimization, energy efficiency, and safe handling of by-products.

The paper argues that phosphate waste management should be integrated into a broader circular economy framework. In Morocco, this means combining industrial innovation with environmental protection and community well-being. The study concludes that green chemistry offers a practical and scientifically grounded approach to managing phosphate waste, supporting both environmental sustainability and industrial competitiveness.

Key words: green chemistry, phosphate industry, waste management, Morocco, resource recovery

ELECTROCHEMICAL SENSOR DEVELOPMENT FOR HEAVY METAL DETECTION IN MOROCCAN WATER SYSTEMS

Prof. Dr. Aigerim Sadykova, Nurlan Beketov, Dr. Dias Tulegenov

Faculty of Chemical and Biological Technologies, Kazakh National Technical University,
Kazakhstan

ABSTRACT

This study examines the development of electrochemical sensors for heavy metal detection in Moroccan water systems, where industrial discharge, mining activities, and agricultural runoff contribute to metal contamination. Reliable detection methods are essential for monitoring water quality, protecting public health, and supporting environmental regulation. The research explores how electrochemical sensing technologies can provide sensitive, selective, and cost-effective solutions for heavy metal analysis.

The study is grounded in analytical chemistry and environmental monitoring literature. It focuses on sensor design, electrode materials, surface modification, and detection mechanisms for metals such as lead, cadmium, mercury, and copper. The findings suggest that electrochemical sensors can achieve high sensitivity and rapid response when supported by appropriate electrode engineering and signal processing. The study also notes that sensor performance depends on calibration, interference management, and field applicability.

The paper argues that sensor development should be oriented toward practical environmental needs rather than laboratory demonstration alone. In Moroccan water systems, such sensors can support routine monitoring, early warning, and regulatory compliance. The study concludes that electrochemical sensing offers a valuable tool for environmental protection when it is combined with robust sampling strategies and data management systems.

Key words: electrochemical sensors, heavy metal detection, water systems, Morocco, environmental monitoring

**MOLECULAR DESIGN OF ORGANIC SEMICONDUCTORS FOR
OPTOELECTRONIC APPLICATIONS IN IRAN**

Prof. Dr. Reza Ghaffari, Ali Hosseinzadeh, Sahar Moradi

Faculty of Chemistry, University of Tehran, Iran

ABSTRACT

This study investigates the molecular design of organic semiconductors for optoelectronic applications in Iran, focusing on how molecular structure influences electronic properties, charge transport, and device performance. Organic semiconductors offer advantages such as flexibility, tunable band gaps, and compatibility with solution processing, making them attractive for light-emitting devices, photovoltaics, and sensors. The research explores how rational molecular engineering can enhance functionality and stability.

The study is based on materials chemistry and organic electronics literature. It examines conjugated systems, donor-acceptor architectures, side-chain engineering, and molecular packing as key factors in determining optoelectronic behavior. The analysis suggests that careful molecular design can improve charge mobility, light absorption, and emission efficiency. The findings also highlight the importance of environmental stability and processability for practical device integration.

The paper argues that molecular design should be guided by both fundamental understanding and application requirements. In Iran, such research can support the development of advanced materials for energy, display, and sensing technologies. The study concludes that organic semiconductors represent a promising field for materials innovation when molecular engineering is combined with device-oriented thinking.

Key words: organic semiconductors, molecular design, optoelectronics, Iran, materials chemistry

PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF INDUSTRIAL DYES USING METAL OXIDE NANOPARTICLES IN IRAN

Dr. Parvin Shokri

Faculty of Chemistry, Tarbiat Modares University, Iran

ABSTRACT

This study examines the photocatalytic degradation of industrial dyes using metal oxide nanoparticles in Iran, where textile and dye-related industries generate significant volumes of colored effluents. Conventional treatment methods often struggle to remove complex dye molecules, leading to environmental persistence and water quality concerns. The research explores how photocatalysis can offer an effective and sustainable approach to dye degradation.

The study is based on environmental chemistry and photocatalysis literature. It focuses on metal oxide nanoparticles such as titanium dioxide, zinc oxide, and modified composites as photocatalysts capable of generating reactive species under light irradiation. The analysis suggests that these materials can break down dye structures into less harmful compounds, reducing color and toxicity. The findings also highlight the importance of catalyst stability, light utilization, and reaction conditions for efficient degradation.

The paper argues that photocatalytic treatment should be considered as part of an integrated wastewater management strategy. In Iran, such approaches can support industrial compliance and environmental protection. The study concludes that metal oxide nanoparticles offer a scientifically grounded and environmentally relevant solution for treating dye-containing effluents.

Key words: photocatalysis, metal oxide nanoparticles, industrial dyes, Iran, wastewater treatment

CHEMICAL KINETICS AND MECHANISMS OF CORROSION INHIBITION IN IRANIAN OIL PIPELINES

Assoc. Prof. Dr. Hossein Karimi, Mehdi Rahbar, Nima Ebrahimi, Dr. Laleh Farzan
Faculty of Petroleum and Chemical Engineering, Shiraz University, Iran

ABSTRACT

This study investigates chemical kinetics and mechanisms of corrosion inhibition in Iranian oil pipelines, where exposure to corrosive agents, moisture, and aggressive chemical environments can lead to material degradation and operational risk. Corrosion control is essential for maintaining pipeline integrity, reducing maintenance costs, and ensuring safe transport of hydrocarbons. The research explores how chemical inhibitors function and how their performance can be optimized.

The study is grounded in corrosion science and petroleum engineering literature. It examines inhibitor adsorption, film formation, and reaction kinetics as key factors in corrosion protection. The analysis suggests that effective inhibitors form protective layers on metal surfaces, slowing electrochemical reactions and reducing corrosion rates. The findings also highlight the importance of inhibitor concentration, temperature, flow conditions, and compatibility with pipeline materials.

The paper argues that corrosion inhibition strategies should be based on both experimental understanding and field conditions. In Iran, such knowledge can support better material selection, maintenance planning, and long-term pipeline reliability. The study concludes that chemical kinetics provides a valuable framework for designing corrosion control programs that enhance safety and reduce economic losses.

Key words: corrosion inhibition, chemical kinetics, oil pipelines, Iran, petroleum engineering

DESIGN OF HIGH-PERFORMANCE LITHIUM-ION BATTERY MATERIALS FOR ENERGY STORAGE APPLICATIONS IN SINGAPORE

Prof. Dr. Wei Jun Tan, Dr. Melissa Ong, Jason Lim

Faculty of Engineering, National University of Singapore, Singapore

ABSTRACT

This study examines the design of high-performance lithium-ion battery materials for energy storage applications in Singapore, where compact urban environments and growing energy demands require efficient and reliable storage solutions. Lithium-ion batteries are central to renewable energy integration, electric mobility, and grid stability. The research explores how material design influences energy density, cycle life, safety, and charging performance.

The study is based on electrochemistry and energy materials literature. It focuses on cathode and anode materials, electrolyte systems, and interface engineering as critical elements in battery performance. The analysis suggests that advanced materials can improve capacity, reduce degradation, and enhance thermal stability. The findings also highlight the importance of manufacturing scalability, cost considerations, and environmental impact in material selection.

The paper argues that battery material development should be aligned with application needs and sustainability goals. In Singapore, such research can support clean energy transition, transport electrification, and resilient energy infrastructure. The study concludes that high-performance battery materials are essential for future energy systems when they are designed with both technical and environmental priorities in mind.

Key words: lithium-ion batteries, energy storage, Singapore, battery materials, electrochemistry

**SYNTHETIC BIOCHEMISTRY APPROACHES FOR CARBON CAPTURE AND
UTILIZATION TECHNOLOGIES IN SINGAPORE**

Assoc. Prof. Dr. Adrian Koh, Cheryl Teo

Faculty of Science, Nanyang Technological University, Singapore

ABSTRACT

This study explores synthetic biochemistry approaches for carbon capture and utilization technologies in Singapore, where reducing carbon emissions and developing circular carbon pathways are increasingly important for sustainable development. Synthetic biochemistry offers tools for designing biological systems that can capture, convert, and transform carbon-containing compounds into useful products. The research examines how these approaches can contribute to climate mitigation and resource efficiency.

The study is based on synthetic biology and biochemical engineering literature. It focuses on enzyme engineering, metabolic pathway design, and biocatalytic conversion as key strategies for carbon transformation. The analysis suggests that biological systems can be tailored to convert carbon dioxide and other carbon sources into fuels, chemicals, and materials. The findings also highlight the importance of system stability, energy balance, and integration with industrial processes.

The paper argues that synthetic biochemistry should be developed as part of a broader carbon management strategy. In Singapore, such approaches can support innovation in low-carbon technologies and resource recovery. The study concludes that synthetic biochemistry offers a promising route for carbon utilization when it is combined with process engineering and environmental policy.

Key words: synthetic biochemistry, carbon capture, utilization technologies, Singapore, biochemical engineering

**ADVANCED NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR ENERGY STORAGE
APPLICATIONS IN AZERBAIJANI RESEARCH LABORATORIES**

Prof. Dr. Elchin Mammadov, Aysel Guliyeva, Dr. Tural Hasanov

Faculty of Materials Science and Engineering, Azerbaijan State Oil and Industry University,
Azerbaijan

ABSTRACT

This study examines advanced nanostructured materials for energy storage applications in Azerbaijani research laboratories, with a focus on supercapacitors, battery electrodes, and hybrid energy systems. Nanostructured materials offer unique properties such as high surface area, enhanced conductivity, and improved electrochemical stability, making them promising candidates for next-generation energy storage technologies. The research explores how material design at the nanoscale can contribute to higher energy density, faster charging rates, and longer cycle life.

The study is based on materials science and electrochemistry literature, with attention to synthesis methods, characterization techniques, and performance evaluation. It highlights the role of nanocomposites, metal oxides, and carbon-based nanostructures in improving charge storage mechanisms. The analysis suggests that controlled nanostructuring can optimize ion transport, reduce internal resistance, and enhance overall device efficiency. The study also notes that local research efforts benefit from combining theoretical modeling with experimental validation to accelerate material development.

The paper argues that energy storage research in Azerbaijan should be integrated with broader renewable energy and industrial innovation strategies. Strengthening laboratory capacity, fostering international collaboration, and supporting graduate training are identified as key priorities. The study concludes that nanostructured materials represent a strategic opportunity for advancing energy technology in the region, with potential applications in transportation, grid storage, and portable electronics.

Key words: nanostructured materials, energy storage, supercapacitors, Azerbaijan, materials science

CORROSION RESISTANT ALLOY DEVELOPMENT FOR CASPIAN SEA OFFSHORE STRUCTURES

Assoc. Prof. Dr. Rauf Aliyev, Nigar Ibrahimova

Faculty of Metallurgy and Materials Engineering, Azerbaijan Technical University,
Azerbaijan

ABSTRACT

This study investigates the development of corrosion-resistant alloys for offshore structures in the Caspian Sea, where harsh environmental conditions, saline exposure, and mechanical stress create significant durability challenges. Offshore platforms, pipelines, and support structures require materials that can withstand prolonged exposure to corrosive elements while maintaining structural integrity. The research explores alloy design strategies that enhance resistance to pitting, crevice corrosion, and stress corrosion cracking.

The study is grounded in corrosion engineering and metallurgy literature. It focuses on the role of alloying elements, microstructural control, and surface treatments in improving corrosion performance. The findings suggest that optimized alloy compositions can significantly extend service life and reduce maintenance costs in marine environments. The analysis also highlights the importance of testing protocols that simulate real-world conditions to validate material performance.

The paper argues that alloy development should be aligned with regional industrial needs and environmental standards. In the Caspian context, this means balancing cost, availability, and long-term reliability. The study concludes that corrosion-resistant alloys are essential for sustainable offshore operations and that continued research can support safer and more efficient maritime infrastructure.

Key words: corrosion resistance, alloy development, offshore structures, Caspian Sea, metallurgy

**SUSTAINABLE BUILDING MATERIALS USING NATURAL FIBERS IN
MOROCCAN ECO-CONSTRUCTION**

Dr. Youssef El Idrissi, Fatima Zahra Bennani, Khalid Amrani, Samira El Fassi

Faculty of Architecture and Urban Planning, Mohammed V University, Morocco

ABSTRACT

This study explores the use of sustainable building materials incorporating natural fibers in Moroccan eco-construction practices. Natural fibers such as hemp, flax, and local plant-based materials offer environmental advantages including low embodied energy, biodegradability, and improved thermal performance. The research examines how these materials can be integrated into construction systems to support ecological building goals while maintaining structural adequacy.

The study is based on sustainable architecture and materials engineering literature. It focuses on fiber-reinforced composites, insulation panels, and hybrid building elements that combine traditional knowledge with modern engineering. The findings suggest that natural fiber materials can contribute to energy efficiency, indoor comfort, and reduced carbon footprint in residential and public buildings. The analysis also notes the importance of moisture management, durability enhancement, and local sourcing to ensure long-term performance.

The paper argues that eco-construction in Morocco should be supported by policy frameworks, technical training, and market development for sustainable materials. Strengthening collaboration between researchers, builders, and policymakers can accelerate adoption. The study concludes that natural fiber-based materials represent a viable pathway for greener construction in North Africa, aligning environmental responsibility with cultural and economic context.

Key words: sustainable materials, natural fibers, eco-construction, Morocco, green building

CERAMIC COMPOSITE MATERIALS FOR HIGH TEMPERATURE INDUSTRIAL APPLICATIONS IN MOROCCO

Prof. Dr. Hassan El Khatib, Omar Boulahfa

Faculty of Sciences and Technologies, Cadi Ayyad University, Morocco

ABSTRACT

This study examines ceramic composite materials for high-temperature industrial applications in Morocco, with emphasis on thermal stability, mechanical strength, and resistance to chemical degradation. Industries such as cement production, metallurgy, and energy generation require materials that can perform reliably under extreme thermal conditions. The research explores how advanced ceramics and composite systems can meet these demanding requirements.

The study is informed by ceramic engineering and high-temperature materials literature. It focuses on matrix composition, reinforcement phases, and processing techniques that influence performance. The findings suggest that ceramic composites offer superior heat resistance, reduced thermal expansion, and enhanced durability compared to conventional materials. The analysis also highlights the role of microstructural design in optimizing fracture toughness and thermal shock resistance.

The paper argues that industrial adoption of ceramic composites depends on cost-effectiveness, manufacturing scalability, and technical support. In Morocco, such materials can support modernization efforts in heavy industry while improving energy efficiency. The study concludes that ceramic composites are strategically important for high-temperature applications and that continued research can strengthen industrial competitiveness.

Key words: ceramic composites, high-temperature materials, industrial applications, Morocco, thermal stability

GRAPHENE-BASED COMPOSITES FOR FLEXIBLE ELECTRONICS IN INDIAN MATERIAL SCIENCE STUDIES

Assoc. Prof. Dr. Ananya Chatterjee, Rahul Mehta, Sneha Kapoor, Dr. Vikram Desai
Department of Materials Science, Indian Institute of Technology Bombay, India

ABSTRACT

This study investigates graphene-based composites for flexible electronics within Indian material science research. Graphene's exceptional electrical conductivity, mechanical flexibility, and chemical stability make it an ideal candidate for next-generation wearable devices, sensors, and flexible circuits. The research explores how graphene can be integrated into polymer matrices to create functional composites suitable for electronic applications.

The study is based on nanomaterials and flexible electronics literature. It focuses on dispersion techniques, interfacial bonding, and fabrication methods that influence composite performance. The findings suggest that graphene-enhanced materials can achieve high conductivity at low filler content while maintaining flexibility and durability. The analysis also notes the importance of scalable production methods to support commercial viability.

The paper argues that flexible electronics research in India should be linked with industry partnerships, device prototyping, and skill development. Strengthening the innovation ecosystem can accelerate technology transfer. The study concludes that graphene-based composites offer significant potential for advancing flexible electronics in India, with applications ranging from health monitoring to smart packaging.

Key words: graphene composites, flexible electronics, nanomaterials, India, conductive materials

BIODEGRADABLE POLYMER MATERIALS FOR MEDICAL IMPLANTS IN INDIAN BIOMATERIAL RESEARCH

Dr. Priyanka Iyer

Department of Biomedical Engineering, Vellore Institute of Technology, India

ABSTRACT

This study examines biodegradable polymer materials for medical implants in Indian biomaterial research, focusing on their potential to support tissue regeneration, reduce secondary surgeries, and improve patient outcomes. Biodegradable polymers offer the advantage of gradual resorption within the body, eliminating the need for implant removal while providing temporary mechanical support during healing.

The study is grounded in biomaterials science and regenerative medicine literature. It explores polymer types such as polylactic acid, polyglycolic acid, and their copolymers, which are widely used in orthopedic and cardiovascular applications. The findings suggest that material properties such as degradation rate, biocompatibility, and mechanical strength must be carefully balanced to match clinical requirements. The analysis also highlights the importance of surface modification and composite design to enhance biological integration.

The paper argues that biomaterial development in India should be supported by regulatory frameworks, clinical testing capacity, and cross-disciplinary collaboration. Strengthening these areas can accelerate the translation of research into practical medical solutions. The study concludes that biodegradable polymers represent a promising direction for implant technology, offering both clinical benefits and economic advantages.

Key words: biodegradable polymers, medical implants, biomaterials, India, regenerative medicine

THERMAL BARRIER COATINGS FOR AEROSPACE APPLICATIONS IN INDIAN ENGINEERING SECTORS

Prof. Dr. Rajiv Kulkarni, Arjun Singh

Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Science, India

ABSTRACT

This study investigates thermal barrier coatings for aerospace applications in Indian engineering sectors, with emphasis on high-temperature protection, durability, and performance optimization. Thermal barrier coatings are essential for protecting turbine components, engine parts, and structural elements from extreme heat and oxidative environments. The research explores coating materials and deposition techniques that enhance thermal insulation and component life.

The study is based on aerospace materials and surface engineering literature. It focuses on ceramic-based coatings, bond coat systems, and advanced deposition methods such as plasma spraying and electron beam evaporation. The findings suggest that optimized coatings can significantly reduce heat transfer, improve fuel efficiency, and extend service intervals. The analysis also notes the importance of adhesion strength, thermal cycling resistance, and microstructural stability.

The paper argues that thermal barrier coating technology should be aligned with national aerospace goals and manufacturing capabilities. In India, such coatings can support indigenous engine development and reduce dependency on imported components. The study concludes that continued innovation in coating systems is critical for advancing aerospace performance and reliability.

Key words: thermal barrier coatings, aerospace engineering, surface coatings, India, high-temperature materials

SEMICONDUCTOR NANOMATERIALS FOR OPTOELECTRONIC DEVICES IN TAIWANESE TECHNOLOGY DEVELOPMENT

Prof. Dr. Wei-Lun Chen, Mei-Hsin Huang, Dr. Chao-Yang Lin

Department of Materials Science and Engineering, National Taiwan University, Taiwan

ABSTRACT

This study explores semiconductor nanomaterials for optoelectronic devices in Taiwanese technology development, focusing on their role in light-emitting diodes, photodetectors, and solar cells. Nanomaterials offer tunable optical and electronic properties that enable high-efficiency, compact, and versatile device architectures. The research examines how nanoscale engineering can enhance performance and enable new functionalities.

The study is informed by semiconductor physics and nanotechnology literature. It highlights quantum dots, nanowires, and thin-film structures as key material systems for optoelectronic applications. The findings suggest that size control, surface passivation, and interface engineering are critical for optimizing device efficiency and stability. The analysis also notes the importance of integration with existing fabrication processes to support commercialization.

The paper argues that optoelectronic research in Taiwan should be linked with industry collaboration, prototype development, and talent cultivation. Strengthening these connections can accelerate technology deployment. The study concludes that semiconductor nanomaterials are central to the future of optoelectronics, with broad implications for communications, energy, and sensing technologies.

Key words: semiconductor nanomaterials, optoelectronics, nanotechnology, Taiwan, device engineering

**ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS FOR SMART SENSORS IN TAIWAN
INDUSTRIAL INNOVATION**

Assoc. Prof. Dr. Yu-Ting Tsai, Cheng-Hao Wu, Liang-Feng Su, Dr. Po-Han Liu

Department of Electrical Engineering, National Cheng Kung University, Taiwan

ABSTRACT

This study examines advanced functional materials for smart sensors in Taiwan's industrial innovation landscape. Smart sensors require materials that can respond to environmental stimuli, convert physical signals into electrical outputs, and maintain reliability under diverse operating conditions. The research explores how functional materials such as piezoelectrics, conductive polymers, and nanocomposites enable sensitive and adaptable sensing systems.

The study is based on materials science and sensor technology literature. It focuses on material properties such as sensitivity, selectivity, response time, and stability. The findings suggest that tailored material design can enhance sensor performance in applications ranging from industrial monitoring to healthcare diagnostics. The analysis also highlights the importance of integration with signal processing and wireless communication for smart system development.

The paper argues that sensor innovation in Taiwan should be supported by cross-sector collaboration, standards development, and workforce training. Strengthening these areas can position Taiwan as a leader in smart sensing technologies. The study concludes that functional materials are foundational to sensor advancement and that continued investment can drive industrial competitiveness and societal benefit.

Key words: functional materials, smart sensors, industrial innovation, Taiwan, sensor technology

SUSTAINABLE HYDROPOWER SYSTEM DESIGN AND OPTIMIZATION IN MOUNTAINOUS REGIONS OF KYRGYZSTAN

Prof. Dr. Imran Qureshi, Dr. Sana Ullah, Bilal Ahmed, Ayesha Tariq

Faculty of Civil and Environmental Engineering, National University of Sciences and
Technology, Pakistan

ABSTRACT

This study investigates the design and optimization of sustainable hydropower systems in the mountainous regions of Kyrgyzstan, where abundant water resources and steep terrain offer significant potential for renewable energy generation. Hydropower remains a cornerstone of national energy strategy, yet its development must balance technical efficiency, environmental protection, and long-term sustainability. The research examines how engineering design can support resilient and ecologically responsible hydropower systems in high-altitude environments.

The study is based on renewable energy engineering, hydropower planning, and environmental impact literature. It focuses on turbine selection, flow regulation, sediment management, and environmental flow considerations as key elements of sustainable design. The analysis suggests that optimization depends not only on maximizing energy output but also on minimizing ecological disturbance, ensuring downstream water security, and adapting to seasonal hydrological variation. The findings indicate that small and medium-scale hydropower schemes can provide reliable energy while reducing environmental footprint when properly integrated into local watershed management.

The paper further argues that sustainable hydropower requires coordinated planning between energy authorities, environmental agencies, and local communities. In Kyrgyzstan, such coordination can support rural electrification, reduce dependence on imported energy, and promote climate-resilient infrastructure. The study concludes that hydropower system design should be guided by an integrated approach that combines engineering performance with environmental stewardship and social benefit.

Key words: sustainable hydropower, system optimization, mountainous regions, Kyrgyzstan, renewable energy engineering

SMART IRRIGATION ENGINEERING SOLUTIONS FOR AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT IN KYRGYZSTAN

Dr. Ahmed Al-Hadithi, Zainab Kareem, Prof. Dr. Mustafa Al-Jabiri

Faculty of Water Resources Engineering, University of Baghdad, Iraq

ABSTRACT

This study explores smart irrigation engineering solutions for agricultural water management in Kyrgyzstan, where water availability, seasonal variation, and irrigation efficiency are critical for sustaining agricultural productivity. Traditional irrigation methods often lead to water loss, uneven distribution, and reduced crop yields, making modernization an important priority for rural development. The research examines how smart irrigation technologies can improve water use efficiency and support sustainable farming.

The study is based on irrigation engineering, water management, and agricultural technology literature. It focuses on sensor-based monitoring, automated distribution systems, soil moisture measurement, and data-driven scheduling as key components of smart irrigation. The findings suggest that such systems can reduce water waste, improve crop health, and optimize labor requirements. They also indicate that smart irrigation is most effective when combined with farmer training, maintenance support, and context-appropriate technology.

The paper argues that water management in Kyrgyz agriculture should move toward more precise and adaptive systems. Smart irrigation can contribute to both resource conservation and productivity enhancement, particularly in regions facing water stress. The study concludes that engineering solutions for irrigation should be integrated with broader agricultural policy and rural development planning to ensure long-term sustainability.

Key words: smart irrigation, water management, agricultural engineering, Kyrgyzstan, sustainable agriculture

STRUCTURAL ANALYSIS AND EARTHQUAKE-RESISTANT BUILDING DESIGN IN IRAQI URBAN AREAS

Ali Mahmoud, Assoc. Prof. Dr. Hassan Al-Samarrai

Faculty of Civil Engineering, University of Technology, Baghdad, Iraq

ABSTRACT

This study examines structural analysis and earthquake-resistant building design in Iraqi urban areas, where seismic risk, rapid urbanization, and varied construction practices create significant challenges for structural safety. Many urban buildings have been constructed without adequate seismic consideration, increasing vulnerability to potential earthquake events. The research explores how engineering design can improve structural resilience and reduce disaster risk in densely populated environments.

The study is grounded in structural engineering, seismic design, and urban safety literature. It focuses on load distribution, reinforcement detailing, material selection, and foundation behavior as major factors influencing earthquake resistance. The findings suggest that buildings designed with seismic principles in mind demonstrate better performance under lateral forces and reduced risk of structural failure. The analysis also highlights the importance of code compliance, quality control, and professional oversight in urban construction.

The paper argues that earthquake-resistant design should be treated as a public safety priority rather than an optional technical feature. In Iraqi cities, improved design standards and enforcement can protect lives and reduce long-term economic losses. The study concludes that structural resilience depends on coordinated action among engineers, regulators, and construction stakeholders to ensure safer urban development.

Key words: structural analysis, earthquake-resistant design, urban buildings, Iraq, seismic safety

RENEWABLE ENERGY GRID INTEGRATION CHALLENGES IN IRAQ'S POWER INFRASTRUCTURE

Assoc. Prof. Dr. Gulnara Toktonalieva, Bekzat Uulu

Faculty of Energy Engineering, Kyrgyz State Technical University, Kyrgyzstan

ABSTRACT

This paper investigates the challenges associated with integrating renewable energy sources into Iraq's power infrastructure, where aging grid systems, fluctuating demand, and reliance on conventional generation complicate the transition to cleaner energy. Renewable integration requires not only new generation capacity but also upgraded transmission networks, improved grid stability, and enhanced system flexibility. The study examines the technical and institutional barriers affecting this process.

The research is based on power systems engineering, renewable energy policy, and grid integration literature. It focuses on issues such as intermittency, voltage regulation, frequency control, and storage requirements. The findings suggest that successful integration depends on modernizing grid infrastructure, implementing smart grid technologies, and developing operational strategies that accommodate variable energy sources. The analysis also highlights the need for regulatory frameworks that support investment and coordination.

The paper argues that renewable energy integration in Iraq should be approached as a long-term infrastructure transformation rather than a short-term technical adjustment. Strengthening grid capacity and institutional coordination can enable higher shares of renewable energy while maintaining system reliability. The study concludes that sustainable power development in Iraq requires integrated planning across generation, transmission, and policy domains.

Key words: renewable energy, grid integration, power infrastructure, Iraq, energy transition

MACHINE LEARNING APPLICATIONS IN PREDICTIVE MAINTENANCE OF INDUSTRIAL SYSTEMS IN PAKISTAN

Dr. Farhan Malik, Hira Aslam

Faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering, University of Engineering and Technology, Pakistan

ABSTRACT

This study examines machine learning applications in predictive maintenance of industrial systems in Pakistan, where equipment reliability, downtime reduction, and operational efficiency are critical for manufacturing competitiveness. Predictive maintenance uses data-driven models to anticipate failures before they occur, enabling timely intervention and optimized maintenance scheduling. The research explores how machine learning can improve maintenance strategies in industrial settings.

The study is based on industrial engineering, predictive analytics, and maintenance management literature. It focuses on sensor data analysis, fault detection, pattern recognition, and algorithm-based decision support as key components of predictive maintenance. The findings suggest that machine learning models can enhance equipment reliability, reduce unplanned downtime, and extend asset life when integrated with existing maintenance practices. The analysis also highlights the importance of data quality, staff training, and system integration.

The paper argues that predictive maintenance should be understood as both a technical and organizational capability. In Pakistan's industrial sector, machine learning applications can support more efficient operations and reduce maintenance costs. The study concludes that adoption of predictive maintenance technologies requires coordinated investment in data infrastructure, workforce skills, and management commitment.

Key words: machine learning, predictive maintenance, industrial systems, Pakistan, operational efficiency

ADVANCED CONSTRUCTION MATERIALS FOR CLIMATE-RESILIENT INFRASTRUCTURE IN PAKISTAN

Prof. Dr. Azamat Turgunov, Aibek Sadykov, Dr. Nursultan Imanov

Faculty of Civil Engineering, Kyrgyz State University of Construction, Transportation and
Architecture, Kyrgyzstan

ABSTRACT

This study investigates advanced construction materials for climate-resilient infrastructure in Pakistan, where extreme weather events, temperature variation, and environmental stress place increasing demands on building durability. Traditional construction materials often struggle to cope with these conditions, leading to premature deterioration and higher maintenance costs. The research explores how modern materials can improve infrastructure resilience and longevity.

The study is based on materials science, construction engineering, and climate adaptation literature. It focuses on high-performance concrete, fiber-reinforced composites, corrosion-resistant reinforcement, and thermally efficient materials as key solutions for climate-resilient construction. The findings suggest that advanced materials can enhance structural performance, reduce maintenance needs, and improve energy efficiency in buildings and infrastructure. The analysis also highlights the importance of local availability, cost-effectiveness, and compatibility with existing construction practices.

The paper argues that climate-resilient infrastructure requires a shift toward materials that are both durable and adaptive to environmental conditions. In Pakistan, such materials can support safer and more sustainable development in the face of changing climate patterns. The study concludes that material innovation should be integrated into national construction standards and infrastructure planning to ensure long-term resilience.

Key words: advanced construction materials, climate-resilient infrastructure, Pakistan, building durability, materials engineering

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF LOW-COST SOLAR ENERGY SYSTEMS IN RURAL PAKISTAN

Assoc. Prof. Dr. Kamran Shahid, Usman Raza, Fatima Noor

Faculty of Electrical Engineering, University of Engineering and Technology, Pakistan

ABSTRACT

This study examines the design and implementation of low-cost solar energy systems in rural Pakistan, where limited grid access and unreliable electricity supply hinder economic and social development. Solar energy offers a practical solution for providing clean, affordable power to remote communities. The research explores how engineering design, component selection, and local adaptation can support effective solar system deployment.

The study is based on renewable energy engineering, rural electrification, and solar technology literature. It focuses on photovoltaic system sizing, battery storage, inverter selection, and maintenance considerations as key elements of low-cost solar design. The findings suggest that properly designed solar systems can meet basic household and community energy needs while remaining affordable and manageable for rural users. The analysis also highlights the importance of community engagement, training, and after-sales support.

The paper argues that low-cost solar systems should be designed with local conditions in mind, including climate, usage patterns, and economic capacity. In rural Pakistan, such systems can improve lighting, education, health services, and small business activity. The study concludes that solar energy deployment in rural areas requires a combination of technical suitability, financial accessibility, and institutional support to achieve sustainable impact.

Key words: solar energy systems, rural electrification, low-cost design, Pakistan, renewable energy

WATER SUPPLY AND SANITATION ENGINEERING SOLUTIONS IN RURAL ETHIOPIAN COMMUNITIES

Prof. Dr. Tesfaye Bekele, Abel Girma

Faculty of Water Resources and Environmental Engineering, Addis Ababa University,
Ethiopia

ABSTRACT

This study investigates water supply and sanitation engineering solutions for rural Ethiopian communities, where limited access to clean water and adequate sanitation remains a major public health and development challenge. Rural populations often rely on unprotected sources, leading to waterborne diseases and reduced quality of life. The research explores how engineering interventions can improve water security and hygiene conditions.

The study is based on water resources engineering, public health, and rural development literature. It focuses on well construction, spring protection, small-scale piped systems, rainwater harvesting, and sanitation facilities as key components of rural water supply. The findings suggest that appropriate engineering solutions can significantly improve water access, reduce disease risk, and support community well-being. The analysis also highlights the importance of community participation, maintenance planning, and local capacity building.

The paper argues that water and sanitation improvements should be integrated with broader rural development strategies. In Ethiopia, such integration can support health, education, and economic progress in underserved areas. The study concludes that sustainable water supply and sanitation require not only technical solutions but also long-term institutional support and community ownership.

Key words: water supply, sanitation engineering, rural communities, Ethiopia, public health

ADVANCED COOLING SYSTEM DESIGN FOR HIGH-RISE BUILDINGS IN QATAR'S EXTREME CLIMATE CONDITIONS

Prof. Dr. Made Wirawan

Faculty of Engineering, Qatar University, Qatar

ABSTRACT

This study investigates advanced cooling system design for high-rise buildings in Qatar's extreme climate conditions, where ambient temperatures frequently exceed conventional HVAC system limits. The research examines the integration of variable refrigerant flow systems, district cooling networks, and thermal energy storage solutions to address the unique challenges posed by sustained high temperatures and humidity levels. In Qatar's rapid urban development context, high-rise buildings require cooling strategies that balance energy efficiency with occupant comfort while minimizing environmental impact.

The study is based on building engineering and thermal management literature. It focuses on the relationship between building envelope design, cooling load distribution, and system performance optimization. The findings suggest that conventional air conditioning approaches are insufficient for Qatar's climate demands, requiring innovative solutions that incorporate phase change materials, intelligent controls, and hybrid cooling configurations. These systems can significantly reduce peak energy consumption while maintaining stable indoor environments throughout extreme weather periods.

The paper also highlights the importance of integrating renewable energy sources with cooling infrastructure to achieve long-term sustainability goals. Solar-assisted cooling and waste heat recovery systems offer promising pathways for reducing dependence on conventional power generation. The study concludes that advanced cooling system design must consider both technical performance and broader urban energy planning. In Qatar's context, such approaches can support sustainable urban growth while addressing the fundamental challenges of extreme climate conditions in high-density developments.

Key words: cooling systems, high-rise buildings, Qatar, thermal management, sustainable engineering

SMART INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT USING IOT FOR URBAN TRANSPORT SYSTEMS IN QATAR

Assoc. Prof. Dr. Nasser Al-Hajri, Salem Al-Sulaiti

Department of Transportation Engineering, Qatar University, Qatar

ABSTRACT

This research examines smart infrastructure development using Internet of Things technology for urban transport systems in Qatar. As cities become increasingly connected, IoT applications offer significant opportunities for improving traffic management, public transportation efficiency, and overall mobility experiences. The study explores how sensor networks, real-time data collection, and intelligent traffic control systems can enhance urban transport performance in rapidly developing urban environments.

The study is grounded in smart city and transportation technology literature. It focuses on the integration of IoT devices in traffic monitoring, vehicle tracking, passenger information systems, and predictive maintenance of transport infrastructure. The findings suggest that IoT-enabled systems can reduce congestion, improve response times to incidents, and optimize route planning for both public and private transport. These technologies also support better decision-making through comprehensive data analytics and pattern recognition.

The paper further argues that successful IoT implementation requires careful consideration of data security, system interoperability, and user privacy concerns. In Qatar's urban development context, smart transport infrastructure must be designed to accommodate future technological advancements while maintaining operational reliability. The study concludes that IoT-based smart infrastructure can significantly improve urban transport systems by providing real-time insights, enhancing operational efficiency, and supporting sustainable mobility solutions for growing metropolitan areas.

Key words: smart infrastructure, IoT, urban transport, Qatar, traffic management

SUSTAINABLE BRIDGE ENGINEERING USING BAMBOO-BASED COMPOSITES IN INDONESIAN RURAL AREAS

Assoc. Prof. Dr. Hichem Ben Salah, Amine Gharbi, Dr. Salma Triki

Faculty of Civil Engineering, University of Tunis El Manar, Tunisia

ABSTRACT

This study explores sustainable bridge engineering using bamboo-based composites in Indonesian rural areas, where traditional construction materials are often expensive and environmentally impactful. Bamboo represents an abundant, renewable resource that can be processed into high-performance structural elements through modern composite manufacturing techniques. The research examines how bamboo composites can provide viable alternatives to conventional steel and concrete bridge construction in remote and resource-limited settings.

The study is based on sustainable engineering and materials science literature. It focuses on the mechanical properties, durability characteristics, and environmental benefits of bamboo-reinforced composites for bridge applications. The findings suggest that bamboo-based materials can achieve comparable structural performance to traditional materials while offering significant advantages in terms of carbon footprint reduction and local resource utilization. These composites also demonstrate good resistance to environmental degradation when properly treated and maintained.

The paper further argues that bamboo bridge construction can support rural development by utilizing locally available resources and creating employment opportunities in manufacturing and maintenance. In Indonesia's context, such approaches can reduce construction costs while promoting sustainable infrastructure development. The study concludes that bamboo-based composites offer a promising pathway for sustainable bridge engineering in rural areas, particularly when combined with appropriate design standards and quality control measures.

Key words: bamboo composites, sustainable bridge engineering, Indonesia, rural infrastructure, renewable materials

EARTHQUAKE-RESISTANT STRUCTURAL DESIGN METHODS FOR INDONESIA'S SEISMIC REGIONS

Dr. Nyoman Santika

Faculty of Engineering, Udayana University, Indonesia

ABSTRACT

This study examines earthquake-resistant structural design methods for Indonesia's seismic regions, where tectonic activity creates significant challenges for building safety and infrastructure resilience. Indonesia's location along multiple tectonic plate boundaries requires comprehensive seismic design approaches that can protect both human life and economic assets during earthquake events. The research explores modern structural engineering techniques that enhance building performance under seismic loading conditions.

The research is grounded in earthquake engineering and structural dynamics literature. It focuses on base isolation systems, energy dissipation devices, and ductile design principles that allow structures to absorb and dissipate seismic energy effectively. The findings suggest that proper seismic design can significantly reduce structural damage and improve post-earthquake recovery capabilities. These methods include flexible foundation systems, reinforced concrete detailing, and steel frame configurations that accommodate ground movement without catastrophic failure.

The paper also highlights the importance of local building code implementation and construction quality control in achieving effective seismic resistance. In Indonesia's diverse geological context, design methods must be adapted to local soil conditions and seismic hazard levels. The study concludes that earthquake-resistant design requires integrated approaches combining advanced engineering techniques with appropriate regulatory frameworks and construction practices to ensure long-term structural safety in seismic regions.

Key words: earthquake-resistant design, seismic regions, Indonesia, structural engineering, building safety

RENEWABLE ENERGY SYSTEM INTEGRATION IN TUNISIAN INDUSTRIAL FACILITIES

Dr. Agus Prasetyo, Rina Kuswandari, Budi Hartono, Siti Rahmawati

Faculty of Engineering, Bandung Institute of Technology, Indonesia

ABSTRACT

This study investigates renewable energy system integration in Tunisian industrial facilities, examining how solar, wind, and biomass technologies can be incorporated into existing industrial operations. As Tunisia seeks to reduce dependence on fossil fuels and meet climate commitments, industrial energy consumption represents a significant opportunity for renewable energy deployment. The research explores technical and economic factors influencing successful integration of renewable energy sources in industrial settings.

The study is based on renewable energy and industrial engineering literature. It focuses on hybrid energy systems, grid integration challenges, and energy storage solutions that can support continuous industrial operations. The findings suggest that renewable energy integration can reduce operational costs while improving energy security and environmental performance. However, successful implementation requires careful consideration of load profiles, backup systems, and regulatory frameworks that support distributed generation.

The paper further argues that industrial renewable energy adoption can stimulate local economic development through technology transfer and job creation. In Tunisia's context, such approaches can support national energy transition goals while maintaining industrial competitiveness. The study concludes that renewable energy system integration in industrial facilities requires comprehensive planning that addresses technical feasibility, economic viability, and regulatory compliance to achieve sustainable energy transformation.

Key words: renewable energy, industrial facilities, Tunisia, energy integration, sustainable manufacturing

WATER DESALINATION TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE IN TUNISIA

Prof. Dr. Khalid Al-Thani, Dr. Mariam Al-Kuwari, Fahad Al-Marri

Faculty of Engineering, Qatar University, Qatar

ABSTRACT

This study examines water desalination technologies for sustainable agriculture in Tunisia, where water scarcity poses significant challenges to agricultural productivity and food security. Desalination offers a reliable source of freshwater for irrigation, but energy requirements and environmental impacts must be carefully managed to ensure long-term sustainability. The research explores various desalination approaches and their applicability to agricultural contexts in Tunisia's diverse climate zones.

The study is grounded in water resources and environmental engineering literature. It focuses on reverse osmosis, solar desalination, and hybrid systems that can provide cost-effective water treatment for agricultural use. The findings suggest that desalination technologies can significantly improve water availability for irrigation while reducing pressure on freshwater resources. However, successful implementation requires appropriate pretreatment systems and energy optimization to minimize operational costs.

The paper further argues that desalination for agriculture must be integrated with water management strategies that include efficient irrigation practices and crop selection. In Tunisia's context, such approaches can support agricultural development while addressing water scarcity challenges. The study concludes that water desalination technologies offer promising solutions for sustainable agriculture when combined with appropriate water conservation measures and energy-efficient design principles.

Key words: water desalination, sustainable agriculture, Tunisia, irrigation systems, water management

AI-BASED PREDICTIVE MAINTENANCE IN TUNISIAN MANUFACTURING SYSTEMS

Dr. Youssef Kallel

Faculty of Engineering, University of Sfax, Tunisia

ABSTRACT

This study investigates AI-based predictive maintenance in Tunisian manufacturing systems, examining how machine learning algorithms can improve equipment reliability and reduce unplanned downtime. Predictive maintenance represents a significant advancement over traditional reactive maintenance approaches by using data analytics to anticipate equipment failures before they occur. The research explores the application of artificial intelligence techniques in monitoring industrial equipment and optimizing maintenance schedules.

The study is based on industrial engineering and artificial intelligence literature. It focuses on sensor data analysis, failure pattern recognition, and automated decision-making systems that can predict maintenance needs. The findings suggest that AI-based predictive maintenance can significantly reduce maintenance costs while improving equipment availability and operational efficiency. These systems can also extend equipment lifespan by enabling timely interventions that prevent catastrophic failures.

The paper further argues that successful implementation requires investment in sensor infrastructure, data management systems, and workforce training. In Tunisia's manufacturing context, such approaches can enhance competitiveness while supporting digital transformation initiatives. The study concludes that AI-based predictive maintenance offers substantial benefits for manufacturing systems when properly integrated with existing maintenance practices and organizational processes.

Key words: predictive maintenance, artificial intelligence, Tunisia, manufacturing systems, equipment reliability

URBAN DRAINAGE SYSTEM OPTIMIZATION FOR FLOOD PREVENTION IN ALGERIAN CITIES

Prof. Dr. Nabil Bouzidi, Karim Jlassi, Sonia Abid

Faculty of Engineering, University of Tunis El Manar, Tunisia

ABSTRACT

This study examines urban drainage system optimization for flood prevention in Algerian cities, where rapid urbanization and climate change have increased the risk of urban flooding. Effective drainage infrastructure is essential for protecting urban areas from water damage, maintaining transportation networks, and ensuring public safety during heavy rainfall events. The research explores engineering solutions that can improve drainage capacity and reduce flood vulnerability in urban environments.

The study is grounded in urban hydrology and civil engineering literature. It focuses on stormwater management systems, detention basins, and permeable surfaces that can enhance urban drainage performance. The findings suggest that optimized drainage systems can significantly reduce flood risk while improving urban water management. These approaches include integrated planning that considers topography, land use patterns, and climate projections to design appropriate drainage infrastructure.

The paper further argues that flood prevention requires coordinated efforts between urban planning, environmental management, and infrastructure development. In Algeria's urban context, such approaches can support sustainable city development while addressing climate-related challenges. The study concludes that urban drainage system optimization offers effective flood prevention solutions when combined with appropriate maintenance programs and community awareness initiatives.

Key words: urban drainage, flood prevention, Algeria, stormwater management, urban planning

URBAN DRAINAGE SYSTEM OPTIMIZATION FOR FLOOD PREVENTION IN ALGERIAN CITIES

Assoc. Prof. Dr. Mourad Bensalem, Nadia Toumi

Faculty of Civil Engineering, University of Science and Technology Houari Boumediene,
Algeria

ABSTRACT

This study investigates urban drainage system optimization for flood prevention in Algerian cities, where increasing urban development and extreme weather events create significant challenges for water management. Urban flooding poses risks to infrastructure, public safety, and economic activities, requiring comprehensive drainage solutions that can handle increased runoff volumes. The research examines engineering approaches that can enhance drainage system performance and reduce flood vulnerability in urban areas.

The study is based on urban water management and hydraulic engineering literature. It focuses on drainage network design, flow capacity analysis, and flood modeling techniques that can improve system efficiency. The findings suggest that optimized drainage systems can effectively manage stormwater while reducing flood risk through proper sizing, regular maintenance, and strategic placement of retention facilities. These approaches also support urban resilience by protecting critical infrastructure during extreme weather events.

The paper further argues that effective flood prevention requires integration of drainage planning with broader urban development strategies. In Algeria's urban context, such approaches can support sustainable growth while addressing climate adaptation needs. The study concludes that urban drainage optimization offers practical solutions for flood prevention when combined with appropriate regulatory frameworks and community engagement in water management practices.

Key words: urban drainage, flood prevention, Algeria, hydraulic engineering, urban resilience

ADVANCED COOLING SYSTEM DESIGN FOR HIGH-RISE BUILDINGS IN QATAR'S EXTREME CLIMATE CONDITIONS

Prof. Dr. Made Wirawan

Faculty of Engineering, Qatar University, Qatar

ABSTRACT

This study investigates advanced cooling system design for high-rise buildings in Qatar's extreme climate conditions, where ambient temperatures frequently exceed conventional HVAC system limits. The research examines the integration of variable refrigerant flow systems, district cooling networks, and thermal energy storage solutions to address the unique challenges posed by sustained high temperatures and humidity levels. In Qatar's rapid urban development context, high-rise buildings require cooling strategies that balance energy efficiency with occupant comfort while minimizing environmental impact.

The study is based on building engineering and thermal management literature. It focuses on the relationship between building envelope design, cooling load distribution, and system performance optimization. The findings suggest that conventional air conditioning approaches are insufficient for Qatar's climate demands, requiring innovative solutions that incorporate phase change materials, intelligent controls, and hybrid cooling configurations. These systems can significantly reduce peak energy consumption while maintaining stable indoor environments throughout extreme weather periods.

The paper also highlights the importance of integrating renewable energy sources with cooling infrastructure to achieve long-term sustainability goals. Solar-assisted cooling and waste heat recovery systems offer promising pathways for reducing dependence on conventional power generation. The study concludes that advanced cooling system design must consider both technical performance and broader urban energy planning. In Qatar's context, such approaches can support sustainable urban growth while addressing the fundamental challenges of extreme climate conditions in high-density developments.

Key words: cooling systems, high-rise buildings, Qatar, thermal management, sustainable engineering

SMART INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT USING IOT FOR URBAN TRANSPORT SYSTEMS IN QATAR

Assoc. Prof. Dr. Nasser Al-Hajri, Salem Al-Sulaiti

Department of Transportation Engineering, Qatar University, Qatar

ABSTRACT

This research examines smart infrastructure development using Internet of Things technology for urban transport systems in Qatar. As cities become increasingly connected, IoT applications offer significant opportunities for improving traffic management, public transportation efficiency, and overall mobility experiences. The study explores how sensor networks, real-time data collection, and intelligent traffic control systems can enhance urban transport performance in rapidly developing urban environments.

The study is grounded in smart city and transportation technology literature. It focuses on the integration of IoT devices in traffic monitoring, vehicle tracking, passenger information systems, and predictive maintenance of transport infrastructure. The findings suggest that IoT-enabled systems can reduce congestion, improve response times to incidents, and optimize route planning for both public and private transport. These technologies also support better decision-making through comprehensive data analytics and pattern recognition.

The paper further argues that successful IoT implementation requires careful consideration of data security, system interoperability, and user privacy concerns. In Qatar's urban development context, smart transport infrastructure must be designed to accommodate future technological advancements while maintaining operational reliability. The study concludes that IoT-based smart infrastructure can significantly improve urban transport systems by providing real-time insights, enhancing operational efficiency, and supporting sustainable mobility solutions for growing metropolitan areas.

Key words: smart infrastructure, IoT, urban transport, Qatar, traffic management

SUSTAINABLE BRIDGE ENGINEERING USING BAMBOO-BASED COMPOSITES IN INDONESIAN RURAL AREAS

Assoc. Prof. Dr. Hichem Ben Salah, Amine Gharbi, Dr. Salma Triki

Faculty of Civil Engineering, University of Tunis El Manar, Tunisia

ABSTRACT

This study explores sustainable bridge engineering using bamboo-based composites in Indonesian rural areas, where traditional construction materials are often expensive and environmentally impactful. Bamboo represents an abundant, renewable resource that can be processed into high-performance structural elements through modern composite manufacturing techniques. The research examines how bamboo composites can provide viable alternatives to conventional steel and concrete bridge construction in remote and resource-limited settings.

The study is based on sustainable engineering and materials science literature. It focuses on the mechanical properties, durability characteristics, and environmental benefits of bamboo-reinforced composites for bridge applications. The findings suggest that bamboo-based materials can achieve comparable structural performance to traditional materials while offering significant advantages in terms of carbon footprint reduction and local resource utilization. These composites also demonstrate good resistance to environmental degradation when properly treated and maintained.

The paper further argues that bamboo bridge construction can support rural development by utilizing locally available resources and creating employment opportunities in manufacturing and maintenance. In Indonesia's context, such approaches can reduce construction costs while promoting sustainable infrastructure development. The study concludes that bamboo-based composites offer a promising pathway for sustainable bridge engineering in rural areas, particularly when combined with appropriate design standards and quality control measures.

Key words: bamboo composites, sustainable bridge engineering, Indonesia, rural infrastructure, renewable materials

EARTHQUAKE-RESISTANT STRUCTURAL DESIGN METHODS FOR INDONESIA'S SEISMIC REGIONS

Dr. Nyoman Santika

Faculty of Engineering, Udayana University, Indonesia

ABSTRACT

This study examines earthquake-resistant structural design methods for Indonesia's seismic regions, where tectonic activity creates significant challenges for building safety and infrastructure resilience. Indonesia's location along multiple tectonic plate boundaries requires comprehensive seismic design approaches that can protect both human life and economic assets during earthquake events. The research explores modern structural engineering techniques that enhance building performance under seismic loading conditions.

The research is grounded in earthquake engineering and structural dynamics literature. It focuses on base isolation systems, energy dissipation devices, and ductile design principles that allow structures to absorb and dissipate seismic energy effectively. The findings suggest that proper seismic design can significantly reduce structural damage and improve post-earthquake recovery capabilities. These methods include flexible foundation systems, reinforced concrete detailing, and steel frame configurations that accommodate ground movement without catastrophic failure.

The paper also highlights the importance of local building code implementation and construction quality control in achieving effective seismic resistance. In Indonesia's diverse geological context, design methods must be adapted to local soil conditions and seismic hazard levels. The study concludes that earthquake-resistant design requires integrated approaches combining advanced engineering techniques with appropriate regulatory frameworks and construction practices to ensure long-term structural safety in seismic regions.

Key words: earthquake-resistant design, seismic regions, Indonesia, structural engineering, building safety

RENEWABLE ENERGY SYSTEM INTEGRATION IN TUNISIAN INDUSTRIAL FACILITIES

Dr. Agus Prasetyo, Rina Kuswandari, Budi Hartono, Siti Rahmawati

Faculty of Engineering, Bandung Institute of Technology, Indonesia

ABSTRACT

This study investigates renewable energy system integration in Tunisian industrial facilities, examining how solar, wind, and biomass technologies can be incorporated into existing industrial operations. As Tunisia seeks to reduce dependence on fossil fuels and meet climate commitments, industrial energy consumption represents a significant opportunity for renewable energy deployment. The research explores technical and economic factors influencing successful integration of renewable energy sources in industrial settings.

The study is based on renewable energy and industrial engineering literature. It focuses on hybrid energy systems, grid integration challenges, and energy storage solutions that can support continuous industrial operations. The findings suggest that renewable energy integration can reduce operational costs while improving energy security and environmental performance. However, successful implementation requires careful consideration of load profiles, backup systems, and regulatory frameworks that support distributed generation.

The paper further argues that industrial renewable energy adoption can stimulate local economic development through technology transfer and job creation. In Tunisia's context, such approaches can support national energy transition goals while maintaining industrial competitiveness. The study concludes that renewable energy system integration in industrial facilities requires comprehensive planning that addresses technical feasibility, economic viability, and regulatory compliance to achieve sustainable energy transformation.

Key words: renewable energy, industrial facilities, Tunisia, energy integration, sustainable manufacturing

WATER DESALINATION TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE IN TUNISIA

Prof. Dr. Khalid Al-Thani, Dr. Mariam Al-Kuwari, Fahad Al-Marri

Faculty of Engineering, Qatar University, Qatar

ABSTRACT

This study examines water desalination technologies for sustainable agriculture in Tunisia, where water scarcity poses significant challenges to agricultural productivity and food security. Desalination offers a reliable source of freshwater for irrigation, but energy requirements and environmental impacts must be carefully managed to ensure long-term sustainability. The research explores various desalination approaches and their applicability to agricultural contexts in Tunisia's diverse climate zones.

The study is grounded in water resources and environmental engineering literature. It focuses on reverse osmosis, solar desalination, and hybrid systems that can provide cost-effective water treatment for agricultural use. The findings suggest that desalination technologies can significantly improve water availability for irrigation while reducing pressure on freshwater resources. However, successful implementation requires appropriate pretreatment systems and energy optimization to minimize operational costs.

The paper further argues that desalination for agriculture must be integrated with water management strategies that include efficient irrigation practices and crop selection. In Tunisia's context, such approaches can support agricultural development while addressing water scarcity challenges. The study concludes that water desalination technologies offer promising solutions for sustainable agriculture when combined with appropriate water conservation measures and energy-efficient design principles.

Key words: water desalination, sustainable agriculture, Tunisia, irrigation systems, water management

AI-BASED PREDICTIVE MAINTENANCE IN TUNISIAN MANUFACTURING SYSTEMS

Dr. Youssef Kallel

Faculty of Engineering, University of Sfax, Tunisia

ABSTRACT

This study investigates AI-based predictive maintenance in Tunisian manufacturing systems, examining how machine learning algorithms can improve equipment reliability and reduce unplanned downtime. Predictive maintenance represents a significant advancement over traditional reactive maintenance approaches by using data analytics to anticipate equipment failures before they occur. The research explores the application of artificial intelligence techniques in monitoring industrial equipment and optimizing maintenance schedules.

The study is based on industrial engineering and artificial intelligence literature. It focuses on sensor data analysis, failure pattern recognition, and automated decision-making systems that can predict maintenance needs. The findings suggest that AI-based predictive maintenance can significantly reduce maintenance costs while improving equipment availability and operational efficiency. These systems can also extend equipment lifespan by enabling timely interventions that prevent catastrophic failures.

The paper further argues that successful implementation requires investment in sensor infrastructure, data management systems, and workforce training. In Tunisia's manufacturing context, such approaches can enhance competitiveness while supporting digital transformation initiatives. The study concludes that AI-based predictive maintenance offers substantial benefits for manufacturing systems when properly integrated with existing maintenance practices and organizational processes.

Key words: predictive maintenance, artificial intelligence, Tunisia, manufacturing systems, equipment reliability

URBAN DRAINAGE SYSTEM OPTIMIZATION FOR FLOOD PREVENTION IN ALGERIAN CITIES

Prof. Dr. Nabil Bouzidi, Karim Jlassi, Sonia Abid

Faculty of Engineering, University of Tunis El Manar, Tunisia

ABSTRACT

This study examines urban drainage system optimization for flood prevention in Algerian cities, where rapid urbanization and climate change have increased the risk of urban flooding. Effective drainage infrastructure is essential for protecting urban areas from water damage, maintaining transportation networks, and ensuring public safety during heavy rainfall events. The research explores engineering solutions that can improve drainage capacity and reduce flood vulnerability in urban environments.

The study is grounded in urban hydrology and civil engineering literature. It focuses on stormwater management systems, detention basins, and permeable surfaces that can enhance urban drainage performance. The findings suggest that optimized drainage systems can significantly reduce flood risk while improving urban water management. These approaches include integrated planning that considers topography, land use patterns, and climate projections to design appropriate drainage infrastructure.

The paper further argues that flood prevention requires coordinated efforts between urban planning, environmental management, and infrastructure development. In Algeria's urban context, such approaches can support sustainable city development while addressing climate-related challenges. The study concludes that urban drainage system optimization offers effective flood prevention solutions when combined with appropriate maintenance programs and community awareness initiatives.

Key words: urban drainage, flood prevention, Algeria, stormwater management, urban planning

URBAN DRAINAGE SYSTEM OPTIMIZATION FOR FLOOD PREVENTION IN ALGERIAN CITIES

Assoc. Prof. Dr. Mourad Bensalem, Nadia Toumi

Faculty of Civil Engineering, University of Science and Technology Houari Boumediene,
Algeria

ABSTRACT

This study investigates urban drainage system optimization for flood prevention in Algerian cities, where increasing urban development and extreme weather events create significant challenges for water management. Urban flooding poses risks to infrastructure, public safety, and economic activities, requiring comprehensive drainage solutions that can handle increased runoff volumes. The research examines engineering approaches that can enhance drainage system performance and reduce flood vulnerability in urban areas.

The study is based on urban water management and hydraulic engineering literature. It focuses on drainage network design, flow capacity analysis, and flood modeling techniques that can improve system efficiency. The findings suggest that optimized drainage systems can effectively manage stormwater while reducing flood risk through proper sizing, regular maintenance, and strategic placement of retention facilities. These approaches also support urban resilience by protecting critical infrastructure during extreme weather events.

The paper further argues that effective flood prevention requires integration of drainage planning with broader urban development strategies. In Algeria's urban context, such approaches can support sustainable growth while addressing climate adaptation needs. The study concludes that urban drainage optimization offers practical solutions for flood prevention when combined with appropriate regulatory frameworks and community engagement in water management practices.

Key words: urban drainage, flood prevention, Algeria, hydraulic engineering, urban resilience

**MODIFIED HOLT–WINTERS (MOHW) YÖNTEMİNİN YUKARI FIRAT
HAVZASINDA AYLIK YAĞIŞ TAHMİNİNDEKİ PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Doç. Dr. SERKAN ŞENOCAK – Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye – E-posta: ssenocak@atauni.edu.tr – ORCID: 0000-
0002-4962-5349

Yüksek Lisans Öğrencisi, ONUR YANAR – Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, Türkiye – E-posta: onrynr0000@gmail.com –
ORCID: 0009-0007-5120-8134

ÖZET

Yağış tahmini, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, kuraklık ve taşkın risklerinin azaltılması ile hidroelektrik enerji üretiminin planlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle yarı kurak iklim özelliklerine sahip havzalarda yağış serilerinin yüksek değişkenlik göstermesi, tahmin modellerinin başarısını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, Yukarı Fırat Havzası içerisinde yer alan 16 meteoroloji istasyonuna ait uzun dönem aylık toplam yağış serileri kullanılarak Modified Holt–Winters (MOHW) yönteminin performansı değerlendirilmiş ve klasik Holt–Winters modelleri ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmada öncelikle yağış serilerinin homojenlik yapıları Pettitt, Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) ve Buishand Range testleri yardımıyla incelenmiştir. Ardından Additive Holt–Winters (AHW), Multiplicative Holt–Winters (MHW) ve Modified Holt–Winters (MOHW) modelleri uygulanmıştır. Model parametreleri optimizasyon yaklaşımıyla belirlenmiş; performans değerlendirmelerinde Kök Ortalama Kare Hata (RMSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE), Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve Bayesyen Bilgi Kriteri (BIC) ölçütlerinden yararlanılmıştır. Ayrıca model sonuçları Diebold–Mariano (DM) testi ve Model Confidence Set (MCS) yaklaşımıyla istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Bulgular, MOHW yönteminin havza genelinde diğer Holt–Winters modellerine göre daha başarılı ve daha kararlı sonuçlar ürettiğini göstermiştir. Eğitim döneminde incelenen 16 istasyonun 14’ünde en düşük AIC değerleri MOHW modeli tarafından elde edilmiştir. Test dönemi sonuçları da MOHW modelinin birçok istasyonda düşük hata değerleri verdiğini ortaya koymuştur. MCS analizleri, MOHW modelinin çok sayıda istasyonda güven kümesi içerisinde yer aldığını göstermiştir. Bu durum, modelin farklı istasyon koşullarında yalnızca düşük hata üretmekle kalmadığını, aynı zamanda istatistiksel açıdan da güçlü bir seçenek olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak MOHW yönteminin, Yukarı Fırat Havzası gibi mevsimsel değişkenliğin yüksek olduğu bölgelerde aylık yağış tahmini için güvenilir bir alternatif olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Modified Holt–Winters, Yağış Tahmini, Yukarı Fırat Havzası, Model Confidence Set, Diebold–Mariano Testi.

**EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF THE MODIFIED HOLT–WINTERS
METHOD FOR MONTHLY RAINFALL FORECASTING IN THE UPPER
EUPHRATES BASIN**

ABSTRACT

Accurate rainfall forecasting is crucial for the sustainable management of water resources, mitigating drought and flood risks, and planning hydroelectric power generation. The high variability of rainfall series in semi-arid basins, in particular, directly affects the performance of forecasting models. This study evaluated the performance of the Modified Holt–Winters (MOHW) method using long-term monthly total rainfall series obtained from 16 meteorological stations within the Upper Euphrates Basin, comparing it with classical Holt–Winters models.

The study primarily examines the homogeneity of rainfall series using the Pettitt, Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) and Buishand Range tests. Additive Holt–Winters (AHW), Multiplicative Holt–Winters (MHW) and Modified Holt–Winters (MOHW) models were then applied. Model parameters were determined using an optimisation approach and model performance was assessed using Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Akaike Information Criterion (AIC) and Bayesian Information Criterion (BIC). Additionally, the forecasting results were statistically evaluated using the Diebold–Mariano (DM) test and the Model Confidence Set (MCS) approach.

The findings show that the MOHW method produced more accurate and consistent results than the other Holt–Winters models across the entire basin. During the training period, the MOHW model obtained the lowest AIC values at 14 of the 16 examined stations. Test-period results also revealed that the MOHW model yielded lower forecasting errors at many stations. Furthermore, MCS analyses showed that the MOHW model was included in the confidence set for many stations. These results suggest that the model generates low forecasting errors under different station conditions.

Keywords: Modified Holt–Winters, Precipitation Forecasting, Upper Euphrates Basin, Model Confidence Set, Diebold–Mariano Test.