

# AICHEAS 7. ULUSLARARASI SAĞLIK, MÜHENDİSLİK VE UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ

24 - 26 Nisan 2026  
MUŞ

doi

ACADEMIA



SEMANTIC SCHOLAR

zenodo



OpenAIRE

StrikePlagiarism.com

ORIGINALITY IS A VALUE

CAS

Crossref

INDEX

Google

WZB

pubget

ESJI

DRJI

NLM Catalog

WorldCat

ISI

CiteFactor

OAJI

J-Gate

Academic Search

Inspec

International Society of Universal Research in Sciences

ROAD

ResearchGate

Journal Seek

Journal Index

Journal Index

getCITED

ResearchGate



www.akademikongre.org

www.aichss.org

YÜZYÜZE ve ONLINE



**AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, ENGINEERING  
AND APPLIED SCIENCES  
APRIL 24 - 26, 2026  
MUŞ**

**Edited By**  
**PROF. DR. BAŞAK HANEDAN**

**Issued: 30.05.2026**  
**ISBN: 978-625-8795-09-7**

**ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :**

**In the conference 29 papers have been presented by Turkish participants and 41 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.

**CONFERENCE ID**

---

**AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, ENGINEERING  
AND APPLIED SCIENCES**

**DATE – PLACE**  
**APRIL 24 - 26, 2026**  
**MUŞ**

**ORGANIZATION**  
**ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS**

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

**PARTICIPATING COUNTRIES**  
Turkey – Georgia – Indonesia - Japan- Spain- Georgia- Moldova- Pakistan – Tajikistan –  
Albania – India- Egypt – Ethiopia- Senegal – Qatar – Iran- United Arab Emirates

**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 : Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran

- 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. Sevra Fırıncıoğulları
- Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia
- Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi
- Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi
- Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi
- Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi
- Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi
- Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi
- Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –
- Dr. Dadash Mehravari - Tebriz 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 – Turkiye
- Prof. Dr. Fatma Koç – Turkiye
- Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye
- Prof. Dr. Ali Bilgili - Turkiye
- Prof. Dr. Naile Bilgili - Turkiye
- Prof. Dr. Başak Hanedan – Turkiye
- Prof. Dr. Aysel Güven - Turkiye
- Prof Dr. Bülent Kurtişoğlu – Turkiye
- Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan
- Prof. Dr. Dwi Sulisworo – Indonesia
- Prof. Dr. Natalia Latygina – Ukraina
- Prof. Dr. Yunir Abdrahimov – Russia
- Prof. Muntazir Mehdi – Pakistan
- Prof. Dr. T.Venkat Narayana Rao – India
- Prof. Dr. İzzet Gümüş – Turkiye
- Prof. Dr. Mustafa Bayram – Turkiye
- Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Turkiye
- Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China
- Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan
- Prof. Dr. Suyatno – Indonesia
- Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia
- Prof. Dr. Sameer Jain – India
- Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran
- Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia
- Prof. Dr. Guler Yenice – Turkiye
- Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Turkiye
- Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan
- Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye
- Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye
- Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes
- Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

- Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Siddık Bakır – Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia  
Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Feran Aşur – Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Sevrâ Fırınçioğulları - Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan  
Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran  
Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria  
Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia  
Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan  
Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India  
Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Turkiye  
Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan  
Assoc. Prof. Dr. İrade 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 – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India

Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania

Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Turkiye

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

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines

Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Turkiye

Dr. Mehmet Nuri Ödük – Turkiye

Dr. Ayşe Baran - Turkiye

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan

Dr. Sonali Malhotra – India

Dr. Amaneh Manafidizaji – Iran

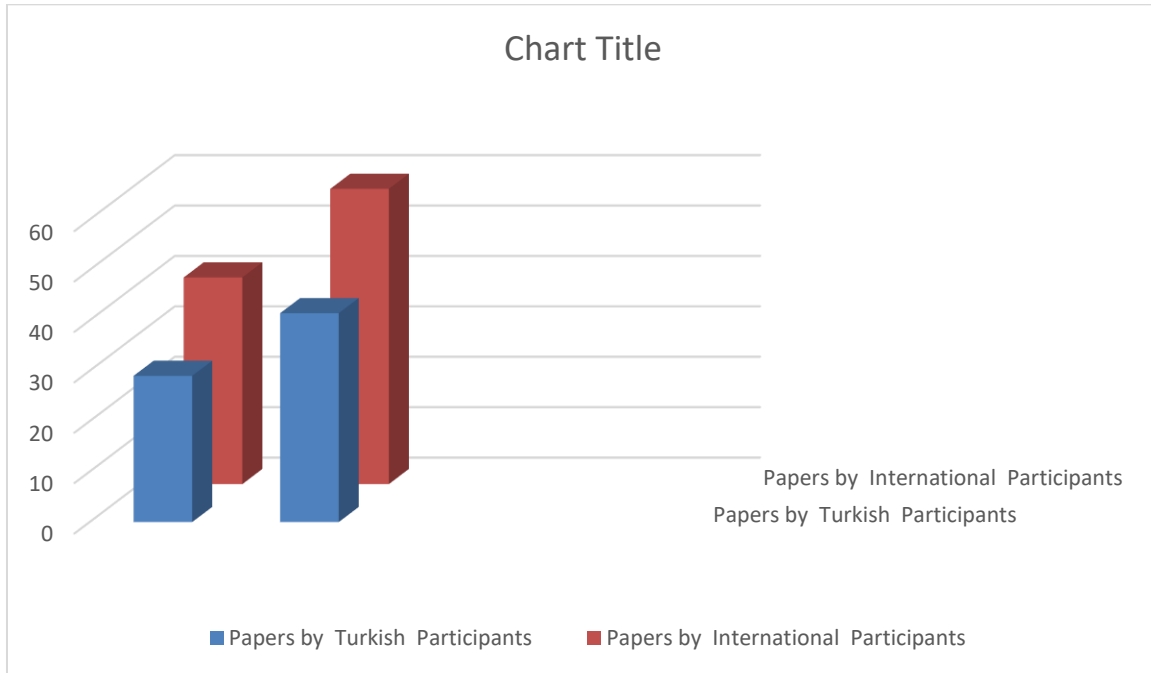
---

	<i>Number of paper</i>	<i>%</i>
<i>Papers by Turkish Participants</i>	29	41.43

*Papers by International Participants*  
*(16 Countries)*

41

58.57





T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ  
Veteriner Fakültesi Dekanlığı



Sayı : E-36643897-000-2300315795  
Konu : Görevlendirilme.

05.10.2023

KLİNİK BİLİMLER BÖLÜMÜ BAŞKANLIĞINA

İlgi : 04.10.2023 tarihli ve E-36643897-000-2300313904 sayılı belge.

İlgide kayıtlı yazıda belirtildiği üzere, Bölümünüz Veterinerlik İç Hastalıkları Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Prof. Dr. Başak HANEDAN'ın, "Academy Global Conferences & Publishing tarafından önümüzdeki tarihlerde düzenlenecek olan uluslararası kongrelerde; kongre başkanı, kongre düzenleme ve bilim kurulu üyesi olarak görevlendirilmesi Dekanlığımızca uygun görülmüştür.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Prof.Dr. Yavuz Selim SAĞLAM  
Dekan

**Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.**

Do rulama Kodu: c147f559-545f-45be-8400-8ecc2b215b38  
Atatürk Üniversitesi Veteriner Fakültesi 25240 Erzurum  
Tel: +90 442 2317222  
Elektronik A : <http://www.atauni.edu.tr/#!birim=veteriner-fakultesi>  
Kep Adresi: atauni@hs01.kep.tr

Do rulama Adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/aturk-universitesi-ebys>

Bilgi: Derya FİNDİK  
Faks: +90 442 2317244  
E-Posta: vetfak@atauni.edu.tr



## AICHSS 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES

### AICHSS 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

#### 34. "Gelenekselden Çağdaş Sanat Serüveni" ULUSLARARASI KARMA SERGİ APRIL 24 - 26, 2026 - MUŞ

#### Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

<https://us06web.zoom.us/j/88571518350?pwd=f0YazCWBmbAiWrHygjKSjkbbSvotfd.1>

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224



## ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

- ZOOM bağlantısı için yukarıda verilen bağlantıyı veya yine yukarıda verilen giriş bilgilerinizi 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 sözkonusu olamaz.**
- Katılımcı, kendi oturumda, oturum bitene kadar bulunmak zorundadır.
- Katılımcıların kendi oturumları dışındaki oturumlara katılma zorunluluğu yoktur.
- ZOOM platformunun kapasite sınırı nedeniyle, DİNLEYİCİ, sadece kapasite izin verdiği sürece kabul edilebilmektedir.
- **SADECE ÇALIŞMADA YAZAR OLARAK GEÇEN KİŞİLER SUNUM YAPABİLİR !**

### IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

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

### TECHNICAL INFORMATION

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

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 24 Nisan / April 24, 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	Öğr. Gör. Dr. Uğur DAGTEKİN	1	SAĞLIK KURUMLARINDA SÜREKLİ İYİLEŞTİRME (KAİZEN) FAALİYETLERİNİN KURUMSAL İMAJ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ- İSTANBUL İLİ ÖRNEĞİ	Yüksek Lisans Öğrencisi,DUYGU SENA DOĞAN Doç. Dr.,ALİ ÖZCAN
		2	TÜRKİYE'DE GERİATRİ HİZMETLERİNİN SAĞLIK TURİZMİ AÇISINDAN ÖNEMİ VE GELİŞİM POTANSİYELİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, ALPAY SİMSAR Doç.Dr., Ali ÖZCAN
		3	KADIN AİLE SAĞLIĞI ÇALIŞANLARININ ŞİDDETE KARŞI GÜVENLİK, GÜVEN ALGILARI İLE İŞ TATMİNİ VE İLETİŞİM BECERİLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Yüksek Lisans Öğrencisi, Sibel GÜLERTAN ARISOY Doç.Dr., Ali ÖZCAN
		4	DİJİTALLEŞME VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇERÇEVESİNDE MALİ MÜŞAVİRLİK MESLEĞİNİN DÖNÜŞÜMÜ	ZEYNEP GÜLSÜM ÇARBUĞA
		5	YAPAY ZEKA FARKINDALIK DÜZEYLERİNİN YÖNETSEL KARAR ALMA SÜREÇLERİNE ETKİSİ: ANAKKALE/BİGA'DA KADIN YÖNETİCİLER ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Aslı Tuana SAVAŞ Prof. Dr. Erdal AYDIN
		6	ADAPTATION OF INFORMATION TECHNOLOGY STAFF TO GDPR PROCESSES: A UNIVERSITY CASE STUDY AND PROPOSED ROADMAP	Dr. Uğur KÜÇÜKOĞLU Doç. Dr. Ahmet Kamil KABAKUŞ Öğr. Gör. Dr. Uğur DAGTEKİN
		7	COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING MODELS FOR PHISHING URL DETECTION AND THE IMPACT OF FEATURE SELECTION	Öğr. Gör. Dr. Uğur DAGTEKİN Doç. Dr. Ahmet Kamil KABAKUŞ Dr. Uğur KÜÇÜKOĞLU
		8	DETERMINATION OF THE IMPORTANCE RANKING OF FACTORS INFLUENCING OBESITY USING MACHINE LEARNING METHODS	Ph.D., Faruk URAK
		9	ÖRGÜTLERDE HİBRİT ÇALIŞMA MODELİNİN ÇALIŞAN DENEYİMİNE YANSIMASI: SESSİZ ÇATLAMA ÜZERİNE BİR İNCELEME	Dr. Öğr. Üyesi Derya ÇELİK Dr. Ömer Samet KAZDAL

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 24 Nisan / April 24, 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	Assoc. Prof. MELİKE NÜKTE DİNÇER	1	POPULATION EXCHANGE AND SPATIAL CONTINUITY: SOCIO-ECONOMIC AND ARCHITECTURAL TRACES OF COEXISTENCE IN GÜZELKENT/HELALDI	Dr. Öğr. Üyesi DURMUŞ GÜR
		2	MEDITATIVE AND MINDFULNESS-BASED PRACTICES IN CERAMIC ART IN THE DIGITAL AGE	Assoc. Prof. MELİKE NÜKTE DİNÇER
		3	KANT'TA UMUT NEYİ VAAT EDER? PRATİK AKLIN PERSPEKTİFİNDEN BİR ANALİZ	Doktora Öğrencisi, KÜBRA ATAY
		4	TOPLUMSAL GERÇEKLİĞİN İNŞASI: SEARLE'ÜN KURAMININ DİL, YENİDEN ÜRETİM VE DÖNÜŞÜM AÇISINDAN YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	Doktora Öğrencisi, KÜBRA ATAY
		5	MERT ARIK'IN BENİM ZURAFAM UÇABİLİR VE UZAYA GİDEN TREN ADLI ESERLERİNİN ÇOCUK EDEBİYATI İLKELERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Elif SEDEF Doç. Dr. Nazlı MEMİŞ BAYTİMUR
		6	BEKİR BÜYÜKARKIN'IN KUTLU DAĞ ROMANINDA YAPISAL UNSURLAR VE İZLEKLER	Yüksek Lisans Öğrencisi, Furkan DEĞİRMENCİ Doç. Dr. Nazlı MEMİŞ BAYTİMUR
		7	THE SHALVAR AS AN INDICATOR OF CULTURAL IDENTITY: FORMS OF REPRESENTATION IN VISUAL CULTURE	İREM NUR TOPRAKKARIŞTIRAN Doç. TUBA BATU
		8	THE ROLE OF WOMEN'S COOPERATIVES IN WOMEN'S EMPOWERMENT AND CULTURAL TRANSMISSION: THE CASE OF BEKTAŞ VILLAGE WOMEN'S LABOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT COOPERATIVE	SİBEL ARSLAN Doç. TUBA BATU
		9	BEYOND ETHNOGRAPHY: TIM INGOLD AND THE ONTOLOGICAL REORIENTATION OF SOCIAL ANTHROPOLOGY	Dr. Öğr. Üyesi ALAATTİN OĞUZ

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES MUŞ				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Nisan / April 24, 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	ASSOC. PROF. DR. EYLEM BEYAZIT	1	YENİ MEDYADA İZLEYİCİ PRATİKLERİNİN DÖNÜŞÜMÜ: İZLEYİCİNİN AKTİF ÖZNELEŞMESİ VE TIKTOK İÇERİK DÖNGÜLERİ	Damla Sude ERGEN
		2	A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF THE LITERATURE ON DIALOGIC COMMUNICATION AND PUBLIC RELATIONS	Dr., MAŞİDE KARACA
		3	HOLLYWOOD, SPAGETTİ VE TÜRK WESTERN FİMLERİNDE KOVBOY RACONU	Dr, Mehmet Ali KAYA
		4	KÜLTÜR-SANAT HABERCİLİĞİ: CÜNEYT ÖZDEMİR YOUTUBE KANALININ İÇERİK ANALİZİ	Assoc. Prof. FIRAT ATA
		5	THE STRUGGLE TO PROTECT AN ECOSYSTEM: THE MILLEYHA WETLAND FROM A BIODIVERSITY AND ENVIRONMENTAL CONSERVATION PERSPECTIVE	ASSOC. PROF. DR. EYLEM BEYAZIT
		6	MULTİDİSİPLİNER BİR ALAN: SÜRDÜRÜLEBİLİR GASTRONOMİ	Dr. Öğr. Üyesi ÖZLEM ÇAYIR
		7	THE RELATIONSHIP BETWEEN SOCIAL MEDIA ADDICTION LEVELS AND SOCIAL AND EMOTIONAL LONELINESS AMONG UNIVERSITY STUDENTS	Psychology Student, Melisa ÖZDEMİR Dr. Şule AYDIN YERAL Res. Asst. Azra Ceren KİBAROĞLU
		8		

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 24 Nisan / April 24, 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	Assoc. Prof. Dr. Ramazan KIYAK	1	Adverse effects of antiretroviral therapy for patients with HIV infection in a tertiary hospital centre, in Albania	Mirela Rexhepi Erjona Abazaj Esmeralda Meta
		2	GASTROENTEROLOGY CONSULTATIONS IN THE EMERGENCY DEPARTMENT BETWEEN 2020 AND 2023: A RETROSPECTIVE ANALYSIS	Assoc. Prof. Dr. Ramazan KIYAK Assoc. Prof. Dr. Bahadır ÇAĞLAR Assoc. Prof. Dr. Süha SERİN
		3	SYNERGISTIC EFFECTS OF THYMOQUINONE-BETAINE COMBINATION ON CASPASE DEPENDENT APOPTOSIS AND MMP-2 MODULATION IN MCF-7 BREAST CANCER CELLS	Ph.D. Student, RUMEYSA SULTAN ÇEVİK Assistant Professor, HADİ KARİMKHANI Associate Professor, AHMET MURAT GÜNAL
		4	ENDODONTIC TREATMENT OF A MANDIBULAR SECOND MOLAR WITH A C- SHAPED ROOT CANAL CONFIGURATION: A CASE REPORT	Uzm. Dt. MEDİNE ÇİÇEK
		5	ENDODONTIC RETREATMENT OF THREE-ROOTED MAXILLARY PREMOLARS: A TWO-CASE SERIES WITH ONE-YEAR FOLLOW-UP	Uzm. Dt. MEDİNE ÇİÇEK

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 24 Nisan / April 24, 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. Elnur Mammadov	1	PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP MODELS FOR FLOOD-RESILIENT INFRASTRUCTURE IN DHAKA URBAN AREAS	Prof. Dr. Rahman Chowdhury Fatema Akter Md. Sharif Hossain Ayesha Siddiqua
		2	CLIMATE CHANGE ADAPTATION STRATEGIES FOR BANGLADESH COASTAL COMMUNITY DEVELOPMENT	Assoc. Prof. Dr. Khaled Islam Nusrat Jahan Samiul Haque
		3	URBAN HEAT ISLAND MITIGATION THROUGH GREEN ROOF SYSTEMS IN TEHRAN METROPOLIS	Dr. Reza Jalali Soraya Mahmoudi Ali Karimi
		4	EARTHQUAKE-RESISTANT HOUSING DESIGNS FOR RURAL IRANIAN SETTLEMENTS	Prof. Dr. Hassan Tavakoli Fatemeh Ahmadi
		5	HIGH-DENSITY VERTICAL FARMING SOLUTIONS FOR SINGAPORE'S LIMITED LAND RESOURCES	Assoc. Prof. Dr. Lim Wei Ming Dr. Tan Mei Ling Rajesh Kumar
		6	SEA-LEVEL RISE DEFENSE SYSTEMS FOR SINGAPORE COASTAL URBAN EXPANSION	Prof. Dr. Ong Boon Leong Sarah Ng Muhammad Amir
		7	SMART CITY PLANNING FRAMEWORKS FOR SUSTAINABLE BAKU DEVELOPMENT	Assoc. Prof. Dr. Elnur Mammadov Leyla Hasanova Farid Gurbanov
		8	WATER CONSERVATION ARCHITECTURE IN ARID AZERBAIJANI REGIONS	Dr. Nigar Aliyeva Aysel Ibrahimova Kamran Abbasov
		9	POST-INDUSTRIAL URBAN REGENERATION PROJECTS IN GANJA CITY CENTER	Prof. Dr. Victor Rusnac Elvin Rahimov Sevinc Nuriyeva

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 24 Nisan / April 24, 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	Assoc. Prof. Dr. Lilia Harabi	1	INTEGRATING DIGITAL STORYTELLING IN TUNISIAN PRIMARY EDUCATION FOR LITERACY DEVELOPMENT	Prof. Dr. Amel Ben Ali Karim Trabelsi Nadia Jarraya Sami Karray
		2	STEM EDUCATION REFORM MODELS FOR RURAL TUNISIAN GIRLS EMPOWERMENT PROGRAMS	Assoc. Prof. Dr. Lilia Harabi Youssef Ben Salem Fatma Zayani
		3	BLENDED LEARNING FRAMEWORKS FOR GEORGIAN VOCATIONAL TRAINING IN TOURISM SECTOR	Dr. Nino Tsiklauri Giorgi Beridze Mariam Kapanadze Levan Lomidze
		4	TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT THROUGH PEER MENTORING IN TBILISI SCHOOLS	Prof. Dr. Tamar Gelashvili Irakli Chikhradze Lali Tsivtsivadze
		5	AI-DRIVEN PERSONALIZED LEARNING PLATFORMS FOR SINGAPOREAN SPECIAL NEEDS STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. Wei Ling Tan Dr. Marcus Lee Siti Rahman Jasmine Wong
		6	MULTICULTURAL CURRICULUM DESIGN FOR SINGAPORE'S DIVERSE CLASSROOM ENVIRONMENTS	Prof. Dr. Rajesh Kumar Aisha Lim Benjamin Tan

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 24 Nisan / April 24, 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. Giorgi Tsiklauri	1	CLIMATE CHANGE IMPACTS ON COASTAL EROSION PATTERNS ALONG TUNISIAN MEDITERRANEAN SHORELINES	Prof. Dr. Amel Ben Salem Karim Trabelsi Nadia Jrad Hassen Karray
		2	WATER RESOURCE MANAGEMENT CHALLENGES IN TUNISIA'S SOUTHERN OASES UNDER DROUGHT CONDITIONS	Assoc. Prof. Dr. Lilia Hachicha Mohamed Neji Sahar Ben Ali
		3	GEOMORPHOLOGICAL EVOLUTION OF BLACK SEA COASTAL DELTAS IN GEORGIA	Dr. Giorgi Tsiklauri Nino Chikhradze Levan Beridze
		4	URBAN HEAT ISLAND EFFECTS AND LAND USE CHANGES IN TBILISI METROPOLITAN REGION	Prof. Dr. Mariam Gelashvili Irakli Lomidze Tamar Kapanadze
		5	TROPICAL CYCLONE INTENSITY FORECASTING MODELS FOR SINGAPORE STRAIT MARITIME SAFETY	Assoc. Prof. Dr. Wei Tan Dr. Mei Ling Rajesh Kumar
		6	MANGROVE ECOSYSTEM MAPPING AND CARBON SEQUESTRATION IN SINGAPORE COASTAL WETLANDS	Siti Rahman Prof. Dr. Lim Hock
		7	ATLAS MOUNTAINS GLACIER RETREAT PATTERNS AND HYDROLOGICAL IMPLICATIONS IN MOROCCO	Prof. Dr. Fatima Zahraoui Youssef Bennani Amina El-Khatib
		8	DESERTIFICATION PROCESSES AND LAND DEGRADATION IN MOROCCO'S PRE-SAHARA REGIONS	Assoc. Prof. Dr. Hassan Rhouma Nadia Belghiti
		9	URBAN EXPANSION DYNAMICS AND SPRAWL ANALYSIS IN CASABLANCA METROPOLITAN AREA	Dr. Omar Lahlou Karim Alami Laila Souissi
		10	GIS-BASED VULNERABILITY ASSESSMENT FOR FLOOD RISKS IN MARRAKECH VALLEY BASINS	Assoc. Prof. Dr. Mehdi Bouziane Sara El-Mansouri Reda Fassi

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 24 Nisan / April 24, 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	Assoc. Prof. Dr. Rania Salameh	1	ARAB-PERSIAN PHILOSOPHICAL SYNTHESIS IN IBN SINA'S EPISTEMOLOGY OF CERTAINTY	Prof. Dr. Khalil Nassar Dr. Lina Harb Sami El-Khoury
		2	EXISTENTIAL THEMES IN MAHMOUD DARWISH'S POETRY THROUGH LEVINASIAN ETHICS	Assoc. Prof. Dr. Rania Salameh Elias Tannous
		3	ISLAMIC MODERNISM AND BERBER ORAL TRADITIONS IN ALGERIAN POSTCOLONIAL THOUGHT	Dr. Amina Zerhouni Karim Belkacem Fatima Hadji
		4	AL-FARABI'S VIRTUE ETHICS AND CONTEMPORARY ALGERIAN SOCIAL CONTRACT THEORY	Prof. Dr. Yacine Djarallah Nadia Cherif
		5	CONFUCIAN HARMONY VERSUS SINGAPOREAN PRAGMATISM IN MULTICULTURAL ETHICS	Assoc. Prof. Dr. Wei Ling Tan Dr. Rajesh Kumar Mei Ling Wong
		6	MERLEAU-PONTY'S PHENOMENOLOGY APPLIED TO SINGAPORE URBAN EXISTENTIAL SPACE	Siti Rahman Prof. Dr. Chen Hao
		7	DESCARTES' METHODOLOGICAL DOUBT REVISITED IN ALGERIAN DECOLONIAL EPISTEMOLOGY	Dr. Samir Lounis Assoc. Prof. Dr. Leila Amrane Hakim Zerrouki
		8	NIETZSCHEAN WILL TO POWER IN POST-INDEPENDENCE ALGERIAN NATIONAL IDENTITY	Prof. Dr. Nourredine Belhadj Yasmina Bouziane
		9	KANTIAN AUTONOMY AND ISLAMIC IJTIHAD IN ALGERIAN LEGAL PHILOSOPHY	Dr. Zahra Khelifa Karim Mansouri Assis. Prof. Dr. Samia Haddad

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 24 Nisan / April 24, 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. Sergiu Platicea	1	RURAL-URBAN MIGRATION PATTERNS AND FAMILY STRUCTURE TRANSFORMATIONS IN TAJIKISTAN	Prof. Dr. Farrukh Rahmonov Dilnoza Karimova Sherali Ubaidulloev
		2	GENDER ROLES EVOLUTION AMONG TAJIK YOUTH IN POST-SOVIET TRANSITIONAL CONTEXTS	Assoc. Prof. Dr. Nigora Saidova Azizjon Boboev Gulnoz Mirzoeva
		3	URBAN SLUM COMMUNITIES AND SOCIAL MOBILITY BARRIERS IN KARACHI MEGACITY	Dr. Ayesha Siddiqui Imran Malik Sana Rehman
		4	RELIGIOUS IDENTITY NEGOTIATION AMONG PAKISTANI DIASPORA IN GULF COUNTRIES	Prof. Dr. Faisal Butt Zainab Qureshi Rabia Nisar
		5	ETHNIC MINORITY INTEGRATION CHALLENGES IN TBILISI MULTICULTURAL NEIGHBORHOODS	Assoc. Prof. Dr. Nino Tsiklauri Levan Beridze Mariam Gelashvili
		6	POST-SOVIET NATIONAL IDENTITY FORMATION THROUGH GEORGIAN LANGUAGE REVITALIZATION	Dr. Irakli Lomidze Tamar Kapanadze Giorgi Khutsishvili
		7	WINE INDUSTRY REVIVAL AND RURAL COMMUNITY RESILIENCE IN MOLDOVAN VILLAGES	Prof. Dr. Ion Cebanu Maria Popescu Andrei Lupu
		8	YOUTH POLITICAL ENGAGEMENT IN CHISINAU AMID EU INTEGRATION PRESSURES	Assoc. Prof. Dr. Victor Rusnac Elena Bodarev
		9	MOLDOVAN TRANSNATIONAL FAMILIES AND CHILDCARE ARRANGEMENTS IN LABOR MIGRATION	Dr. Sergiu Platicea Ecaterina Rusu Vladimir Moraru
		10	LANGUAGE SHIFT DYNAMICS AMONG GAGAUZ MINORITY IN AUTONOMOUS TERRITORIAL UNITS	Dr. Olga Cebotari Pavel Stepanov Natalia Grigorencu

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Nisan / April 24, 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	Doç. Dr. Esra BAYÇELEBİ	1	EVALUATION OF Lactobacillus SPECIES AND THEIR BIOLOGICAL ACTIVITIES, IN TERMS OF ANTIMICROBIAL EFFICACY	RPh. EMRULLAH YILDIZ Assoc. Prof. TUBA UNVER
		2	SAFRAN BİTKİSİ EKSTRAKTI İLE GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN SENTEZİ VE GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN ANTİMİKROBİYAL ETKİNLİĞİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, LADAN ALİZADEH Dr. Öğr. Üyesi, KAMİL SERKAN UZYOL
		3	KARAYEMİŞ EKSTRAKTI İLE OLUŞTURULMUŞ GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN PLA FİLM MATRİSİ İLE BİRLEŞTİRİLEREK ANTİMİKROBİYAL ÖZELLİĞİNİN İNCELENMESİ	Dr. Öğr. Üyesi, KAMİL SERKAN UZYOL Yüksek Lisans Öğrencisi, GÜLAY VARDARBAŞI
		4	THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON INLAND WATER RESOURCES	Doç. Dr. Esra BAYÇELEBİ
		5	HAYVANSAL GIDALARDA PROTEİN DENATÜRASYONU VE HİSTOLOJİK DEĞİŞİKLİKLER	Prof. Dr. Serap KILIÇ ALTUN Doç. Dr. İsmail Şah HAREM Doç. Dr. Nilgün PAKSOY
		6	HAYVANSAL GIDALARDA YAĞ ASİDİ PROFİLİ, LİPİD PEROKSİDASYONU VE DOKUSAL HİSTOLOJİK DEĞİŞİKLİKLER	Prof. Dr. Serap KILIÇ ALTUN Doç. Dr. Nilgün PAKSOY Doç. Dr. İsmail Şah HAREM

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Nisan / April 24, 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. İlyas KARTAL	1	FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE KİRLENME NEDENİYLE VERİM AZALMASI VE TEKNOLOJİK ÇÖZÜMLER	Hasan Kaan KÜÇÜKERDEM Hasan Hüseyin ÖZTÜRK
		2	ISI DEPOLAMA TEKNİKLERİNİN TEKNOLOJİYE HAZIRLIK SEVİYELERİ VE MALİYET KARŞILAŞTIRMASI	Hasan Hüseyin ÖZTÜRK Hasan Kaan KÜÇÜKERDEM
		3	KESTANE KABUĞU DOLGULU VİNİLESTER ESASLI KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ	Doç. Dr. İlyas KARTAL Alara Minel ÖLMEZ
		4	VİNİLESTER ESASLI KOMPOZİTLERDE ZEYTİN ÇEKİRDEĞİ DOLGUSUNUN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Doç. Dr. İlyas KARTAL Ezginur ELİBALDENLİ
		5	CAUSAL ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY OF SHIP FRESHWATER GENERATORS USING THE DEMATEL METHOD	Burak AY Asst. Prof. Dr. Seyid Mahmud Esad DEMIRCI
		6	MEKANİK VENTİLATÖR PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ AMACIYLA AKIŞ ANALİZÖRÜ TASARIMI	Alperen YILMAZ Prof. Dr. Akil Birkan SELÇUK

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 24 Nisan / April 24, 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	Prof. Dr. Tugrul Talaslioglu	1	GALVANİZLİ BACA MALZEMELERİNİN TEK VE ÇİFT KATMANLI MEKANİZMALARDA PERFORMANSININ SİMÜLASYON TABANLI DEĞERLENDİRİLMESİ	Ahmet Karahan Figen Balo
		2	ÇİFT CİDARLI BACA SİSTEMLERİNİN ENERJİ ETKİNLİĞİ AÇISINDAN SİMÜLASYON TABANLI İNCELENMESİ: MÜSTAKİL KONUTLAR	Ahmet Karahan Figen Balo
		3	STRENGTH PROPERTIES OF LOW PLASTICITY CLAY SOILS STRENGTHENED BY ADDING OBSIDIAN (A VOLCANIC GLASS)	Dr. Öğr. Üyesi. Necmi YARBAŞI
		4	STIFFENED FLUSH-TYPE MOMENT CONNECTIONS	Prof. Dr. Tugrul Talaslioglu
		5	FARKLI DEPREM TEHLİKESİ VE ZEMİN KOŞULLARININ ENDÜSTRİYEL PREFABRİK BETONARME YAPILARDA TEMEL VE KOLON BOYUTLANDIRMASINA ETKİSİ	Mehmet Ali OFLAZ Mustafa ŞENKAYA
		6	GES TAŞIYICI SİSTEMLERİ VE YAPISAL ANALİZİ	İnşaat Mühendisi MUTLUHAN KORKMAZ Prof. Dr. LEVENT SEMİZ

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 24 Nisan / April 24, 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	Doç. Dr. Sevgi Esen ALMALI	1	PANDİTA KUATERNİYONLARI	Yüksek Lisans Öğrencisi CANSU DEMİREL Doç. Dr. ABDULLAH DERTLİ
		2	BAZI İNTEGRAL OPERATÖRLERİN GENELLEŞTİRİLMİŞ LEBESGUE NOKTASINDA YAKINSAKLIK HIZI	Doç. Dr. Sevgi Esen ALMALI
		3	KOVOLÜSYON TİPLİ OLMAYAN İNTEGRAL OPERATÖRLER AİLESİNİN SÜREKLİLİK NOKTASINDA YAKINSAKLIK	Doç. Dr. Sevgi Esen ALMALI
		4	RASTGELE ORMAN MODELİ İLE 0-55 YAŞ HASTALARDA HASTANE MORTALİTESİ TAHMİNİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Eda EROĞLU Doç.Dr. Şahin IŞIK
		5	Artvin meteoroloji istasyonu verileri ile SPI ve SPEI kuraklık analizi	Yüksek lisans öğrencisi Shams Emad Ali ALBUKAA Doç. Dr. Aşlı ÜLKE KESKİN
		6	Samsun, Ordu, Tokat meteoroloji istasyonu verileri ile SPEI kuraklık analizi	Yüksek lisans öğrencisi Onur ÇELİKKOL Doç. Dr. Aşlı ÜLKE KESKİN

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 24 Nisan / April 24, 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	Doçent Doktor, ÖMER FARUK SÖYLEV	1	GAZÂLÎ'NİN NEFS ANLAYIŞININ MANEVİ DANIŞMANLIK PERSPEKTİFİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, HAVVA NUR SÖNMEZ Doç. Dr., ÖMER FARUK SÖYLEV
		2	DİN PSİKOLOJİSİ LİTERATÜRÜNDE NARSİZM: SİSTEMATİK BİR DERLEME	Yüksek Lisans Öğrencisi, ZEHRA BETÜL TÜZÜN Doçent Doktor, ÖMER FARUK SÖYLEV
		3	STRESLE BAŞA ÇIKMADA DİNİN ÖNEMİ: DİN PSİKOLOJİSİ AÇISINDAN SİSTEMATİK BİR DERLEME	Yüksek Lisans Öğrencisi, NAZİK NAZMİYE ÇİNTOSUN Doç. Dr., ÖMER FARUK SÖYLEV
		4	TEVEKKÜL VE PSİKOLOJİK SAĞLAMLIK: DİN PSİKOLOJİSİ LİTERATÜRÜNDE SİSTEMATİK BİR DERLEME	Öğrenci, Melih AKCAN, Doç. Dr. Ömer Faruk SÖYLEV,

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Nisan / April 24, 2026 / 15:30 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Assoc. Prof. Dr. Amadou Ndiaye	1	NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS ANALYSIS FOR PREDICTING IRREGULAR OSCILLATIONS IN ENGINEERING APPLICATIONS	Prof. Dr. Reza Ahmadi Mohammad Jafari Fatemeh Karimi Assoc. Prof. Dr. Sara Hosseini Ali Rezaei
		2	FRACTIONAL CALCULUS MODELS FOR OPTIMIZING HEAT TRANSFER PROCESSES IN INDUSTRIAL SYSTEMS	Leila Bahrami
		3	GRAPH THEORY APPLICATIONS IN QATARI SMART CITY NETWORK OPTIMIZATION PROBLEMS	Dr. Khalid Al-Mansoori Fatima Rahman Noor Saeed
		4	STOCHASTIC PROCESSES MODELING FOR FINANCIAL RISK ASSESSMENT IN EMERGING GULF MARKETS	Prof. Dr. Ahmed Al-Ketbi Hana Al-Din Omar Faisal
		5	DIFFERENTIAL EQUATIONS SOLUTIONS FOR POPULATION DYNAMICS IN SENEGALESE ECOSYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Amadou Ndiaye Fatou Sow Moustapha Diop
		6	NUMERICAL METHODS FOR SOLVING PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS IN COASTAL EROSION STUDIES	Dr. Aissatou Diallo Ibrahima Kane
		7	TOPOLOGICAL DATA ANALYSIS FOR ETHIOPIAN AGRICULTURAL CROP YIELD PREDICTION MODELS	Prof. Dr. Tadesse Alemu Meron Getachew Dawit Yohannes
		8	FUZZY LOGIC SYSTEMS FOR OPTIMIZING WATER RESOURCE MANAGEMENT IN ETHIOPIAN HIGHLANDS	Assoc. Prof. Dr. Selamawit Tesfaye Abel Fikadu Liya Berhanu
		9	COMBINATORIAL OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR ETHIOPIAN TRANSPORTATION NETWORK DESIGN	Dr. Fitsum Assefa Nigusie Belay Eyerusalem Tadesse

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Nisan / April 24, 2026 / 15:30 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. Cheikh Thiam	1	DEEP LEARNING MODELS FOR PERSIAN HANDWRITING RECOGNITION IN HISTORICAL ARCHIVES	Prof. Dr. Reza Jalali Soraya Mahmoudi Ali Karimi Fatemeh Hosseini
		2	FEDERATED LEARNING FRAMEWORKS FOR PRIVACY-PRESERVING MEDICAL IMAGE ANALYSIS IN IRAN	Assoc. Prof. Dr. Hassan Tavakoli Leila Ahmadi Mohammad Rezaei
		3	AI-DRIVEN TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEMS FOR DOHA SMART CITY INFRASTRUCTURE	Dr. Khalid Al-Mansoori Fatima Rahman Noor Al-Hashimi
		4	NATURAL LANGUAGE PROCESSING FOR ARABIC DIALECT SENTIMENT ANALYSIS IN QATAR	Prof. Dr. Ahmed Al-Ketbi Sara Hassan Omar Salem
		5	MACHINE LEARNING APPLICATIONS FOR CROP YIELD PREDICTION IN SENEGALESE PEANUT FARMS	Assoc. Prof. Dr. Awa Diop Mamadou Ndiaye Fatou Sow
		6	COMPUTER VISION SYSTEMS FOR WILDLIFE MONITORING IN SENEGAL NATIONAL PARKS	Dr. Cheikh Thiam Aminata Diallo Ibrahima Ba
		7	AI-ENABLED EARLY WARNING SYSTEMS FOR LOCUST SWARMS IN ETHIOPIAN AGRICULTURE	Prof. Dr. Tadesse Alemu Eleni Getachew Dawit Yohannes

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Nisan / April 24, 2026 / 15:30 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Assoc. Prof. Dr. Maria Kostas	1	EARTHQUAKE-RESISTANT MASONRY STRUCTURES USING LOCAL EGYPTIAN CLAY BRICKS	Prof. Dr. Ahmed El-Sayed Fatima Karim Omar Hassan Layla Mahmoud
		2	SUSTAINABLE CONCRETE MIX DESIGNS INCORPORATING NILE RIVER SEDIMENT WASTE	Assoc. Prof. Dr. Nadia Abdelrahman Mohamed Salem Sara El-Gendy
		3	BAUGUARD PRE-STRESSED CONCRETE BEAMS FOR HIGHWAY BRIDGE CONSTRUCTION IN INDIA	Dr. Rajesh Kumar Priya Sharma Vikram Singh
		4	BAMBOO-REINFORCED LIGHTWEIGHT CONCRETE PANELS FOR RURAL HOUSING PROJECTS	Prof. Dr. Sanjay Patel Anjali Desai Rohan Mehra
		5	COASTAL EROSION DEFENSE SYSTEMS USING GEOTEXTILE TUBES IN TIRANA REGION	Assoc. Prof. Dr. Arben Hoxha Elsa Deda Liridon Gashi
		6	DEEP FOUNDATION DESIGN OPTIMIZATION FOR TIRANA HIGH-RISE DEVELOPMENTS	Dr. Fatmir Llagami Mirela Vaso Endrit Koci

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Nisan / April 24, 2026 / 15:30 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Assoc. Prof. Dr. Giorgi Tsiklauri	1	SEISMIC RETROFITTING TECHNIQUES FOR EARTHQUAKE-PRONE MOUNTAIN BUILDINGS IN TAJIKISTAN	Prof. Dr. Farrukh Rahmonov Dilnoza Ubaidullaeva Jamshed Mirzayev Sherzod Karimov
		2	SUSTAINABLE HYDROPOWER DAM CONSTRUCTION MATERIALS FOR PAMIR REGION PROJECTS	Assoc. Prof. Dr. Nigora Saidova Azizullo Nazarov Gulnoz Boboeva
		3	LOW-COST CONCRETE MIX DESIGNS FOR RURAL INFRASTRUCTURE IN PAKISTANI FLOOD ZONES	Dr. Imran Khalid Ayesha Rehman Bilal Aslam Sana Butt
		4	FIBER-REINFORCED POLYMER APPLICATIONS IN KARACHI BRIDGE REHABILITATION	Prof. Dr. Faisal Naeem Zainab Qureshi Omar Siddiqui
		5	EARTHQUAKE-RESISTANT MASONRY STRUCTURES FOR TBILISI HISTORIC DISTRICTS	Assoc. Prof. Dr. Giorgi Tsiklauri Nino Chikhradze Levan Beridze Mariam Kapanadze
		6	BASE ISOLATION SYSTEMS DEVELOPMENT FOR BLACK SEA COASTAL HIGH-RISES IN BATUMI	Dr. Irakli Lomidze Tamar Gelashvili Lasha Kvernadze
		7	ENERGY-EFFICIENT BUILDING ENVELOPES FOR CHISINAU WINTER CLIMATE CONDITIONS	Prof. Dr. Ion Cebanu Maria Popescu Andrei Lupu Ecaterina Rusu Victor Rusnac

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Nisan / April 24, 2026 / 15:30 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Dr. Tamar Gelashvili	1	EARTHQUAKE-RESISTANT TIMBER ARCHITECTURE INNOVATIONS FOR JAPANESE RURAL REVITALIZATION	Prof. Dr. Hiroshi Tanaka Kenji Sato Aiko Nakamura Yuki Mori
		2	POST-DISASTER URBAN RECONSTRUCTION FRAMEWORKS IN TOKYO METROPOLITAN REGION	Assoc. Prof. Dr. Mika Yamamoto Takeshi Ikeda Reiko Fujimoto
		3	TROPICAL CLIMATE-ADAPTIVE HOUSING DESIGNS FOR JAKARTA FLOOD-PRONE DISTRICTS	Dr. Sari Wijaya Budi Santoso Lina Pratiwi Agus Setiawan
		4	CULTURAL HERITAGE CONSERVATION THROUGH SUSTAINABLE TOURISM ARCHITECTURE IN BALI	Prof. Dr. Nyoman Sujana I Made Artawa Dewi Ratna Rina Kusuma
		5	MOUNTAIN ECO-ARCHITECTURE MODELS FOR TBILISI SUBURBAN EXPANSION PROJECTS	Assoc. Prof. Dr. Nino Tsiklauri Giorgi Beridze Mariam Kapanadze Levan Lomidze
		6	HISTORIC CITY CENTER REGENERATION USING BIOPHILIC DESIGN PRINCIPLES IN BATUMI	Dr. Tamar Gelashvili Irakli Chikhradze Lasha Kvernadze
		7	MEDITERRANEAN CLIMATE HOUSING WITH PASSIVE COOLING SYSTEMS IN BARCELONA	Prof. Dr. Javier Morales Elena Castillo Carlos Ruiz Maria Lopez

AICHSS 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES APRIL 24 - 26, 2026 MUŞ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
24 Nisan / April 24, 2026 / 15:30 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	Assoc. Prof. Dr. Miguel Serrano	1	HIIT TRAINING EFFECTS ON CARDIORESPIRATORY FITNESS IN JAPANESE MIDDLE-AGED OFFICE WORKERS	Prof. Dr. Hiroshi Tanaka Dr. Aiko Nakamura Kenji Sato Yumi Ikeda
		2	TRADITIONAL KARATE PRACTICE IMPACT ON MENTAL WELLBEING AMONG JAPANESE UNIVERSITY STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. Takeshi Yamamoto Mai Suzuki Ryoji Kobayashi
		3	VOLLEYBALL-SPECIFIC AGILITY TRAINING PROGRAMS FOR INDONESIAN NATIONAL TEAM ATHLETES	Dr. Budi Santoso Sari Wijaya Agus Pramono Lina Kusuma
		4	NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR RECOVERY IN INDONESIAN ENDURANCE RUNNING ATHLETES	Prof. Dr. Nyoman Artawa Dewi Ratna Setiawan
		5	WEIGHT TRAINING EFFECTS ON BONE DENSITY IN GEORGIAN FEMALE ATHLETES	Assoc. Prof. Dr. Nino Tsiklauri Giorgi Beridze Mariam Kapanadze Lasha Lomidze Nato Javakhishvili



AAICHSS 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES  
AICHSS 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES  
APRIL 24 - 26, 2026 - MUŞ



## Contents

ADVERSE EFFECTS OF ANTIRETROVIRAL THERAPY FOR PATIENTS WITH HIV INFECTION IN A TERTIARY HOSPITAL CENTRE, IN ALBANIA.....	1
2020-2023 DÖNEMİNDE ACİL SERVİSTE GASTROENTEROLOJİ KONSÜLTASYONLARI: RETROSPEKTİF ANALİZ .....	8
TİMOKİNON-BETAİN KOMBİNASYONUNUN MCF-7 MEME KANSERİ HÜCRELERİNDE KASPAZ BAĞIMLI APOPTOTİK HÜCRE ÖLÜMÜ VE MMP-2 MODÜLASYONU ÜZERİNDEKİ SİNERJİK ETKİLERİ .....	12
ÜÇ KÖKLÜ MAKSİLLER PREMOLAR DIŞLERİN ENDODONTİK YENİDEN TEDAVİSİ: BİR YILLIK TAKİPLİ İKİ VAKA SERİSİ.....	24
C-ŞEKİLLİ KÖK KANAL KONFIGÜRASYONUNA SAHİP MANDİBULAR İKİNCİ MOLAR DIŞTE ENDODONTİK TEDAVİ: BİR OLGU SUNUMU .....	34
EVALUATION OF <i>Lactobacillus</i> SPECIES AND THEIR BIOLOGICAL ACTIVITIES, IN TERMS OF ANTIMICROBIAL EFFICACY .....	42
SAFRAN BİTKİSİ EKSTRAKTI İLE GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN SENTEZİ VE GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN ANTİMİKROBİYAL ETKİNLİĞİ.....	47
KARAYEMİŞ EKSTRAKTI İLE OLUŞTURULMUŞ GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN PLA FİLM MATRİSİ İLE BİRLEŞTİRİLEREK ANTİMİKROBİYAL ÖZELLİĞİNİN İNCELENMESİ.....	48
THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON INLAND WATER RESOURCES.....	49
HAYVANSAL GIDALARDA YAĞ ASİDİ PROFİLİ, LİPİD PEROKSİDASYONU VE DOKUSAL HİSTOLOJİK DEĞİŞİKLİKLER.....	50
HAYVANSAL GIDALARDA PROTEİN DENATÜRASYONU VE HİSTOLOJİK DEĞİŞİKLİKLER.....	56
FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE KİRLENME NEDENİYLE VERİM AZALMASI VE TEKNOLOJİK ÇÖZÜMLER.....	61
ISI DEPOLAMA TEKNİKLERİNİN TEKNOLOJİYE HAZIRLIK SEVİYELERİ VE MALİYET KARŞILAŞTIRMASI.....	75
VİNİLESTER ESASLI KOMPOZİTLERDE ZEYTİN ÇEKİRDEĞİ DOLGUSUNUN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ .....	85
KESTANE KABUĞU DOLGULU VİNİLESTER ESASLI KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ.....	94
CAUSAL ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY OF SHIP FRESHWATER GENERATORS USING THE DEMATEL METHOD.....	104
MEKANİK VENTİLATÖR PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ AMACIYLA AKIŞ ANALİZÖRÜ TASARIMI .....	117
ÇİFT CİDARLI BACA SİSTEMLERİNİN ENERJİ ETKİNLİĞİ AÇISINDAN SİMÜLASYON TABANLI İNCELENMESİ: MÜSTAKİL KONUTLAR .....	126
GALVANİZLİ BACA MALZEMELERİNİN TEK VE ÇİFT KATMANLI MEKANİZMALARDA PERFORMANSININ SİMÜLASYON TABANLI DEĞERLENDİRİLMESİ .....	135
STRENGTH PROPERTIES OF LOW PLASTICITY CLAY SOILS STRENGTHENED BY ADDING OBSIDIAN (A VOLCANIC GLASS) .....	147
STIFFENED FLUSH-TYPE MOMENT CONNECTIONS .....	153

FARKLI DEPREM TEHLİKESİ VE ZEMİN KOŞULLARININ ENDÜSTRİYEL PREFABRİK BETONARME YAPILARDA TEMEL VE KOLON BOYUTLANDIRMASINA ETKİSİ .....	166
GES TAŞIYICI SİSTEMLERİ VE YAPISAL ANALİZİ .....	167
PANDİTA KUATERNİYONLARI .....	168
KOVOLÜSYON TİPLİ OLMAYAN İNTEGRAL OPERATÖRLER AİLESİNİN SÜREKLİLİK NOKTASINDA YAKINSAKLIK.....	174
BAZI İNTEGRAL OPERATÖRLERİN GENELLEŞTİRİLMİŞ LEBESGUE NOKTASINDA YAKINSAKLIK HIZI.....	179
RASTGELE ORMAN MODELİ İLE 0-55 YAŞ HASTALARDA HASTANE MORTALİTESİ TAHMİNİ .....	181
ARTVİN METEOROLOJİ İSTASYONU VERİLERİ İLE SPI VE SPEI KURAKLIK ANALİZİ.....	182
SAMSUN, ORDU, TOKAT METEOROLOJİ İSTASYONU VERİLERİ İLE SPEI KURAKLIK ANALİZİ.....	195
NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS ANALYSIS FOR PREDICTING IRREGULAR OSCILLATIONS IN ENGINEERING APPLICATIONS.....	211
FRACTIONAL CALCULUS MODELS FOR OPTIMIZING HEAT TRANSFER PROCESSES IN INDUSTRIAL SYSTEMS .....	212
GRAPH THEORY APPLICATIONS IN QATARI SMART CITY NETWORK OPTIMIZATION PROBLEMS .....	213
STOCHASTIC PROCESSES MODELING FOR FINANCIAL RISK ASSESSMENT IN EMERGING GULF MARKETS .....	214
DIFFERENTIAL EQUATIONS SOLUTIONS FOR POPULATION DYNAMICS IN SENEGALESE ECOSYSTEMS	215
NUMERICAL METHODS FOR SOLVING PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS IN COASTAL EROSION STUDIES.....	216
TOPOLOGICAL DATA ANALYSIS FOR ETHIOPIAN AGRICULTURAL CROP YIELD PREDICTION MODELS ...	217
FUZZY LOGIC SYSTEMS FOR OPTIMIZING WATER RESOURCE MANAGEMENT IN ETHIOPIAN HIGHLANDS .....	218
COMBINATORIAL OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR ETHIOPIAN TRANSPORTATION NETWORK DESIGN .....	219
DEEP LEARNING MODELS FOR PERSIAN HANDWRITING RECOGNITION IN HISTORICAL ARCHIVES.....	220
FEDERATED LEARNING FRAMEWORKS FOR PRIVACY-PRESERVING MEDICAL IMAGE ANALYSIS IN IRAN .....	221
AI-DRIVEN TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEMS FOR DOHA SMART CITY INFRASTRUCTURE.....	222
NATURAL LANGUAGE PROCESSING FOR ARABIC DIALECT SENTIMENT ANALYSIS IN QATAR.....	223
MACHINE LEARNING APPLICATIONS FOR CROP YIELD PREDICTION IN SENEGALESE PEANUT FARMS.	224
COMPUTER VISION SYSTEMS FOR WILDLIFE MONITORING IN SENEGAL NATIONAL PARKS.....	225
AI-ENABLED EARLY WARNING SYSTEMS FOR LOCUST SWARMS IN ETHIOPIAN AGRICULTURE.....	226
DEEP REINFORCEMENT LEARNING FOR ENERGY OPTIMIZATION IN ETHIOPIAN RURAL MICROGRIDS	227
EARTHQUAKE-RESISTANT MASONRY STRUCTURES USING LOCAL EGYPTIAN CLAY BRICKS .....	228
SUSTAINABLE CONCRETE MIX DESIGNS INCORPORATING NILE RIVER SEDIMENT WASTE .....	229
BAUGUARD PRE-STRESSED CONCRETE BEAMS FOR HIGHWAY BRIDGE CONSTRUCTION IN INDIA.....	230

BAMBOO-REINFORCED LIGHTWEIGHT CONCRETE PANELS FOR RURAL HOUSING PROJECTS .....	231
COASTAL EROSION DEFENSE SYSTEMS USING GEOTEXTILE TUBES IN TIRANA REGION .....	232
DEEP FOUNDATION DESIGN OPTIMIZATION FOR TIRANA HIGH-RISE DEVELOPMENTS .....	233
SEISMIC RETROFITTING TECHNIQUES FOR EARTHQUAKE-PRONE MOUNTAIN BUILDINGS IN TAJIKISTAN .....	234
SUSTAINABLE HYDROPOWER DAM CONSTRUCTION MATERIALS FOR PAMIR REGION PROJECTS .....	235
LOW-COST CONCRETE MIX DESIGNS FOR RURAL INFRASTRUCTURE IN PAKISTANI FLOOD ZONES .....	236
FIBER-REINFORCED POLYMER APPLICATIONS IN KARACHI BRIDGE REHABILITATION.....	237
EARTHQUAKE-RESISTANT MASONRY STRUCTURES FOR TBILISI HISTORIC DISTRICTS .....	238
BASE ISOLATION SYSTEMS DEVELOPMENT FOR BLACK SEA COASTAL HIGH-RISES IN BATUMI .....	239
ENERGY-EFFICIENT BUILDING ENVELOPES FOR CHISINAU WINTER CLIMATE CONDITIONS.....	240
TROPICAL CLIMATE-ADAPTIVE HOUSING DESIGNS FOR JAKARTA FLOOD-PRONE DISTRICTS.....	243
CULTURAL HERITAGE CONSERVATION THROUGH SUSTAINABLE TOURISM ARCHITECTURE IN BALI ....	244
MOUNTAIN ECO-ARCHITECTURE MODELS FOR TBILISI SUBURBAN EXPANSION PROJECTS .....	245
HISTORIC CITY CENTER REGENERATION USING BIOPHILIC DESIGN PRINCIPLES IN BATUMI .....	246
MEDITERRANEAN CLIMATE HOUSING WITH PASSIVE COOLING SYSTEMS IN BARCELONA .....	247
HIIT TRAINING EFFECTS ON CARDIORESPIRATORY FITNESS IN JAPANESE MIDDLE-AGED OFFICE WORKERS.....	248
TRADITIONAL KARATE PRACTICE IMPACT ON MENTAL WELLBEING AMONG JAPANESE UNIVERSITY STUDENTS .....	249
VOLLEYBALL-SPECIFIC AGILITY TRAINING PROGRAMS FOR INDONESIAN NATIONAL TEAM ATHLETES	250
NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR RECOVERY IN INDONESIAN ENDURANCE RUNNING ATHLETES ..	251
WEIGHT TRAINING EFFECTS ON BONE DENSITY IN GEORGIAN FEMALE ATHLETES.....	252

## **ADVERSE EFFECTS OF ANTIRETROVIRAL THERAPY FOR PATIENTS WITH HIV INFECTION IN A TERTIARY HOSPITAL CENTRE, IN ALBANIA**

**Mirela Rexhepi<sup>1</sup>; Erjona Abazaj<sup>2</sup>; Esmeralda Meta<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>” Mother Theresa” University Hospital Center, Tirana, Albania**

**<sup>2</sup>Institute of Public health, Tirana, Albania**

**Orchid number**

Mirela Rexhepi: 0009-0004-0132-5066

Erjona Abazaj: 0000-0003-2386-4605

Esmeralda Meta: 0000-0002-1558-0162

### **ABSTRACT**

#### **Introduction**

The advent of antiretroviral therapies (ART) has precipitated a paradigm shift in the management of HIV-associated infections. The present study was thus initiated with the objective of evaluating the adverse side effects identified among patients treated in a tertiary hospital centre, in Albania.

#### **Methods**

This retrospective study included patients under regular follow-up at the National Center, specifically the HIV/AIDS outpatient clinic, which is located adjacent to the Infectious Diseases Hospital at the Mother Teresa University Hospital Center in Tirana. The responses were entered into an Excel database and then analyzed using SPSS, version 26.0. Statistical data were presented using descriptive statistics in the form of frequencies, mean, and standard deviation ( $\bar{x} \pm s$ ).

#### **Results**

A total of 68 patients were analyzed who were treated at the National Center, at the HIV/AIDS outpatient clinic, Tirana. The average age of the patients was  $47.5 \pm 7.9$ , with a minimum age of 22 years and a maximum age of 72 years. Poor adherence was reported in 14.7% of cases, while acceptable adherence was recorded in 26.5%. As per the treatment regimen administered to the patients in this study, 16.2% of subjects reported adverse effects, including nausea, vomiting, diarrhea, abdominal pain, fatigue, hypersensitivity, neutropenia, and mitochondrial toxicity from NRTIs., 10.3% from NNRTIs, while 7.3% from integrase inhibitors.

#### **Conclusion**

The present study utilised self-report as a means of assessing adherence, thereby demonstrating a moderate prevalence of medication adherence. The suboptimal adherence to HAART that was observed in this study necessitates the implementation of urgent interventions aimed at enhancing adherence.

**Keywords: Adherence, HIV/AIDS, side effects, antiretroviral, patients**

## **Introduction**

In recent years, the advent of antiretroviral therapies (ART) has precipitated a paradigm shift in the management of HIV-associated infections. The application of these medications has not only significantly improved the life expectancy of these individuals, but has also reduced AIDS-related mortality [1]. In addition to the benefits that these treatments have provided, there is still much to be done regarding the side effects that some of them cause in these patients [2]. It has been documented that approximately 25% of patients discontinue their initial highly active antiretroviral therapy (HAART) regimen due to treatment failure (inability to suppress HIV viral replication below the current limit of detection, 50 copies/mL), toxic effects, or non-compliance with instructions within the first 8 months of therapy [3]. However, recent advancements in the field of antiretroviral therapy (ART) have led to the development of regimens that are associated with a reduced incidence of both serious and intolerable side effects. Despite the development of novel antiretroviral agents, which has led to enhanced treatment effectiveness, significant challenges persist in the management of adverse effects caused by these medications in diverse organisms [4,5]. Antiretroviral therapy is comprised of six classes of drugs. The categorisation of these pharmaceutical agents is typically based on the stage of the HIV life cycle that they are able to inhibit. The most common combinations are constituted of two nucleoside reverse transcriptase inhibitors (NRTIs) and one non-nucleoside reverse transcriptase inhibitor (NNRTI), in conjunction with a protease inhibitor (PI) or an integrase inhibitor (II) [6,7].

Antiretroviral therapies have been demonstrated to engender a wide range of adverse effects on the human body. The most common but mild adverse effects that occur early in most antiretroviral regimens include various gastrointestinal problems such as bloating, nausea, and diarrhea, which can often be transient or may persist throughout therapy [5]. It is important to note that other common adverse effects of concern include fatigue and headaches, as well as anxiety. Some of the more uncommon but serious adverse effects associated with antiretroviral therapy include anaemia, peripheral neuropathy, toxicity, and hypersensitivity reactions. However, the subtle and serious nature of other adverse effects, including lactic acidosis, hepatic steatosis, hyperlactatemia, hepatotoxicity, hyperglycemia, fat maldistribution, hyperlipidemia, bleeding disorders, osteoporosis, and rash, required a further evaluation [6–13]. However, the short- and long-term complications of ART may be underestimated for two main reasons. Firstly, most clinical trials use specific inclusion criteria that exclude individuals with certain underlying medical conditions. Secondly, the duration of follow-up of participants is relatively short (generally 2–4 years) [14]. The present study was thus initiated with the objective of evaluating the adverse side effects identified among patients treated in a tertiary hospital centre in Albania

## **Methodology**

This retrospective study included patients under regular follow-up at the National Center, specifically the HIV/AIDS outpatient clinic, which is located adjacent to the Infectious Diseases Hospital at the Mother Teresa University Hospital Center in Tirana.

The objective of this study is to collect quantitative data in order to identify adverse side effects of different antiretroviral classes in HIV-positive patients. A comprehensive data set was collected, encompassing socio-demographic information, medical histories, and laboratory examinations. This was complemented by a detailed review of observed side effects. In the section pertaining to socio-demographic characteristics, the following variables were included: age, gender, residential status and family structure. The clinical data set under consideration included the year of diagnosis, HIV/AIDS status, initiation of antiretroviral therapy (ART), and

the presence of co-infections. It is imperative to note that laboratory data encompasses any analysis conducted during the presentation to the centre for each patient. With regard to the occurrence of adverse effects, the nature of these has now been ascertained. The laboratory assessment was conducted subsequent to the collection of blood samples, followed by the measurement of viral load and the assessment of T-cell subsets. The study was approved by the Ethics Board of the University of Medicine in Tirana.

### Statistical analysis

The responses were entered into an Excel database and then analyzed using SPSS, version 26.0. Statistical data were presented using descriptive statistics in the form of frequencies, mean, and standard deviation ( $\bar{x} \pm s$ ).

### Results and Discussion

Antiretroviral treatments have been shown to have a significant impact on the reduction of AIDS-related morbidity and mortality [3]. However, various studies have indicated that approximately one quarter of patients discontinue their initial regimen due to poor adherence to the prescribed medication, treatment failure related to the inability to suppress HIV viral replication below the current limit of detection (20 copies/ml), and toxic effects or non-compliance within the first eight months of therapy [15-17].

Despite the significant progress in the development of novel antiretroviral agents, considerable challenges persist in optimizing the efficacy of existing treatments and in comprehending and managing adverse effects [17].

A total of 68 patients were analyzed who were treated at the National Center, at the HIV/AIDS outpatient clinic, Tirana. The average age of the patients was  $47.5 \pm 7.9$ , with a minimum age of 22 years and a maximum age of 72 years. The most predominant part of them are men 66.2% compared to women 33.8%. Most of them were married 66.2% and 50% were in a working relationship. Also, about 44.1% had a significant income of 50,001-100,000 lek and about 70.6% of them resulted in a BMI level of 16-18.45 (Table 1).

**Table 1. Epidemiological data of patients treated with ARV**

Variables	Categories	Frequency	Percentage
Age	Mean, StD	$47.5 \pm 12.9$	
Gender	Female	23	33.8
	Male	45	66.2
Residence Area	Urban	52	76.5
	Rural	16	23.5
Maital Status	Single	11	16.2
	Cohabitation	5	7.3
	Married	45	66.2
	Divorced or Widowed	7	10.3
Employment Status	Unemployed	19	28
	Part-time employee	5	7.3
	Full-time employee	34	50
	Invalid	7	10.3
	Retiree	3	4.4
Family Income Level	$\leq 20.000$ lekë	8	11.8
	20.001-50.000 lekë	21	30.9
	50.001-100.000 lekë	30	44.1
	$\geq 100.0001$ lekë	9	13.2

Body Mass Index (BMI)	<16	4	6.9
	16-18.45	48	70.6
	18.2-28	16	23.5

Regarding the clinical characteristics of the patients, we emphasize that a considerable number have been diagnosed in this last decade with an average time of  $7.2\pm 3.4$  years. Treatment has been immediate for most patients in 85.3% of cases and only 11.8% have started it after a few months, while 2.9% have started it a little later after one or two years. Likewise, the presence of co-infections is noted in 80.9% of cases and the CD4 level above 200 is noted for most patients in 69.1% of them. The viral load has a range from  $<34- 2.4 \times 10^7$ , as a result the treatment regimen has been changed in 54.4% of cases.

**Table 2. Data on clinical characteristics of patients**

Variables	Categories	Frequency	Percentage
How long has he/she been diagnosed with HIV	Mean, StD	7.2±3.4	
When did he/she start treatment (relative to the time of diagnosis)	Immediately	58	85.3
	After a few months	8	11.8
	After a few years	2	2.9
Co-infection	Yes	55	80.9
	No	13	19.1
CD4 level	< 200	21	30.9
	>200 □	47	69.1
Viral load at the beginning of treatment	Interval	[<20- $2.4 \times 10^7$ ]	
Treatment regimen	Replacement	37	54.4
	Un replacement	31	45.6
Treatment adherence	Very good	10	14.7
	Good	30	44.1
	Acceptable	18	26.5
	Poor adherence	10	14.7
Antiretroviral Therapies Toxicity	Yes	7	10.3
	No	61	89.7

Despite the fact that only 68 HIV-positive patients were included in the study, adherence levels were found to be suboptimal in a significant proportion of the sample. Poor adherence was reported in 14.7% of cases, while acceptable adherence was recorded in 26.5%. This level of adherence to the prescribed medications is noteworthy, particularly given that the study population consists exclusively of patients who presented to the centre during the study period. This may result in an even higher number of adherents among those who were unable to present themselves at the clinic during the same study period. However, the present study demonstrated a significantly lower level of adherence when compared to the findings of other studies, which have estimated an adherence prevalence between 55% and 95% [18-20]. It is important to note that the marked discrepancy observed in the present study when compared with other research may be attributable to geographical location, lifestyle, socioeconomic status, and the methodology employed to define and measure medication adherence in patients enrolled in different studies.

Regarding the treatment regimens of these patients, we have presented in the table below a distribution of side effects. The highest number of side effects is observed for NRTIs treatment (Table 3).

**Table 3. Adverse effects associated with HIV treatment**

<b>The following adverse effects associated with HIV treatment:</b>	<b>Frequency</b>	<b>Percentage</b>
<b>NRTIs:</b> Hypersensitivity, neutropenia, mitochondrial toxicity, nausea, vomiting, diarrhea, abdominal pain, fatigue, etc	11	16.2
<b>NNRTIs:</b> Allergic reactions, headache, sleep disturbance, mood changes, etc.	7	10.3
<b>Integrase inhibitors:</b> Allergic hypersensitivity reaction, rash, dark-colored urine, diarrhea, flatulence, nausea and vomiting, loss of appetite, abnormal dreams, etc.	5	7.3

The management of HIV-positive individuals is predicated on a protocol, wherein all patients are monitored for their adherence and the progression of both the primary condition and any adverse effects. One of the classes of drugs utilised in the treatment of HIV infection is that of nucleoside reverse transcriptase inhibitors (NRTIs), which constitute the central axis of antiretroviral treatment. Typically, two NRTIs are combined with one drug from each of the remaining two classes: non-nucleoside reverse transcriptase inhibitors (NNRTIs) and integrase inhibitors (II) [21-23]. According to Murugesan et al (2020), combination therapy is utilised in such cases for protracted periods, which can consequently precipitate long-term complications, including toxicity, drug interactions and elevated treatment expenses. As per the treatment regimen administered to the patients in this study, 16.2% of subjects reported adverse effects, including nausea, vomiting, diarrhea, abdominal pain, fatigue, hypersensitivity, neutropenia, and mitochondrial toxicity from NRTIs. Additionally, 10.3% of subjects experienced allergic reactions from NNRTIs, while 7.3% encountered side effects such as allergic hypersensitivity reactions, rash, dark-coloured urine, diarrhea, flatulence, nausea, vomiting, loss of appetite, and abnormal dreams from II. The present findings are consistent with those of other studies [24-26].

### **Conclusion**

The present study utilised self-report as a means of assessing adherence, thereby demonstrating a moderate prevalence of medication adherence. The suboptimal adherence to HAART that was observed in this study necessitates the implementation of urgent interventions aimed at enhancing adherence.

### **References**

1. Zhao F, Lu H. Renal safety of tenofovir alafenamide-based antiretroviral therapy in people with HIV: A mini-review. *Biosci Trends*. 2024 Jun 6;18(2):141-152. doi: 10.5582/bst.2024.01062.
2. Tao X, Lu Y, Zhou Y, Zhang L, Chen Y. Efficacy and safety of the regimens containing tenofovir alafenamide versus tenofovir disoproxil fumarate in fixed-dose single-tablet regimens for initial treatment of HIV-1 infection: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Infect Dis*. 2020 Apr;93:108-117. doi: 10.1016/j.ijid.2020.01.035.
3. Montessori V, Press N, Harris M, Akagi L, Montaner JS. Adverse effects of antiretroviral therapy for HIV infection. *CMAJ*. 2004 Jan 20;170(2):229-38.

4. Orkin C, Molina JM, Cahn P, et al. Safety and efficacy of doravirine as first-line therapy in adults with HIV-1: week 192 results from the open-label extensions of the DRIVE-FORWARD and DRIVE-AHEAD phase 3 trials. *Lancet HIV*. 2024;11(2):e75-e85. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38141637>.
5. Mallory O. Johnson, Edwin Charlebois, Stephen F. Morin, Sheryl L. Catz, Rise B. Goldstein, Robert H. Remien, et al., and the NIMH Healthy Living Project Team. Perceived Adverse Effects of Antiretroviral Therapy. *Journal of Pain and Symptom Management*. 2004;29(2):193-205. doi: 10.1016/j.jpainsymman.2004.05.005.
6. Kemnic TR, Gulick PG. HIV Antiretroviral Therapy. [Updated 2022 Sep 20]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513308/>
7. Riddell J, Amico KR, Mayer KH. HIV Preexposure Prophylaxis: A Review. *JAMA*. 2018 Mar 27;319(12):1261-1268.
8. Tanner MR, Miele P, Carter W, Valentine SS, Dunville R, Kapogiannis BG, Smith DK. Preexposure Prophylaxis for Prevention of HIV Acquisition Among Adolescents: Clinical Considerations, 2020. *MMWR Recomm Rep*. 2020 Apr 24;69(3):1-12.
9. Guzman N, Vijayan V. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): Nov 7, 2022. HIV-Associated Lipodystrophy.
10. Kausar S, Said Khan F, Ishaq Mujeeb Ur Rehman M, Akram M, Riaz M, Rasool G, Hamid Khan A, Saleem I, Shamim S, Malik A. A review: Mechanism of action of antiviral drugs. *Int J Immunopathol Pharmacol*. 2021 Jan-Dec;35:20587384211002621.
11. Endalamaw A, Tezera N, Eshetie S, Ambachew S, Habtewold TD. Adherence to Highly Active Antiretroviral Therapy Among Children in Ethiopia: A Systematic Review and Meta-analysis. *AIDS Behav*. 2018 Aug;22(8):2513-2523.
12. Engler K, Lènart A, Lessard D, Toupin I, Lebouché B. Barriers to antiretroviral therapy adherence in developed countries: a qualitative synthesis to develop a conceptual framework for a new patient-reported outcome measure. *AIDS Care*. 2018 Jan-Dec;30(sup1):17-28.
13. LiverTox: Clinical and Research Information on Drug-Induced Liver Injury [Internet]. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases; Bethesda (MD): Jan 4, 2016. Abacavir.
14. Orkin C, DeJesus E, Sax PE, et al. Fixed-dose combination bictegravir, emtricitabine, and tenofovir alafenamide versus dolutegravir-containing regimens for initial treatment of HIV-1 infection: week 144 results from two randomised, double-blind, multicentre, phase 3, non-inferiority trials. *Lancet HIV*. 2020;7(6): e389-e400. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32504574>.
15. d'Arminio Monforte A, Lepri AC, Rezza G, Pezzotti P, Antinori A, Phillips AN, et al. Insights into the reasons for discontinuation of the first highly active antiretroviral therapy (HAART) regimen in a cohort of antiretroviral naïve patients. I.C.O.N.A. Study Group. Italian Cohort of Antiretroviral-Naïve Patients. *AIDS* 2000;14:499-507.
16. Safari, F., Hashempour, A., Khodadad, N. *et al.* What leads to treatment failure among people living with HIV: first systematic review from the middle east and North Africa. *Virol J*. 22, 344 (2025). <https://doi.org/10.1186/s12985-025-02916-26>.
17. Desalegn Getnet Demsie, Abere Tilahun Bantie, Mengesha Dessie Allene, Niguse Meles Alema, Desye Gebrie, Antiretroviral treatment failure among HIV-positive adults taking first-line therapy and associated risk factors at Adigrat General hospital, Adigart, Ethiopia 2019: A cross sectional study. *International Journal of Surgery Open*. 2020;26: 16-21. <https://doi.org/10.1016/j.ijso.2020.08.001>.

18. Isika AI, Shehu A, Dahiru T, Obi IF, Oku AO, Balogun MS, Etokidem A. Factors influencing adherence to antiretroviral therapy among HIV-infected adults in Cross River State, Nigeria: a cross-sectional study. *Pan Afr Med J.* 2022 Dec 9;43:187. doi: 10.11604/pamj.2022.43.187.37172.
19. Gaifer Z, Boulassel MR. Comparative Analysis of two Methods of Measuring Antiretroviral Therapy Adherence in HIV-Infected Omani Patients. *J Int Assoc Provid AIDS Care.* 2019 Jan-Dec;18:2325958219867316. doi: 10.1177/2325958219867316.
20. Chime OH, Ndibuagu EO, Orji CJ. Rates and predictors of adherence and retention for antiretroviral therapy among HIV-positive adults in Enugu, Nigeria. *Malawi Med J.* 2019 Sep 1;31(3):202–211. doi: 10.4314/mmj.v31i3.7.
21. Patel PH, Zulfiqar H. Reverse Transcriptase Inhibitors. [Updated 2023 Jun 25]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551504/>
22. Eggleton JS, Nagalli S. Highly Active Antiretroviral Therapy (HAART) [Updated 2023 Jul 3]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554533/>
23. Murugesan Vanangamudi, Sonali Kurup, Vigneshwaran Namasivayam. Non-nucleoside reverse transcriptase inhibitors (NNRTIs): a brief overview of clinically approved drugs and combination regimens. *Current Opinion in Pharmacology.* 2020; Volume 54: 179-187. <https://doi.org/10.1016/j.coph.2020.10.009>.
24. Simachew Getaneh Endalamew, Solomon Keflie Assefa, Milkiyas Solomon Getachew, Fetlework Gubena Arage, Dejen Kahsay Asgedom, Bewuketu Terefe and Destaw Fetene Teshome. Incidence of Adverse Drug Reactions Among HIV Patients on Antiretroviral Drugs in Ethiopia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *AIDS Research and Treatment.* 2025, Article ID 8820274, 15 pages. <https://doi.org/10.1155/arar/8820274>.
25. Felix Tetteh Dadebo, Ebenezer Wiafe, Neelaveni Padayachee, Celenkosini Thembenkosini Nxumalo, Frasia Oosthuizen, Varsha Bangalee, Berko Panyin Anto. Antiretroviral-Related Adverse Reactions: A Cause for Concern. *Sys Rev Pharm* 2021; 12(12): 684-690 A multifaceted review journal in the field of pharmacy E-ISSN 0976-2779 P-ISSN 0975-8453.
26. Gudina EK, Teklu AM, Berhan A, Gebreegziabhier A, Seyoum T, Nega A, *et al.* Magnitude of antiretroviral drug toxicity in adult HIV patients in Ethiopia: A cohort study at seven teaching hospitals. *Ethiop J Health Sci.* 2017; 27(1): 39-52.

## 2020-2023 DÖNEMİNDE ACİL SERVİSTE GASTROENTEROLOJİ KONSÜLTASYONLARI: RETROSPEKTİF ANALİZ

**Doç.Dr.Ramazan KIYAK**

Balıkesir Üniversitesi, kiyak1903@hotmail.com - 0000-0002-8866-8595

**Doç.Dr.Bahadır ÇAĞLAR**

Balıkesir Üniversitesi, bahadircaglar@gmail.com- 0000-0002-4164-393X

**Doç.Dr.Süha SERİN**

Balıkesir Üniversitesi, suhaserin@gmail.com- 0000-0003-0654-8061

### ÖZET

**Amaç:** Acil servise başvuran ve gastroenteroloji konsültasyonu istenen hastaların demografik özellikleri, başvuru şekilleri, konsültasyon nedenleri, çıkış şekilleri ve temel laboratuvar bulgularını inceleyerek, acil serviste gastroenteroloji konsültasyonlarına ilişkin eğilimleri ortaya koymak.

**Yöntem:** 1 Ocak 2020 – 31 Ağustos 2023 tarihleri arasında bir üniversite hastanesi acil servisinde gastroenteroloji bölümüne konsülte edilen hastaların verileri retrospektif olarak incelendi. Hastaların yaşı, cinsiyeti, acil servise geliş şekli (112 ambulans ile veya kendi imkanlarıyla), konsültasyon istem notları, acil servisteki nihai çıkış durumu (yatış, taburcu, exitus) ve mevcutsa temel laboratuvar değerleri (hemogram, biyokimya, INR, APTT, trombosit) analiz edildi. Tanımlayıcı istatistikler yüzde dağılımları ile sunuldu.

**Bulgular:** Belirtilen dönemde toplam 2433 adet acil servis başvurusu gastroenteroloji konsültasyonu almış olup, hastaların yaş medyanı 70 (20-107) yaş, %53'ü erkekti. Hastaların %37'si ambulansla (112) getirilmiş, %63'ü ayaktan başvurmuştu. Konsültasyon istem notlarına göre en sık başvuru nedenleri üst gastrointestinal sistem kanama bulguları (hematemez, melena), şiddetli karın ağrısı (ör. akut pankreatit şüphesi) ve kronik karaciğer hastalığı komplikasyonları (ör. varis kanaması, hepatik ensefalopati) olarak saptandı. Acil serviste gastroenteroloji konsültasyonu sonrası hastaların %63'üne hastaneye yatış önerildi (vakaların çoğu Gastroenteroloji servisine, %7'si Yoğun Bakım Ünitesine kabul edildi). Kalan %37'si acil servisten tedavi ile taburcu edildi; acil servis sürecinde mortalite (exitus) izlenmedi. Laboratuvar incelemesinde vakaların yaklaşık yarısında hemoglobin değerinin 10 g/dL'nin

altında olduğu görülmüş olup, trombosit sayıları ve INR/APTT gibi koagülasyon parametreleri çoğunlukla normal sınırlar içinde seyretti.

**Sonuç:** Acil serviste gastroenteroloji konsültasyonu gerektiren hastaların ileri yaş ağırlıklı bir popülasyondan oluştuğu ve önemli bir bölümünün ciddi klinik tablolar nedeniyle hastaneye yatış gerektirdiği gözlemlendi. Bu veriler, acil serviste gastroenterolojik acillerin yönetiminde uzman konsültasyonunun kritik önem taşıdığını ve özellikle GIS kanamaları ile pankreatit gibi durumların hızlı tanı ve tedavisinde multidisipliner yaklaşımın gerekliliğini vurgulamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Gastroenteroloji Konsültasyonu, Acil Servis, Gastrointestinal Kanama

**GASTROENTEROLOGY CONSULTATIONS IN THE EMERGENCY  
DEPARTMENT BETWEEN 2020 AND 2023: A RETROSPECTIVE ANALYSIS**

**Assoc. Prof. Dr. Ramazan KIYAK**

Balıkesir University, kiyak1903@hotmail.com- 0000-0002-8866-8595

**Assoc. Prof.Dr.Bahadır ÇAĞLAR**

Balıkesir University, bahadircaglar@gmail.com- 0000-0002-4164-393X

**Assoc. Prof.Dr.Süha SERİN**

Balıkesir University, suhaserin@gmail.com- 0000-0003-0654-8061

**ABSTRACT**

**Objective:** To evaluate the demographic characteristics, modes of presentation, consultation indications, discharge outcomes, and basic laboratory findings of patients presenting to the emergency department (ED) who required gastroenterology consultation, and to identify trends related to gastroenterology consultations in the ED.

**Methods:** The data of patients who were consulted to the Department of Gastroenterology in a university hospital emergency department between January 1, 2020 and August 31, 2023 were retrospectively analyzed. Patient age, sex, mode of arrival to the ED (via emergency medical services [112 ambulance] or self-presentation), consultation request notes, final ED disposition (hospitalization, discharge, or death), and available basic laboratory parameters (complete blood count, biochemistry, INR, APTT, platelet count) were evaluated. Descriptive statistics were presented as percentage distributions.

**Results:** During the study period, a total of 2,433 emergency department visits received gastroenterology consultation. The median age of patients was 70 years (range: 20–107), and 53% were male. Of the patients, 37% arrived by ambulance (112), while 63% presented on their own. According to consultation request notes, the most common indications were signs of upper gastrointestinal bleeding (hematemesis, melena), severe abdominal pain (e.g., suspected acute

pancreatitis), and complications of chronic liver disease (e.g., variceal bleeding, hepatic encephalopathy). Following gastroenterology consultation in the ED, hospitalization was recommended for 63% of patients (the majority admitted to the Gastroenterology ward, and 7% to the Intensive Care Unit). The remaining 37% were discharged after treatment in the ED. No mortality (exitus) occurred during the ED stay. Laboratory evaluation revealed that approximately half of the patients had hemoglobin levels below 10 g/dL, while platelet counts and coagulation parameters (INR/APTT) were mostly within normal limits.

**Conclusion:** Patients requiring gastroenterology consultation in the emergency department predominantly consisted of an elderly population, and a significant proportion required hospitalization due to serious clinical conditions. These findings highlight the critical importance of specialist consultation in the management of gastroenterological emergencies in the ED and emphasize the necessity of a multidisciplinary approach, particularly in conditions such as gastrointestinal bleeding and acute pancreatitis, where rapid diagnosis and treatment are essential.

**Keywords:** Gastroenterology Consultation, Emergency Department, Gastrointestinal Bleeding

## **TİMOKİNON-BETAİN KOMBİNASYONUNUN MCF-7 MEME KANSERİ HÜCRELERİNDE KASPAZ BAĞIMLI APOPTOTİK HÜCRE ÖLÜMÜ VE MMP-2 MODÜLASYONU ÜZERİNDEKİ SİNERJİK ETKİLERİ**

**Doktora Öğrencisi, RUMEYSA SULTAN ÇEVİK**

İstinye Üniversitesi, rmyscvk98@gmail.com, 0009-0009-2536-1631

**Dr. Öğretim Üyesi, HADİ KARIMKHANİ**

İstanbul Okan Üniversitesi, hadi.karimkhani@okan.edu.tr, 0000-0002-4966-1745

**Doç. Dr., AHMET MURAT GÜNAL**

Haliç Üniversitesi, ahmetmuratgunal@halic.edu.tr, 0000-0001-9109-1080

### **ÖZET**

Meme kanseri, kadınlarda en yaygın görülen malignitelerden biri olup; kontrolsüz hücre proliferasyonu, apoptozdan kaçış ve invazyon gibi süreçlerle karakterizedir. Mevcut tedavi yaklaşımlarının sınırlı etkinliği ve sistemik yan etkileri, daha seçici ve düşük toksisiteli alternatiflerin araştırılmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, doğal biyoaktif bileşikler çoklu hücreyel yolakları hedefleyebilmeleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Bu çalışma, *Nigella sativa* kökenli Timokinon ile metil donörü özelliği taşıyan Betainin, tek başına ve kombinasyon halinde, MCF-7 meme kanseri hücre hattındaki antikanser etkilerini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Moleküler düzeydeki etkiler ELISA analizleri ile incelenmiş; özellikle apoptozla ilişkili Kaspaz-8 ve Kaspaz-9 protein düzeylerinde tüm tedavi gruplarında, kontrol grubuna kıyasla son derece anlamlı artışlar ( $p < 0.001$ ) gözlenmiştir. Söz konusu pro-apoptotik proteinlerin aktivasyonundaki bu belirgin artış, hücreyel ölüm sinyallerinin her iki yolda da eş zamanlı tetiklendiğini doğrulamaktadır. Bu artışın kombinasyon grubunda en yüksek seviyede olması hem intrinsik hem de ekstrinsik apoptotik yolların sinerjik olarak aktive edildiğine işaret etmektedir. Buna ek olarak, MMP-2 protein düzeylerinde gözlenen artış, kombinasyon tedavisinin hücreyel invazyonla ilişkili mekanizmalar üzerindeki etkisinin çok yönlü ve bağlama bağımlı olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu, antikanser etkinlik ile invaziv yanıtlar arasındaki ilişkinin daha ileri düzeyde araştırılması gerektiğine işaret etmektedir. Sonuç olarak, timokinon ve betain kombinasyonunun meme kanseri hücrelerinde apoptotik yolları güçlü şekilde aktive ettiği ve çoklu moleküler mekanizmalar üzerinden sinerjistik etki oluşturduğu gösterilmiştir. Elde edilen bulgular, bu kombinasyonun potansiyel bir tamamlayıcı tedavi stratejisi olarak değerlendirilmesine yönelik ileri in vitro ve in vivo çalışmalar için temel oluşturmaktadır. Sonuç olarak elde edilen bulgular, Timokinon ve Betain kombinasyonunun meme kanseri hücrelerinde çoklu mekanizmalar üzerinden güçlü bir antikanser sinerji yarattığını ve düşük toksisite profiliyle yenilikçi bir tamamlayıcı strateji adayı olarak yüksek terapötik potansiyel taşıdığını kanıtlamaktadır. Bu veriler, söz konusu kombinasyonun *in vivo* modellerde ileri düzeyde araştırılması için güçlü bir temel oluşturmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Meme Kanseri, Timokinon, Betain, Apoptoz, Sitotoksosite

## **SYNERGISTIC EFFECTS OF THYMOQUINONE–BETAINE COMBINATION ON CASPASE DEPENDENT APOPTOSIS AND MMP-2 MODULATION IN MCF-7 BREAST CANCER CELLS**

**Ph.D. Student, RUMEYSA SULTAN ÇEVİK**

Istinye University, rmysevk98@gmail.com, 0009-0009-2536-1631

**Assistant Professor, HADİ KARİMKHANI**

Istanbul Okan University, hadi.karimkhani@okan.edu.tr, 0000-0002-4966-1745

**Associate Professor, AHMET MURAT GÜNAL**

Haliç University, ahmetmuratgunal@halic.edu.tr, 0000-0001-9109-1080

### **SUMMARY**

Breast cancer is one of the most common malignancies in women and is characterized by processes such as uncontrolled cell proliferation, evasion of apoptosis, and invasion. The limited efficacy and systemic side effects of current treatment approaches necessitate the investigation of more selective and less toxic alternatives. In this context, natural bioactive compounds have garnered attention due to their ability to target multiple cellular pathways. This study aimed to evaluate the anticancer effects of Thymochinone, derived from *Nigella sativa*, and Betaine, which possesses methyl-donor properties, both individually and in combination, on the MCF-7 breast cancer cell line. Molecular-level effects were examined via ELISA analyses; notably, extremely significant increases ( $p < 0.001$ ) in the levels of apoptosis-related Caspase-8 and Caspase-9 proteins were observed in all treatment groups compared to the control group. This marked increase in the activation of these pro-apoptotic proteins confirms that cellular death signals were triggered simultaneously in both pathways. The fact that this increase was highest in the combination group indicates that both the intrinsic and extrinsic apoptotic pathways were synergistically activated. In addition, the observed increase in MMP-2 protein levels suggests that the effect of the combination therapy on mechanisms associated with cellular invasion may be multifaceted and context-dependent. This finding indicates that the relationship between anticancer activity and invasive responses requires further investigation. In conclusion, it has been demonstrated that the combination of thymokinon and betaine strongly activates apoptotic pathways in breast cancer cells and produces a synergistic effect through multiple molecular mechanisms. The findings provide a foundation for further in vitro and in vivo studies aimed at evaluating this combination as a potential complementary treatment strategy. In conclusion, the findings demonstrate that the combination of timokinon and betaine creates a potent anticancer synergy in breast cancer cells through multiple mechanisms and possesses high therapeutic potential as an innovative complementary strategy candidate with a low toxicity profile. These data provide a strong foundation for further investigation of this combination in in vivo models.

**Keywords:** Breast Cancer, Thymokinon, Betaine, Apoptosis, Cytotoxicity

## 1. GİRİŞ

Meme kanseri, kadınlarda en sık görülen malignitelerden biri olup, kontrolsüz hücre proliferasyonu, apoptozdan kaçış ve metastaz gibi kompleks biyolojik süreçlerle karakterizedir (Hanahan, 2022; Momenimovahed & Salehiniya, 2019). Geleneksel tedavi yöntemleri olan kemoterapi ve radyoterapi, etkinliklerine rağmen ciddi yan etkilerle sınırlıdır. Bu nedenle, doğal biyoaktif bileşiklerin antikanser potansiyelinin araştırılması, daha güvenli ve hedefe yönelik tedavi stratejilerinin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır (Sharma et al., 2024).

Timokinon (TQ), *Nigella sativa*'dan elde edilen ve antikanser, antioksidan ve antiinflamatuvar özellikler gösteren bir bileşik olup, apoptozu indükleyerek tümör büyümesini baskılayabilmektedir (Homayoonfal et al., 2021). Betain ise tek karbon metabolizmasını düzenleyen, gen ekspresyonunu etkileyen ve inflamasyonu baskılayan doğal bir bileşik olarak kanser tedavisinde potansiyel bir ajan olarak değerlendirilmektedir (Hassan et al., 2025).

Bu çalışma, timokinon ve betain kombinasyonunun MCF-7 meme kanseri hücre hattında apoptotik etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1.Hücre Kültürü ve Deney Grupları

Hücre kültürü, canlı dokulardan elde edilen hücrelerin laboratuvar ortamında, in vitro koşullarda, canlılıklarını ve fonksiyonlarını sürdürürebilme yeteneğine dayanmaktadır; bu süreçte hücrelerin bölünme, çoğalma ve metabolik aktivitelerini sürdürübilmesi için gerekli koşullar sağlanır. MCF-7 insan meme kanseri hücreleri, düşük glikozlu Dulbecco'nun Modifiye Edilmiş Eagle Ortamı (DMEM) içinde %1 glutamin, %10 fetal sıgır serumu (FBS) ve %1 penisilin-streptomisin karışımı ile beslenmiştir (El-Far et al., 2021). MCF-10A hücre hattı ise Complete DMEM F-12 besi yerinde, DMEM F-12, at serumu, EGF, hidrokortizon, %5 kolera toksini, insülin ve penisilin içeren bir ortamda hazırlanmıştır (Juárez-Cruz et al., 2022). Hidrokortizon 50 ml DMEM F-12 içerisinde 0,0005 mg olarak çözülürken; EGF, protokole göre 0,1 mg/ml'lik çözelti hazırlanmış ve stoklanmıştır. İnsülin 50 ml complete DMEM F-12 için 0,001 mg olacak şekilde çözülmüş, kolera toksini 0,5 mg içerikli ürün 500 µl PBS ile çözümlenerek stoklanmıştır ve at serumu %5 final hacimde eklenmiştir; son olarak, penisilin de uygun miktarda DMEM F-12 ortamına ilave edilmiştir.

MCF-7 ve MCF-10A hücreleri,  $1 \times 10^5$  hücre/ml yoğunluğunda T25 şişelere ekilerek %5 CO<sub>2</sub> ve 37 °C'de inkübe edilmiş, besiyeri haftada iki kez tazelenmiştir. Hücreler %75-80 doluluğa ulaştığında pasajlanmış ve uzun süre saklanmaları için özel dondurma solüsyonuyla viyallere aktarılmıştır (%70 hücre süspansiyonu, %20 FBS, %10 DMSO) ve -86 °C'de Mr. Frosty Freezing Container'da 24 saat bekletildikten sonra -86 °C'ye alınmıştır. Kullanılacaklarında, viyaller hızlı şekilde çözdürülmüş, üzerine uygun besiyeri eklenip santrifüjlenmiş ve pelet tekrar T25 flaska aktarılmış, 24 saat inkübe edilerek hücrelerin sağlıklı şekilde kullanıma hazır olması sağlanmıştır. Timokinon ve betain maddeleri aşağıdaki tabloya göre gruplara uygulanmıştır;

### Çizelge 1. Deney Planı

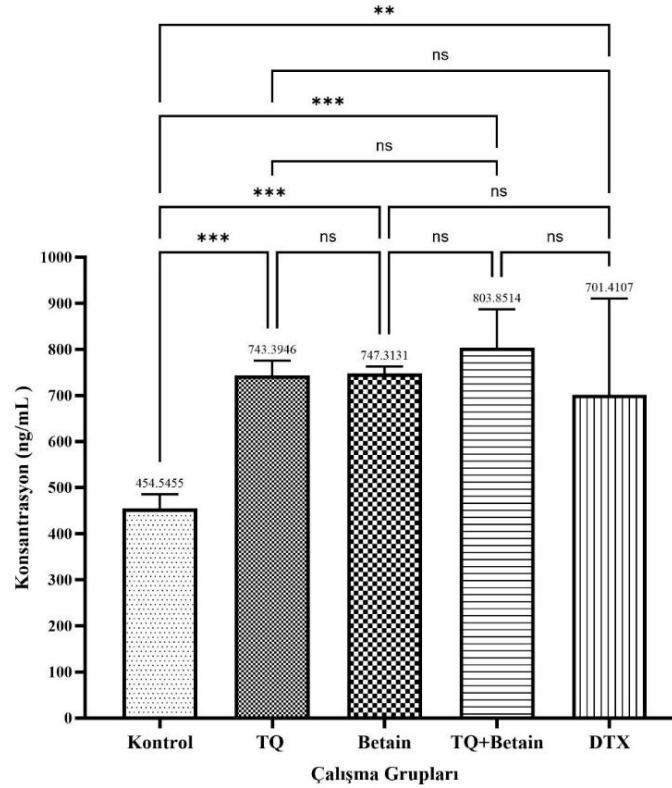
Grup numarası	Grup Adı
Grup I	MCF-7
Grup II	MCF-7 + Timokinon
Grup III	MCF-7 + Betain
Grup IV	MCF-7 + Timokinon + Betain
Grup V	MCF-7 + Dosetaksel
Grup VI	MCF-7 + DMSO
Grup VII	MCF-10A
Grup VIII	MCF-10A + Timokinon
Grup IX	MCF-10A + Betain
Grup X	MCF-10A + Timokinon + Betain
Grup XI	MCF-10A + Dosetaksel
Grup XII	MCF-10A + DMSO

### 2.2.ELISA Analizi ile Apoptotik Belirteçlerin Değerlendirilmesi

MCF-7 ve MCF-10A hücreleri tripsinizasyon ile flasklardan ayrılıp 1500 rpm’de santrifüjlenerek süpernatant ve tripsin tamamen uzaklaştırılmış, pelet PBS ile süspanse edilip 3 kez dondur-çöz ve ultrasonik parçalama işlemi uygulanarak hücre lizatı elde edilmiştir; MMP-2 için süpernatant, Kaspaz-8 ve Kaspaz-9 için lizat temiz ependorflara aktarılıp -80 °C’de saklanmıştır. Numuneler ve reaktifler oda sıcaklığına getirildikten sonra, standartlar farklı konsantrasyonlarda hazırlanıp 96 kuyucuklu plakalara standart, numune ve kör kuyucukları eklenerek ELISA prosedürü uygulanmıştır: antitibodi ve streptavidin-HRP eklenmiş, 60 dk 37 °C’de inkübe edilmiş, 5 kez yıkanmış ardından substrat çözeltileri eklenerek 10 dk karanlıkta inkübe edildikten sonra Stop çözeltilisi ile renk gelişimi durdurulmuştur. Optik yoğunluk 450 nm’de mikropate okuyucu ile ölçülmüştür.

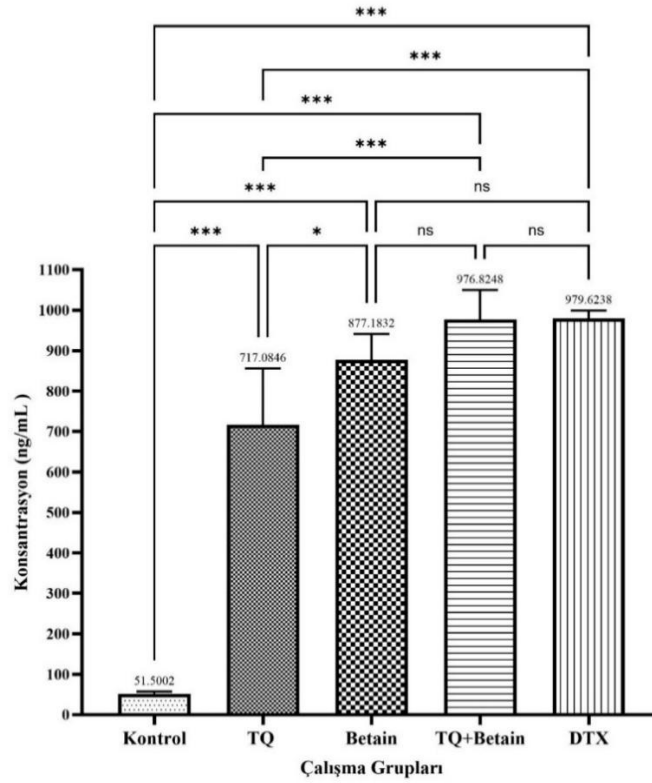
### 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Elde edilen bulgular, aşağıda sunulan grafikler aracılığıyla detaylandırılmıştır.



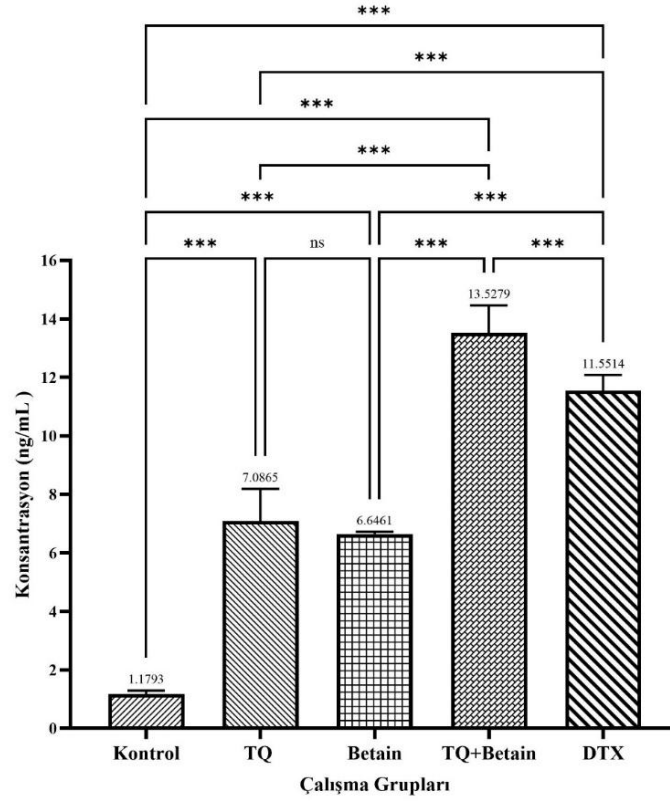
**Görsel 1. MCF-7 Hücrelerinde MMP-2 Proteininin, Kontrol Grubu ile Deney Grupları Arasındaki Değişiminin Karşılaştırılması**

TQ, Betain ve TQ+Betain tedavileri kontrolle karşılaştırıldığında MMP-2 seviyelerinde yüksek düzeyde anlamlı artış göstermiştir ( $***p < 0.001$ ), DTX uygulaması da kontrolle kıyaslandığında anlamlı artış sağlamıştır. Ancak tedavi grupları birbirleriyle ve DTX ile karşılaştırıldığında farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (*ns*). Bu sonuçlar, TQ, Betain ve özellikle TQ+Betain kombinasyonunun MCF-7 hücrelerinde MMP-2 ekspresyonunu artırdığını göstermektedir. ( $***: p < 0.001$ ;  $**: p < 0.01$ ; *ns: anlamlı değil*)



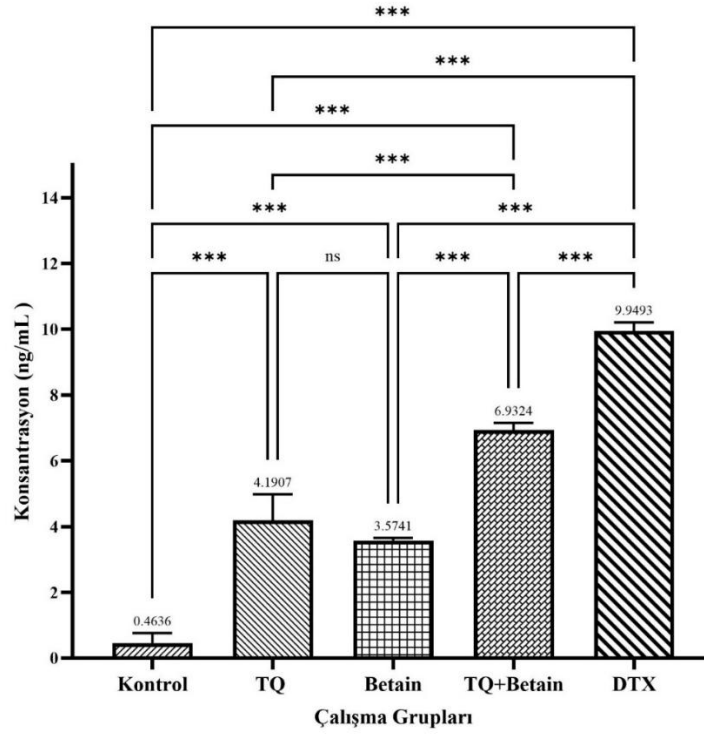
**Görsel 2. MCF-10A Hücrelerinde MMP-2 Proteininin, Kontrol Grubu ile Deney Grupları Arasındaki Değişiminin Karşılaştırılması**

TQ, Betain ve TQ+Betain tedavileri kontrolle karşılaştırıldığında MMP-2 seviyelerinde anlamlı artış göstermiştir ( $***p < 0.001$ ), DTX pozitif kontrolde benzer etki gözlenmiştir. Ancak DTX, TQ ve TQ+Betain ile karşılaştırıldığında anlamlı fark oluşturmamıştır (*ns*). En yüksek MMP-2 artışı TQ+Betain kombinasyonunda gözlenmiştir. Bu bulgular, uygulanan maddelerin MCF-10A hücrelerinde MMP-2 ekspresyonunu farklı oranlarda artırdığını göstermektedir. ( $***: p < 0.001$ ;  $**: p < 0.01$ ; *ns: anlamlı değil*)



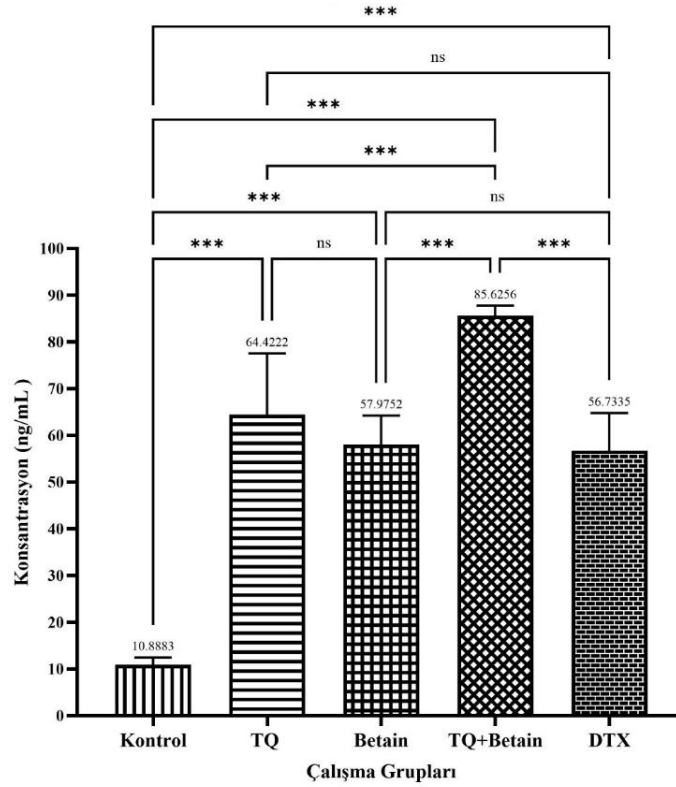
**Görsel 3. MCF-7 Hücrelerinde Kaspaz-8 Proteininin, Kontrol Grubu ile Deneç Grupları Arasındaki Değişiminin Karşılaştırılması**

Tüm tedavi grupları kontrolle karşılaştırıldığında Kaspaz 8 seviyelerinde anlamlı artış göstermiştir (\*\* $p < 0.001$ ). En yüksek artış TQ+Betain kombinasyonunda gözlenmiş olup, bu kombinasyon TQ, Betain ve DTX gruplarına kıyasla istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı fark yaratmıştır (\*\* $p < 0.001$ ). Bu sonuçlar, uygulanan tedavilerin MCF-7 hücrelerinde Kaspaz 8 ekspresyonunu farklı oranlarda artırdığını ortaya koymaktadır. (\*\* $p < 0.001$ ; \* $p < 0.01$ ; ns: anlamlı değil)



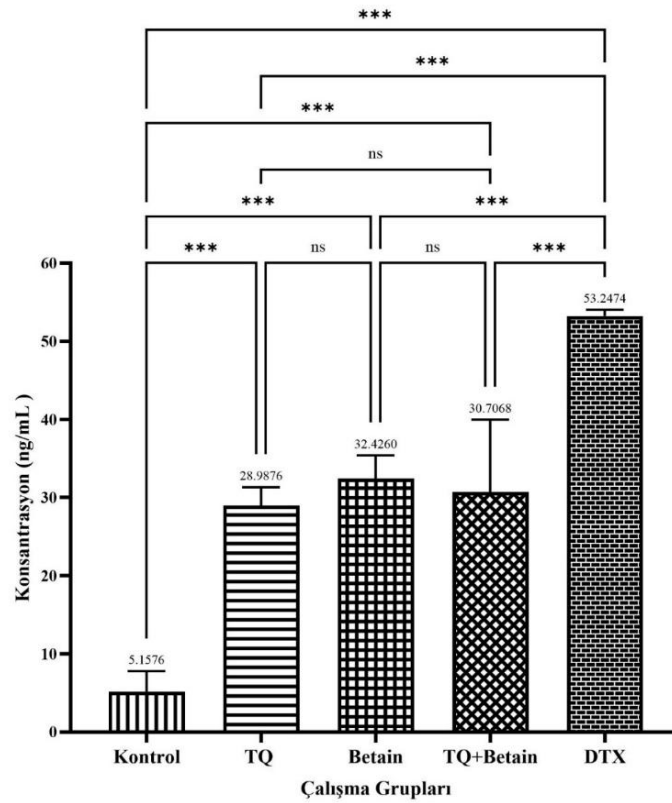
**Görsel 4. MCF-10A Hücrelerinde Kaspaz-8 Proteininin, Kontrol Grubu ile Deneş Grupları Arasındaki Değişiminin Karşılaştırılması**

MCF-10A sağlıklı meme hücre hattında tüm tedavi grupları kontrolle karşılaştırıldığında Kaspaz 8 seviyelerinde anlamlı artış göstermiştir (\*\* $p < 0.001$ ). En yüksek artış DTX uygulamasında gözlenmiş olup, TQ, Betain ve TQ+Betain ile karşılaştırıldığında istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı bulunmuştur. Bu sonuçlar, uygulanan maddelerin MCF-10A hücrelerinde Kaspaz 8 ekspresyonunu farklı oranlarda artırdığını göstermektedir. (\*\* $p < 0.001$ ; \* $p < 0.01$ ; ns: anlamlı değil)



**Görsel 5. MCF-7 Hücrelerinde Kaspaz-9 Proteininin, Kontrol Grubu ile Deneş Grubları Arasındaki Değişiminin Karşılaştırılması**

Tüm tedavi grupları kontrolle karşılaştırıldığında Kaspaz 9 seviyelerinde anlamlı artış göstermiştir ( $***p < 0.001$ ), en belirgin artış TQ+Betain kombinasyonunda gözlenmiştir. TQ grubu ile Betain ve DTX grupları arasındaki farklar ise istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu sonuçlar, uygulanan maddelerin MCF-7 hücrelerinde Kaspaz 9 ekspresyonunu farklı oranlarda artırdığını ortaya koymaktadır. ( $***: p < 0.001$ ;  $**: p < 0.01$ ;  $ns: anlamlı değil$ )



**Görsel 6. MCF-10A Hücrelerinde Kaspaz-9 Proteininin, Kontrol Grubu ile Deney Grupları Arasındaki Değişiminin Karşılaştırılması**

MCF-10A sağlıklı meme hücre hattında tüm tedavi grupları kontrolle karşılaştırıldığında Kaspaz 9 seviyelerinde anlamlı artış göstermiştir (\*\* $p < 0.001$ ), en yüksek artış DTX uygulamasında görülmüştür. TQ, Betain ve TQ+Betain grupları arasında ise farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu sonuçlar, uygulanan maddelerin sağlıklı hücrelerde Kaspaz 9 ekspresyonunu artırdığını göstermektedir (\*\* $p < 0.001$ ; \* $p < 0.01$ ; ns: anlamlı değil)

#### 4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Mevcut çalışmada, MCF-7 hücre hattında TQ, Betain, TQ+Betain kombinasyonu ve DTX uygulamalarının MMP-2 ekspresyon düzeyleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. MMP-2 düzeylerinde gözlenen artış, kombinasyon tedavisinin invazyonla ilişkili moleküler yanıtlar üzerinde karmaşık ve bağlama bağımlı etkiler oluşturabileceğini düşündürmektedir. Bu durum, apoptotik süreçlerin aktivasyonu ile invaziv mekanizmalar arasındaki olası çapraz konuşmanın daha ileri düzeyde araştırılmasını gerekli kılmaktadır. Kombinasyon tedavisinin MMP-2 seviyelerini yükselterek invazyon ve metastaz potansiyelini tetikleme riski, tümör progresyonu bağlamında kanser tedavisinde istenmeyen sonuçlara yol açabileceği için dikkatle incelenmelidir. Literatürdeki çalışmalarla (Kulthanaamondhita et al., 2024; Ünal et al., 2020; Zhang et al., 2020) uyumsuzluk gösteren bu MMP-2 sonuçlarının hücre hattına özgü yanıtlar, doz bağımlı etkiler ve deneysel koşullardaki farklılıklardan kaynaklanıyor olabileceği aklı

gelmektedir. Bu nedenle, söz konusu sonuçların farklı hücre modelleri ve ileri düzey deneysel yaklaşımlar ile doğrulanması önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, TQ, Betain ve TQ+Betain uygulamalarının meme kanseri hücrelerinde Kaspaz yolakları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bulgular hem tek başına hem de kombine halde uygulamanın apoptoza aracılık eden Kaspaz-8 ve Kaspaz-9 aktivitelerini artırdığını göstermektedir. Literatür verileri, Kaspaz aktivitesindeki artışın tümör kombine apoptozu tetikleyerek hücre ölümünü desteklediğini ortaya koymakta olup (Abd-Rabou et al., 2021; Chae et al., 2020; El-Far et al., 2022), mevcut sonuçlar bu verilerle uyumludur. Özellikle TQ+Betain kombinasyonu Kaspaz-8 ve 9 üzerinde en belirgin etkiyi göstermiştir; bu durum, iki bileşiğin sinerjik bir şekilde apoptozu güçlendirebileceğini düşündürmektedir. Tek başına uygulanan TQ veya Betain de anlamlı etkiler göstermesi, her iki bileşiğin bağımsız olarak da antikanser potansiyele sahip olabileceğini işaret etmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalar, TQ ve Betain bileşiklerinin in vivo modellerde test edilmesiyle tedavi etkinliği ve güvenilirliğinin daha ayrıntılı şekilde değerlendirilmesine olanak tanıyacaktır. Bu tür deneysel veriler, uzun vadede insanlarda yürütülebilecek potansiyel klinik çalışmalara sağlam bir temel oluşturacaktır. Ayrıca, TQ+Betain kombinasyonunun geleneksel kemoterapi veya hedefe yönelik ilaçlarla birlikte uygulanması, kanser tedavisinde yenilikçi ve etkili terapötik stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunabilir. Bunun yanı sıra, TQ ve Betain'in biyoyararlanımını artırmaya yönelik çalışmaların yapılması ve elde edilen sonuçların uygulanması, besin kaynaklı doğal bileşiklerle kanser tedavisinde daha güçlü ve etkili terapötik sonuçlar elde edilmesini destekleyebilir.

## KAYNAKÇA

- Abd-Rabou, A. A., El-Salam, N. M. A., Sharada, H. M. I., Samea, G. G. A. EL, & Abdalla, M. S. (2021). Thymoquinone Crosstalks with DR5 to Sensitize TRAIL Resistance and Stimulate ROS-Mediated Cancer Apoptosis. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention : APJCP*, 22(9), 2855. <https://doi.org/10.31557/APJCP.2021.22.9.2855>
- Chae, I. G., Song, N. Y., Kim, D. H., Lee, M. Y., Park, J. M., & Chun, K. S. (2020). Thymoquinone induces apoptosis of human renal carcinoma Caki-1 cells by inhibiting JAK2/STAT3 through pro-oxidant effect. *Food and Chemical Toxicology*, 139, 111253. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2020.111253>
- El-Far, A. H., Godugu, K., Noreldin, A. E., Saddiq, A. A., Almaghrabi, O. A., Al Jaouni, S. K., & Mousa, S. A. (2021). Thymoquinone and Costunolide Induce Apoptosis of Both Proliferative and Doxorubicin-Induced-Senescent Colon and Breast Cancer Cells. *Integrative Cancer Therapies*, 20. [https://doi.org/10.1177/15347354211035450/ASSET/77BF3061-F4EB-492F-B391-0D7AF1A35A0F/ASSETS/IMAGES/LARGE/10.1177\\_15347354211035450-FIG9.JPG](https://doi.org/10.1177/15347354211035450/ASSET/77BF3061-F4EB-492F-B391-0D7AF1A35A0F/ASSETS/IMAGES/LARGE/10.1177_15347354211035450-FIG9.JPG)
- El-Far, A. H., Saddiq, A. A., Mohamed, S. A., Almaghrabi, O. A., & Mousa, S. A. (2022). Curcumin and Thymoquinone Combination Attenuates Breast Cancer Cell Lines' Progression. *Integrative Cancer Therapies*, 21. [https://doi.org/10.1177/15347354221099537/ASSET/27D59171-121F-4553-A8C1-41E504003B92/ASSETS/IMAGES/LARGE/10.1177\\_15347354221099537-FIG8.JPG](https://doi.org/10.1177/15347354221099537/ASSET/27D59171-121F-4553-A8C1-41E504003B92/ASSETS/IMAGES/LARGE/10.1177_15347354221099537-FIG8.JPG)

- Hanahan, D. (2022). Hallmarks of Cancer: New Dimensions. *Cancer Discovery*, 12(1), 31–46. <https://doi.org/10.1158/2159-8290.CD-21-1059>
- Hassan, M. S., Khalid, T., Akhlaq, M., Hameed, A., Sharif, F., Rana, S., & Uroos, M. (2025). Therapeutic potential of betaine and its derivatives in cancer treatment: a comprehensive review. *RSC Advances*, 15(26), 20605–20622. <https://doi.org/10.1039/D5RA00755K>
- Homayoonfal, M., Asemi, Z., & Yousefi, B. (2021). Targeting microRNAs with thymoquinone: a new approach for cancer therapy. *Cellular & Molecular Biology Letters* 2021 26:1, 26(1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/S11658-021-00286-5>
- Juárez-Cruz, J. C., Okoniewski, M., Ramírez, M., Ortuño-Pineda, C., Navarro-Tito, N., & Castañeda-Saucedo, E. (2022). Chronic Leptin Treatment Induces Epithelial-Mesenchymal Transition in MCF10A Mammary Epithelial Cells. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, 27(1), 19–36. <https://doi.org/10.1007/S10911-022-09515-9/FIGURES/8>
- Kulthanaamondhita, P., Kornsuthisopon, C., Chansaenroj, A., Phattarataratip, E., Sappayatosok, K., Samaranayake, L., & Osathanon, T. (2024). Betaine Induces Apoptosis and Inhibits Invasion in OSCC Cell Lines. *International Journal of Molecular Sciences* 2024, Vol. 25, Page 10295, 25(19), 10295. <https://doi.org/10.3390/IJMS251910295>
- Momenimovahed, Z., & Salehiniya, H. (2019). Epidemiological characteristics of and risk factors for breast cancer in the world. *Breast Cancer: Targets and Therapy*, 11, 151–164. <https://doi.org/10.2147/BCTT.S176070>
- Sharma, A. N., Dewangan, H. K., & Upadhyay, P. K. (2024). Comprehensive Review on Herbal Medicine: Emphasis on Current Therapy and Role of Phytoconstituents for Cancer Treatment. *Chemistry & Biodiversity*, 21(3), e202301468. <https://doi.org/10.1002/CBDV.202301468>
- Ünal, T. D., Hamurcu, Z., Delibaşı, N., Çınar, V., Güler, A., Gökçe, S., Nurdinov, N., & Ozpolat, B. (2020). Thymoquinone Inhibits Proliferation and Migration of MDA-MB-231 Triple Negative Breast Cancer Cells by Suppressing Autophagy, Beclin-1 and LC3. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 21(3), 355–364. <https://doi.org/10.2174/1871520620666200807221047>
- Zhang, M., Du, H., Wang, L., Yue, Y., Zhang, P., Huang, Z., Lv, W., Ma, J., Shao, Q., Ma, M., Liang, X., Yang, T., Wang, W., Zeng, J., Chen, G., Wang, X., & Fan, J. (2020). Thymoquinone suppresses invasion and metastasis in bladder cancer cells by reversing EMT through the Wnt/ $\beta$ -catenin signaling pathway. *Chemico-Biological Interactions*, 320, 109022. <https://doi.org/10.1016/J.CBI.2020.109022>

## ÜÇ KÖKLÜ MAKSİLLER PREMOLAR DIŞLERİN ENDODONTİK YENİDEN TEDAVİSİ: BİR YILLIK TAKİPLİ İKİ VAKA SERİSİ

**Uzm. Dt. MEDİNE ÇİÇEK**

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, medine.cicek@erdogan.edu.tr -  
0000-0001-7322-5532

### ÖZET

Maksiller premolar dişler, kök ve kanal morfolojisindeki varyasyonlar açısından klinik olarak önemli zorluklar oluşturabilmektedir. Özellikle üç köklü premolar dişler nadir görülmekte olup, bu anatomik farklılıkların gözden kaçması endodontik tedavi başarısızlığının önemli nedenlerinden biridir. Bu çalışma, üç köklü maksiller premolar dişlere ait iki olguda gerçekleştirilen endodontik yeniden tedavinin klinik yönetimini ve bir yıllık takip sonuçlarını sunmayı amaçlamaktadır.

**Vaka 1:** Sistemik hastalığı bulunmayan 18 yaşındaki erkek hasta, sağ maksiller birinci premolar dişinde spontan ağrı şikayeti ile başvurmuştur. Klinik ve radyografik değerlendirme sonucunda yetersiz kök kanal tedavisine bağlı semptomatik apikal periodontitis tanısı konulmuştur. Dental operasyon mikroskobu altında yapılan incelemede üç kanal ağzı (palatinal, meziobukkal, distobukkal) tespit edilmiştir. Mevcut dolgu materyalleri uzaklaştırıldıktan sonra kanallar nikel-titanyum döner sistemlerle şekillendirilmiş, irrigasyon %2,5 NaOCl ve %17 EDTA ile sağlanmış ve pasif ultrasonik irrigasyon ile aktive edilmiştir. Kanal içi medikament olarak kalsiyum hidroksit uygulanmış ve ikinci seansta obtürasyon gerçekleştirilmiştir.

**Vaka 2:** Sistemik hastalığı bulunmayan 22 yaşındaki kadın hastada, sol maksiller ikinci premolar dişte daha önce tedavi edilmemiş ek kanal tespit edilmiştir. Dental operasyon mikroskobu altında üç kanal ağzı belirlenmiş, retreatment işlemi uygulanmış ve kanallar benzer protokolle şekillendirilip obtüre edilmiştir.

Her iki olguda da kanallar reçine bazlı pat ve gütaperka ile doldurulmuş ve koronal restorasyonlar tamamlanmıştır. Bir yıllık takipte her iki hastada da klinik olarak asemptomatik seyir ve radyografik iyileşme gözlenmiştir. Sonuç olarak, maksiller premolar dişlerde nadir görülen anatomik varyasyonların doğru tanınması, büyütme sistemlerinin etkin kullanımı ve uygun kemomekanik preparasyon protokollerinin uygulanması, endodontik tedavi başarısını artırmada kritik öneme sahiptir.

**Anahtar Kelimeler :** Maksiller premolar, Üç kök, Retreatment, Pasif ultrasonik irrigasyon, Dental operasyon mikroskobu

## **ENDODONTIC RETREATMENT OF THREE-ROOTED MAXILLARY PREMOLARS: A TWO-CASE SERIES WITH ONE-YEAR FOLLOW-UP**

**Uzm. Dt. MEDİNE ÇİÇEK**

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, medine.cicek@erdogan.edu.tr -  
0000-0001-7322-5532

### **ABSTRACT**

Maxillary premolars may present significant clinical challenges due to variations in root and canal morphology. Three-rooted premolars are relatively rare, and failure to recognize these anatomical variations is a major cause of endodontic treatment failure. This case series aims to present the clinical management and one-year follow-up outcomes of endodontic retreatment in two cases of three-rooted maxillary premolars.

**Case 1:** An 18-year-old male patient with no systemic disease presented with spontaneous pain in the right maxillary first premolar. Clinical and radiographic evaluation led to the diagnosis of symptomatic apical periodontitis associated with inadequate previous root canal treatment. Under a dental operating microscope, three canal orifices (palatal, mesiobuccal, and distobuccal) were identified. After removal of the existing filling materials, the canals were shaped using rotary systems. Irrigation was performed with 2.5% sodium hypochlorite and 17% EDTA, activated with passive ultrasonic irrigation. Calcium hydroxide was used as an intracanal medicament, and obturation was completed in a second visit.

**Case 2:** A 22-year-old female patient with no systemic disease was referred for endodontic evaluation prior to prosthetic treatment. A previously untreated additional canal was detected in the right maxillary second premolar. Three canal orifices were identified under a dental operating microscope, and retreatment was performed. The canals were shaped and obturated using a similar protocol.

In both cases, the canals were filled with a resin-based sealer and gutta-percha, and coronal restorations were completed. At the one-year follow-up, both patients were clinically asymptomatic and showed radiographic healing. In conclusion, accurate identification of anatomical variations, effective use of magnification, and appropriate chemomechanical preparation protocols are critical for the success of endodontic treatment in such complex cases.

**Keywords:** Maxillary premolar, Three roots, Retreatment, Passive ultrasonic irrigation, Dental operating microscope

## 1. INTRODUCTION

A detailed evaluation of root canal morphology plays a crucial role in the success of endodontic treatment [1]. Structural variations within the canal system may limit adequate debridement and shaping, potentially reducing treatment effectiveness [1,2]. Most studies have reported that complex root canal configurations are common in permanent teeth (3). In addition, the success rate of root canal treatment has been reported to range between 75.3% and 96% (1). Advances in endodontic technology have not been accompanied by a marked increase in long-term success rates, underscoring the critical role of detailed anatomical knowledge [3,4]. Retrospective findings suggest that failure is frequently associated with untreated additional canals, particularly over extended observation periods [4,5].

Several classification systems have been developed to evaluate root canal morphology [2,3]. The Vertucci classification, introduced in 1984 based on the evaluation of 2400 teeth, is one of the most widely used and easily applicable systems in clinical practice. This system is based on criteria such as canal branching patterns, the position of the apical foramen, and the presence of an apical delta [3]. More recent approaches include alternative classification systems that integrate root canal morphology with root number within a single coding system; however, their clinical use remains limited [2]. Furthermore, three-dimensional imaging techniques such as micro-CT and cone beam computed tomography (CBCT), along with conventional two-dimensional radiographs, allow for a more detailed and reliable assessment of root canal morphology [2,3,6].

Recent studies have shown that maxillary premolar teeth exhibit considerable variation in root and canal morphology [1,6,7]. Maxillary first premolars generally have single- or two-rooted anatomy, whereas a three-rooted configuration is extremely rare. In contrast, second premolars tend to present simpler canal anatomy [1-3,6,7]. Variations such as multiple roots, complex canal configurations, and superficial anatomical grooves may complicate effective cleaning and shaping procedures, potentially leading to unfavorable endodontic outcomes. Therefore, detailed evaluation of root canal morphology is essential for both nonsurgical and surgical endodontic success.

This case series was conducted to describe the endodontic retreatment of two uncommon cases of three-rooted maxillary premolars identified during routine clinical and radiographic examination.

## 2. CASE PRESENTATION

### *Case Report 1*

A systemically healthy 18-year-old male was referred to the Department of Endodontics, Faculty of Dentistry, Recep Tayyip Erdoğan University. The patient presented with spontaneous pain localized to the right maxillary first premolar tooth (#14) as his primary complaint. Clinical and radiographic examination revealed tenderness to percussion, while no mobility was observed. Preoperative radiography showed inadequate previous root canal treatment in tooth #14 and a periapical lesion (Figure 1). Based on the clinical and radiographic findings, the case was diagnosed as symptomatic apical periodontitis.



**Figure 1.** Preoperative periapical radiograph obtained from the patient demonstrating the presence of an additional canal in tooth #14

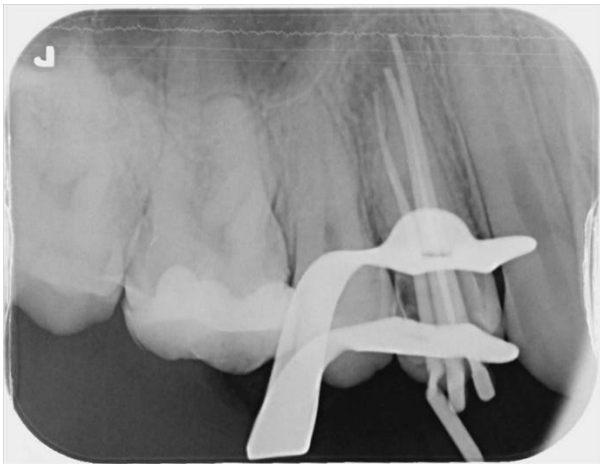
The tooth that received local anesthesia was isolated using a rubber dam and an endodontic access cavity was prepared using a sterile diamond bur. Identification of canal orifices and evaluation of canal anatomy were performed using a dental operating microscope (Zeiss EXTARO 300, Germany). Three canal orifices were detected: one palatal, one mesiobuccal, and one distobuccal (Figure 2). Gutta-percha was removed using a rotary nickel-titanium retreatment system (EndoArt RT, Inci Dental, Istanbul, Türkiye) with an endodontic motor (Woodpecker Motopex, Guilin, China). A size #10 K-file was inserted into each canal, and the working lengths of all three canals were established with an electronic apex locator and subsequently verified radiographically. Canal shaping was performed using rotary instruments (EndoArt Smart Gold, Inci Dental, Türkiye).



**Figure 2.** Detection of the additional canal and determination of the working length using endodontic files

During and after instrumentation, each canal was irrigated with 10 mL of 2.5% sodium hypochlorite (NaOCl). Following mechanical preparation, 2 mL of 17% EDTA was applied for 1 minute. Passive ultrasonic irrigation was used to activate the irrigation solutions.

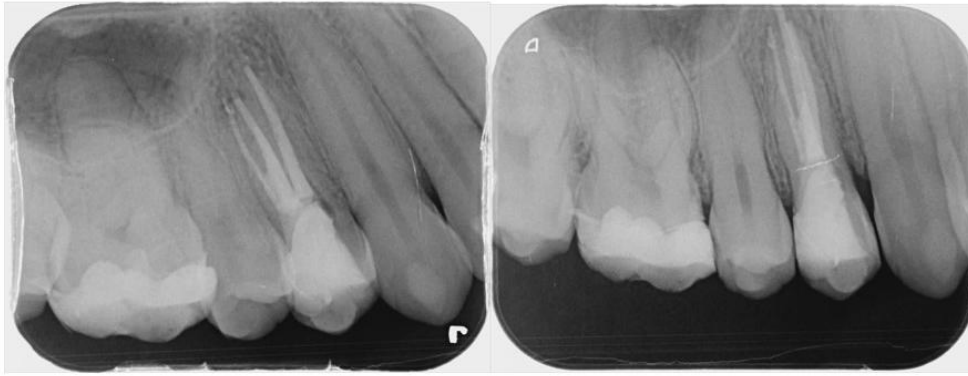
Calcium hydroxide was used as an intracanal medicament, and the access cavity was sealed with a temporary restoration. After one week, the tooth was asymptomatic, and both the temporary restoration and calcium hydroxide dressing were removed. After final irrigation, canals were dried with paper points and obturated using cold lateral condensation technique with a resin-based sealer (ADSeal, Meta Biomed, Cheongju, South Korea) and gutta-percha cones matching the master apical file (Figure 3). Final restoration was performed using an adhesive system and composite resin (Nova Compo-C, Imicryl, Konya, Türkiye). After occlusal adjustment, treatment was completed (Figure 4). During the 1-year follow-up, the tooth remained asymptomatic clinically and radiographically, with ongoing periapical healing (Figure 5).



**Figure 3.** Master cone radiograph of a three-rooted tooth



**Figure 4.** Final radiographic image



**Figure 5.** 1-year follow-up radiograph

### ***Case Report 2***

A 22-year-old female patient with no systemic disease was referred for endodontic evaluation prior to prosthetic rehabilitation at the Department of Endodontics, Faculty of Dentistry, Recep Tayyip Erdoğan University. Clinical and radiographic examination of the right maxillary second premolar (#15) revealed no percussion or palpation sensitivity, no mobility, and no spontaneous pain. Preoperative radiography indicated inadequate previous root canal treatment (Figure 6). Careful evaluation of the radiograph suggested an additional canal, which had not been treated previously. Considering the extensive coronal structural loss and planned post-core restoration, retreatment was indicated.

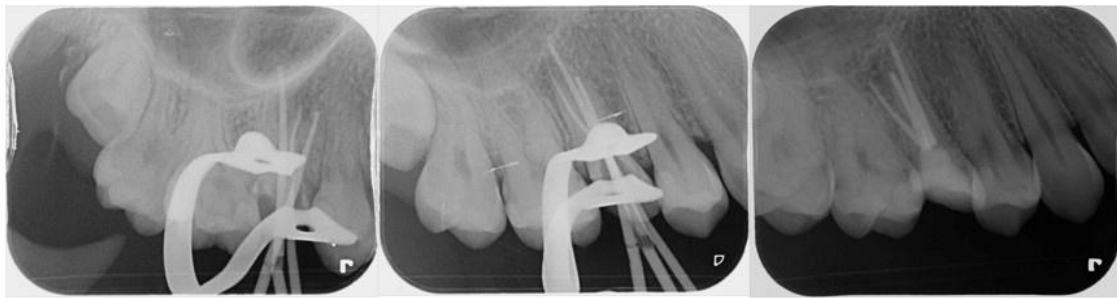


**Figure 6.** Preoperative periapical radiograph demonstrating the presence of an additional root in tooth #15

Once adequate local anesthesia had been established, the tooth was isolated under a rubber dam, and access to the pulp chamber was obtained with a sterile diamond bur. Canal orifices and root canal anatomy were evaluated using a dental operating microscope (Zeiss EXTARO 300, Germany). As suspected radiographically, three canal orifices were identified: palatal,

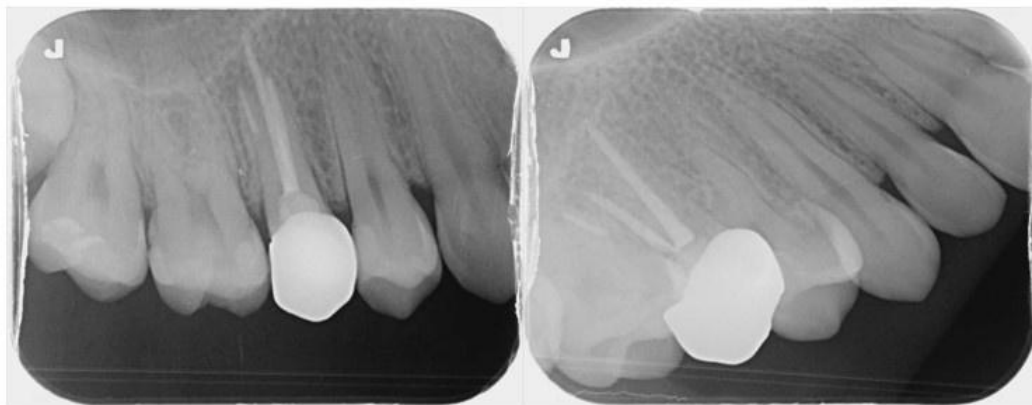
mesiobuccal, and distobuccal. Gutta-percha was removed from the palatal and mesiobuccal canals using a rotary nickel-titanium retreatment system (EndoArt RT, Inci Dental, Istanbul, Türkiye) with an endodontic motor (Woodpecker Motopex, Guilin, China). Working lengths were determined using a size #10 K-file and an electronic apex locator, and confirmed radiographically. The canals were shaped using rotary instruments (EndoArt Smart Gold, Inci Dental, Türkiye).

Irrigation was performed using 10 mL of 2.5% sodium hypochlorite per canal. After instrumentation, 2 mL of 17% EDTA was applied for 1 minute to remove the smear layer. All irrigants were activated using passive ultrasonic irrigation in three cycles of 20 seconds. Final irrigation was followed by drying with paper points and obturation using cold lateral condensation with a resin-based sealer (ADSeal, Meta Biomed, Cheongju, South Korea) and gutta-percha cones (Figure 7).



**Figure 7.** Master cone and postoperative radiograph

The patient was referred for prosthetic restoration. During the 1-year follow-up, the tooth was clinically and radiographically asymptomatic, and follow-up is ongoing (Figure 8).



**Figure 8.** 1-year follow-up radiograph

### **3. DISCUSSION**

Anatomical variations of teeth play a decisive role in diagnostic accuracy, appropriate treatment planning, and long-term prognosis in endodontics [1,8]. In the present case series, rare three-rooted maxillary premolars were reported in two different patients. The primary cause of periradicular lesions is known to be persistent microorganisms within inadequately treated or untreated root canals [9,10]. Therefore, successful endodontic treatment requires effective cleaning and shaping followed by a three-dimensionally sealed obturation. However, anatomical variations in the root canal system, particularly undetected additional roots and canals, may complicate treatment procedures [10,11].

Three-rooted maxillary premolars have been reported in several studies in the literature [1-3,6-8,12,13]. Awareness of such variations enables clinicians to anticipate possible canal configurations and improves treatment outcomes [3,4,8]. Multiple angled periapical radiographs and magnification systems significantly contribute to the detection of anatomical variations [8,14,15]. However, the two-dimensional nature of periapical radiographs limits complete visualization of the root canal system [8]. In this context, CBCT allows three-dimensional assessment of root canal morphology and reveals details that may be missed on conventional radiographs [1,2,8]. In addition, dental operating microscopes provide enhanced visualization and illumination, increasing the detection rate of additional canals and improving clinical success [10,14,16].

Proper access cavity design is also critical for locating additional canal orifices. Balleri et al. [17] reported that a T-shaped access cavity improves canal accessibility and cleaning efficiency in three-rooted premolars. Furthermore, a cross-path or deviation of an instrument in the buccal canal may indicate the presence of an additional canal [15]. In the present case series, a T-shaped canal orifice configuration was observed. Radiographic findings such as sudden narrowing or disappearance of the pulp space may also indicate canal bifurcation [10]. An unusually wide or triangular pulp chamber may serve as another diagnostic clue for multiple canals [10]. Sieraski et al. [18] also emphasized that a mesiodistal root width comparable to or greater than the crown width may indicate the presence of three roots in maxillary premolars.

### **CONCLUSION**

The outcome of endodontic treatment is closely related to the clinician's ability to recognize and manage the complexity of root canal anatomy. Missed canals and undetected additional roots remain significant causes of treatment failure, particularly in maxillary premolars. Therefore, detailed radiographic assessment, the use of multiple angulated images, and careful examination of the pulp chamber floor are essential for accurate diagnosis. The incorporation of magnification devices, such as dental operating microscopes, further enhances the detection of anatomical variations and contributes to improved treatment outcomes. In conclusion, awareness of possible anatomical complexities and the effective use of modern diagnostic tools are key factors in increasing the predictability and long-term success of endodontic therapy.

## REFERENCES

1. Xu, M., Ren, H., Liu, C., Zhao, X., Li, X. Systematic review and meta-analysis of root morphology and canal configuration of permanent premolars using cone-beam computed tomography, *BMC Oral Health*, 24(1), 656, 2024.
2. Watanabe, S., Yabumoto, S., Okiji, T. Evaluation of root and root canal morphology in maxillary premolar teeth: A cone-beam computed tomography study using two classification systems in a Japanese population, *Journal of Dental Sciences*, 20(2), 927-935, 2025.
3. Yanqui-Gómez, J.S., Dulanto-Vargas, J.A., Carranza-Samanez, K.M. Morphology of roots and canals of maxillary first premolars: A CBCT study in a Peruvian sample, *International Journal of Dentistry*, 2341041, 2024.
4. Burns, L.E., Kim, J., Wu, Y., Alzwaideh, R., McGowan, R., Sigurdsson, A. Outcomes of primary root canal therapy: An updated systematic review of longitudinal clinical studies published between 2003 and 2020, *International Endodontic Journal*, 55(7), 714-731, 2022.
5. Jang, Y.E., Kim, Y., Kim, S.Y., Kim, B.S. Predicting early endodontic treatment failure following primary root canal treatment, *BMC Oral Health*, 24(1), 327, 2024.
6. Saber, S.E.D.M., Ahmed, M.H.M., Obeid, M., Ahmed, H.M.A. Root and canal morphology of maxillary premolar teeth in an Egyptian subpopulation using two classification systems: A cone beam computed tomography study, *International Endodontic Journal*, 52(3), 267-278, 2019.
7. Martins, J.N.R., Worldwide Anatomy Research Group, Versiani, M.A. Worldwide assessment of the root and root canal characteristics of maxillary premolars – A multi-center cone-beam computed tomography cross-sectional study with meta-analysis, *Journal of Endodontics*, 50(1), 31-54, 2024.
8. Ugur, Z., Akpınar, K.E., & Altunbas, D. Maxillary first premolars with three root canals: Two case reports, *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*, 51(3), 50-53, 2017.
9. Lin, L.M., Rosenberg, P.A., Lin, J. Do procedural errors cause endodontic treatment failure?, *Journal of the American Dental Association*, 136(2), 187-193, 2005.
10. Ocak, M.S., Ahmetoğlu, F. Üç köklü maksiller birinci premoların endodontik tedavisi: Bir olgu sunumu, *Annals of Health Sciences Research*, 2(1), 46-48, 2013.
11. Soares, J.A., Leonardo, R.T. Root canal treatment of three rooted maxillary first and second premolars – A case report, *International Endodontic Journal*, 36(10), 705-710, 2003.
12. Ahmad, I.A., Alenezi, M.A. Root and root canal morphology of maxillary first premolars: A literature review and clinical considerations, *Journal of Endodontics*, 42(6), 861-872, 2016.
13. Özcan, E.Ç., Hamidi, M.M. Root and canal morphology of maxillary first premolars in a Turkish population, *Journal of Dental Sciences*, 7(4), 390-394, 2012.
14. Carr, G.B., Murgel, C.A. The use of the operating microscope in endodontics, *Dental Clinics of North America*, 54(2), 191-214, 2010.

15. Bozkurt, D.A., Aydınbelge, H.A. Üç kanallı ve fraktür hattına sahip üst birinci küçük azı dişin retreatment tedavisi: Olgu sunumu, *Selcuk Dental Journal*, 2(1), 20-24, 2011.
16. Arisu, H.D., Alacam, T. Diagnosis and treatment of three-rooted maxillary premolars, *European Journal of Dentistry*, 3(1), 62-66, 2009.
17. Balleri, P., Gesi, A., Ferrari, M. Primer premolar superior com tres raices, *Endodontic Practice*, 3, 13-15, 1997.
18. Sieraski, S.M., Taylor, G.N., Kohn, R.A. Identification and endodontic management of three-canalled maxillary premolars, *Journal of Endodontics*, 15(1), 29-32, 1989.

## **C-ŞEKİLLİ KÖK KANAL KONFIGÜRASYONUNA SAHİP MANDİBULAR İKİNCİ MOLAR DIŞTE ENDODONTİK TEDAVİ: BİR OLGU SUNUMU**

**Uzm. Dt. MEDİNE ÇİÇEK**

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, medine.cicek@erdogan.edu.tr -  
0000-0001-7322-5532

### **ÖZET**

C-şekilli kök kanal konfigürasyonu, özellikle mandibular ikinci molar dişlerde görülen ve kök kanal sisteminin düzensiz morfolojisi, isthmus yapıları ve kanal bağlantıları nedeniyle endodontik tedaviyi zorlaştıran önemli bir anatomik varyasyondur. Bu kompleks yapı, kök boyunca değişkenlik göstermesi nedeniyle tanı, kemomekanik preparasyon ve obturasyon aşamalarında klinisyen için çeşitli zorluklar oluşturmaktadır. Bu olgu sunumunun amacı, C-şekilli kök kanal konfigürasyonuna sahip mandibular ikinci molar dişin endodontik tedavi sürecini klinik açıdan değerlendirmektir. 20 yaşındaki erkek hasta, sağ mandibular posterior bölgede spontan ve çiğneme ile artan ağrı şikayetiyle başvurdu. Klinik ve radyografik inceleme sonucunda ilgili dişe pulpa nekrozu ve periapikal periodontitis tanısı konuldu. Radyografik değerlendirmede kompleks kanal morfolojisinden şüphelenilmiş, kanal yapısı dental operasyon mikroskobu altında ayrıntılı olarak incelenmiştir. Giriş kavitesi sonrasında iki mezial ve iki distal olmak üzere toplam dört kanal ağzı belirlenmiştir. Çalışma boyları elektronik apeks bulucu yardımıyla tespit edilmiş ve kanallar nikel-titanyum döner sistemlerle kontrollü şekilde şekillendirilmiştir. İrrigasyon protokolünde %2,5 sodyum hipoklorit ve %17 EDTA kullanılmış, irrigantların etkinliği pasif ultrasonik aktivasyon ile artırılmıştır. Mekanik hazırlığın ardından kanallar kurutulmuş ve kalsiyum silikat esaslı MTA bazlı pat ile gütaperka kullanılarak tek kon tekniğiyle obturasyon gerçekleştirilmiştir. Koronal restorasyon kompozit rezin ile tamamlanmıştır. Tedavi sürecinde kanal sisteminin apikal bölgede birleşerek tek foramende sonlandığı gözlenmiştir. C-şekilli kanal sistemlerinde kök boyunca değişkenlik gösteren morfoloji, özellikle isthmus ve bağlantı alanlarının temizliğini güçleştirmekte ve irrigasyon stratejilerinin etkinliğini kritik hale getirmektedir. Sonuç olarak, bu tür kompleks anatomilerde başarılı bir endodontik tedavi için ayrıntılı tanı, büyütme sistemlerinin etkin kullanımı ve uygun kemomekanik preparasyon protokollerinin uygulanması büyük önem taşımaktadır.

**Anahtar Kelimeler :** C-şekilli kanal, Mandibular ikinci molar, Kök kanal morfolojisi, Anatomik varyasyon, Dental operasyon mikroskobu

## **ENDODONTIC TREATMENT OF A MANDIBULAR SECOND MOLAR WITH A C-SHAPED ROOT CANAL CONFIGURATION: A CASE REPORT**

**Uzm. Dt. MEDİNE ÇİÇEK**

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, [medine.cicek@erdogan.edu.tr](mailto:medine.cicek@erdogan.edu.tr) -

0000-0001-7322-5532

### **ABSTRACT**

C-shaped root canal configuration is a significant anatomical variation, most commonly observed in mandibular second molars, that complicates endodontic treatment due to the irregular morphology of the root canal system, the presence of isthmuses, and interconnecting canal networks. This complex structure exhibits variability along the root, posing challenges for clinicians during diagnosis, chemomechanical preparation, and obturation procedures. The aim of this case report is to clinically evaluate the endodontic treatment of a mandibular second molar with a C-shaped root canal configuration. A 20-year-old male patient presented with spontaneous pain and increased discomfort during mastication in the right mandibular posterior region. Based on clinical and radiographic examination, the tooth was diagnosed with pulp necrosis and periapical periodontitis. Radiographic findings suggested a complex canal morphology, which was further evaluated in detail under a dental operating microscope. Following access cavity preparation, four canal orifices—two mesial and two distal—were identified. Working lengths were determined using an electronic apex locator, and the canals were instrumented in a controlled manner using nickel-titanium rotary systems. The irrigation protocol included 2.5% sodium hypochlorite and 17% EDTA, with passive ultrasonic activation to enhance irrigant effectiveness. After mechanical preparation, the canals were dried and obturated using a single-cone technique with gutta-percha and a calcium silicate-based MTA sealer. The coronal restoration was completed with composite resin. It was observed that the canal system merged apically into a single foramen. In C-shaped canal systems, morphological variations along the root complicate the cleaning of isthmuses and interconnecting areas, making effective irrigation strategies critical. In conclusion, successful endodontic treatment of such complex anatomies requires accurate diagnosis, effective use of magnification systems, and the application of appropriate chemomechanical preparation protocols.

**Keywords:** C-shaped canal, mandibular second molar, root canal morphology, anatomical variation, dental operating microscope

## 1. INTRODUCTION

The success of endodontic treatment relies on an accurate understanding of root canal system anatomy and the proper execution of cleaning, shaping, and obturation procedures in accordance with that anatomy [1-5]. Anatomically, a mandibular molar generally resembles a two-rooted tooth, with one distal and one mesial root. The mesial root usually presents two canals that often converge in the apical third, while the distal root generally has a single canal [3]. However, root canal morphology is highly complex and may exhibit considerable variations among individuals and populations [4-6]. Failure to recognize these variations may lead to several clinical complications, including missed canals, inadequate disinfection, and treatment failure [4,5,7].

The C-shaped root canal system is one of the most remarkable anatomical variations encountered in endodontics [3,4,8,9]. First described in 1979, this configuration is characterized by a cross-sectional shape resembling the letter “C” and usually results from root fusion and developmental failure of Hertwig’s epithelial root sheath [5,6]. In this system, the presence of fins or web-like interconnections between canals causes the canal morphology to vary continuously along the length of the root [3,9].

C-shaped canals are most commonly found in mandibular second molars; however, their reported prevalence differs across various tooth types and populations [4,9,10]. In contrast, their occurrence in mandibular first molars is relatively rare and may be easily overlooked by clinicians [5]. This may result in misdiagnosis and inadequate treatment [4,5]. Owing to their irregular canal morphology and thin dentinal walls, these complex anatomical structures present significant challenges during irrigation, shaping, and obturation procedures [4,5,11,12]. Furthermore, intercanal connections and inaccessible areas may serve as reservoirs for microorganisms, thereby increasing the risk of periapical pathology [4,9].

Currently, three-dimensional imaging modalities such as cone-beam computed tomography (CBCT), together with the use of dental operating microscopes and magnification systems, provide substantial advantages in the identification and management of such complex anatomies [3,5,13]. Enhanced magnification and improved illumination facilitate clearer detection of canal orifices, isthmuses, and accessory branches, thereby contributing to more effective cleaning, shaping, and obturation, particularly in C-shaped canal systems [4,5,14].

The aim of this case report was to present the treatment management of a right mandibular second molar with two fused roots and a rare C-shaped root canal anatomy performed under a dental operating microscope.

## 2. CASE PRESENTATION

A 20-year-old male patient with no systemic disease was referred to the Department of Endodontics, Faculty of Dentistry, Recep Tayyip Erdoğan University, with complaints of spontaneous pain and pain during mastication in the right mandibular posterior region. The patient reported intermittent pain in the right mandibular second molar (#47) for approximately one month and stated that the pain intensified during eating after the loss of the existing restoration. Based on the clinical and radiographic examination, together with a negative

response to pulp sensibility testing and periapical radiographic findings, the tooth was diagnosed with pulp necrosis associated with apical periodontitis (Figure 1-2). Mild tenderness to percussion was present, whereas no palpation sensitivity or mobility was detected. Careful evaluation of the preoperative radiograph raised suspicion of a C-shaped canal configuration in the involved tooth (Figure 2).



**Figure 1.** Preoperative panoramic radiograph obtained from the patient

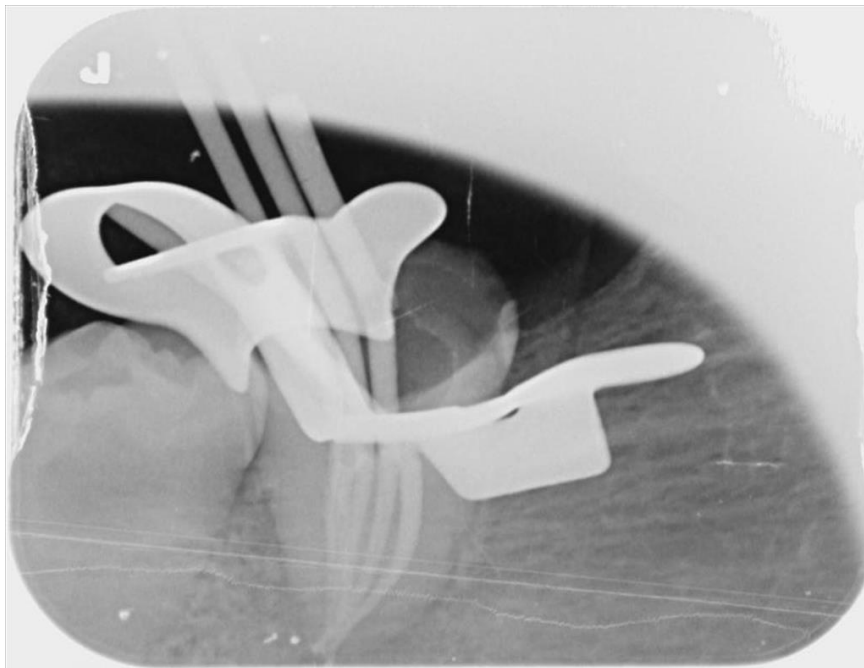


**Figure 2.** Preoperative periapical radiograph obtained from the patient demonstrating a C-shaped canal configuration in tooth #47

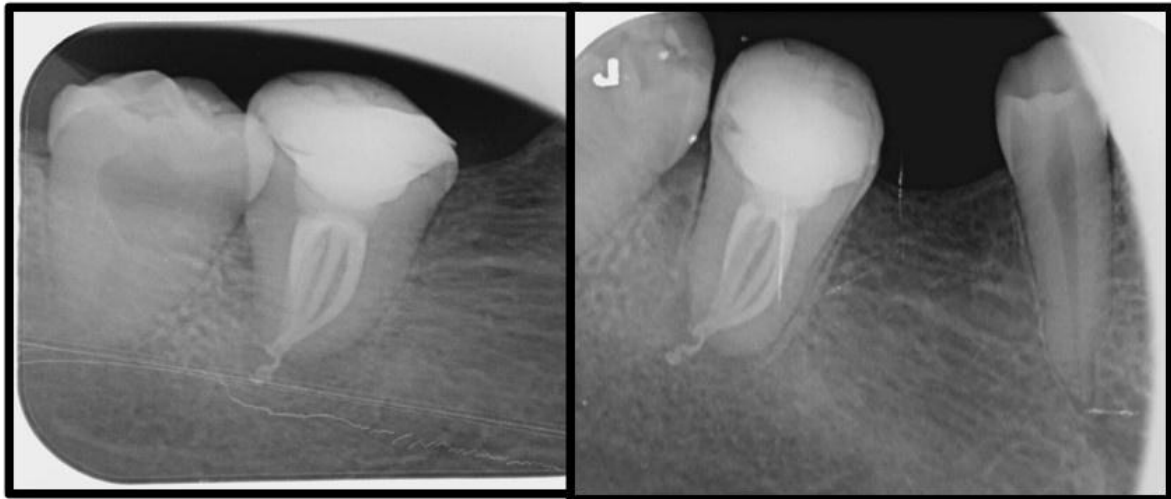
Following administration of local anesthesia and rubber dam isolation, an endodontic access cavity was prepared under water cooling using a sterile diamond bur. Identification of the canal orifices and assessment of canal anatomy were performed under a dental operating microscope (Zeiss EXTARO 300, Germany). As suspected on the preoperative radiograph, a C-shaped canal configuration was observed within the access cavity, and four canal orifices were identified: two mesial and two distal. Size #10 K-files (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) were introduced into the canals, and working lengths were determined using an electronic apex locator (Root ZX Mini; J. Morita Co., Tokyo, Japan).

The canals were mechanically prepared using nickel-titanium rotary instruments (EndoArt Smart Gold, İnci Dental, Türkiye). During and after instrumentation, each canal was irrigated with a total volume of 10 mL of 2.5% sodium hypochlorite (NaOCl) (Senem Dental, Kayseri, Türkiye). Following completion of mechanical preparation, 2 mL of 17% EDTA (Saver, Prime Dental, İzmir, Türkiye) was applied to each canal for 1 minute to remove the smear layer. To enhance irrigation efficacy, all irrigants were activated using passive ultrasonic irrigation in three cycles of 20 seconds each per application.

After final irrigation, the canals were dried with paper points and obturated using the single-cone technique with a calcium silicate-based MTA sealer (Nexobio MTA Cem S, Türkiye) and gutta-percha cones corresponding to the master apical file size (Figure 3). Permanent restoration was completed using a self-etch adhesive system (Clearfil S Bond, Kuraray Noritake Dental Inc., Tokyo, Japan) and a composite resin material (Nova Compo-C, Imicryl, Konya, Türkiye). After verification of occlusal contacts, treatment was completed, and the patient was referred for prosthetic rehabilitation (Figure 4). Follow-up of the patient is ongoing.



**Figure 3.** Periapical radiograph with master cones after canal shaping



**Figure 4.** Postoperative periapical radiographic images obtained after completion of the treatment

### 3. DISCUSSION

C-shaped canal systems present significant challenges for endodontic treatment because of their complex morphology and continuous anatomical variations along the root length [4,5]. In these systems, the canal configuration does not remain constant but may exhibit different patterns from the coronal to the apical region [2,4,5,15]. Although radiographic evaluation is important for diagnosis, it is not always sufficient as a standalone method [15]. Cooke and Cox reported that canal orifice morphology may be more decisive for diagnosis [16], whereas Fan et al. [17] demonstrated a significant correlation between radiographic findings and three-dimensional evaluations. From both diagnostic and clinical management perspectives, accurate identification of four separate canal orifices was one of the most critical stages of treatment in the present case. Missed canal orifices are a common problem in C-shaped canal systems [4,5]. In the current case, the preoperative radiograph suggested a C-shaped canal configuration; however, definitive diagnosis was established through direct visualization of the canal orifices under a dental operating microscope. This finding further emphasizes that radiographic assessment alone may be insufficient and highlights the importance of magnification systems in managing complex anatomies [14].

In this case, four distinct canal orifices were identified at the coronal level, consisting of two mesial and two distal orifices; however, these canals merged in the apical region and terminated in a single foramen. Previous studies have indicated that C-shaped canal systems demonstrate considerable morphological changes along the root and that the number of canals may decrease, particularly in the apical third [15,17]. Therefore, the multiple-entry/single-exit pattern observed in this case is consistent with the existing literature.

The changing morphology of C-shaped canal systems directly influences chemomechanical preparation and irrigation strategies [1-5]. Isthmuses and interconnecting areas are particularly resistant to mechanical debridement and may serve as sites for debris

accumulation [15]. In the present case, apical merging of the canals made irrigation of these confluent areas even more critical. Therefore, passive ultrasonic irrigation was used to enhance irrigant penetration and improve debridement efficacy.

From a shaping perspective, thin dentinal walls in certain regions of C-shaped roots may increase the risk of perforation [4,5,11,12]. For this reason, aggressive instrumentation should be avoided. In the current case, the controlled instrumentation protocol contributed to preservation of the anatomical integrity of the root structure. During obturation, the presence of a single apical foramen formed by merging canals required particular attention to ensure adequate adaptation of the filling material. The use of a calcium silicate-based sealer may have contributed to improved adaptation in these confluent regions.

This case demonstrates that both the number of canals and morphological changes along the root length should be considered in treatment planning of C-shaped canal systems. Multiple coronal canal entries merging into a single apical foramen may require modified irrigation and obturation strategies. Therefore, evaluation of anatomical variation throughout the root is essential for successful treatment.

## CONCLUSION

The three-dimensional variability of the root canal system in mandibular second molars with C-shaped canal anatomy directly affects treatment success. In the present case, the complex canal morphology was effectively managed through the use of a dental operating microscope and appropriate irrigation and obturation protocols, resulting in successful endodontic treatment. Early recognition of such anatomical variations and adaptation of the treatment protocol accordingly are of great importance for achieving favorable clinical outcomes.

## REFERENCES

1. Cleghorn, B.M., Goodacre, C.J., Christie, W.H. Morphology of teeth and their root canal systems, In J.I. Ingle, L.K. Bakland, J.C. Baumgartner (Eds.), *Ingle's endodontics* (6th ed., pp. 151-220). B C Decker Inc, 2008.
2. Raghavendra, S.S., Napte, B.D., Desai, N.N., Hindlekar, A.N. Single C-shaped canal in mandibular first molar: A case report, *Journal of Conservative Dentistry*, 18(2), 168-171, 2015.
3. Vasileva, V.R., Borisova-Papancheva, T., Zaneva-Hristova, D., Georgieva, S., Miteva, A.M. C-shaped canal in second mandibular molar: A case report, *Cureus*, 17(4), 2025.
4. Zhou, R., Shen, L., Wei, C. C-shaped root canal systems in the bilateral mandibular first molars: A case report and literature review, *BMC Oral Health*, 25(1), 711, 2025.
5. Yousefi, F., Mohammadi, Y., Shokri, E. Prevalence of C-shaped canal morphology in premolar and molar teeth assessed by cone-beam computed tomography: Systematic review and meta-analysis, *BMC Oral Health*, 25(1), 1657, 2025.

6. Abdalrahman, K., Talabani, R., Kazzaz, S., Babarasul, D. Assessment of C-shaped canal morphology in mandibular and maxillary second molars in an Iraqi subpopulation using cone-beam computed tomography, *Scanning*, 4886993, 2022.
7. Patil, M., Mujawar, A., Rachalwar, D., Shaikh, S. Endodontic management of C-shaped root canal configuration using different obturation systems: Case series, *International Multidisciplinary Research Journal*, 2023.
8. Fernandes, M., de Ataide, I., Wagle, R. C-shaped root canal configuration: A review of literature, *Journal of Conservative Dentistry*, 17, 312-319, 2014.
9. Tulegenova, I., Omarova, B.A., Kopbayeva, M., Altynbekov, K., Kuanyshbekov, Y., Karibayeva, I. Prevalence of C-shape Canal in Second Mandibular Premolars: A Systematic Review and Meta-analysis, *Indian J Dent Res*, 36(2):228-235, 2025.
10. Mashyakhly, M., AlTuwaijri, N., Alessa, R., Alazzam, N., Alotaibi, B., Almutairi, R. Anatomical evaluation of root and root canal morphology of permanent mandibular teeth in a Saudi Arabian population: A systematic review, *BioMed Research International*, 2400314, 2022.
11. Chen, M., Tsauo, C., Qiu, S., Gao, Y. Micro-computed tomographic analysis of radicular dentin thickness in mandibular second molars across diverse anatomic root variations: Identifying potential danger zones, *Journal of Endodontics*, 50(11), 1560-1568, 2024.
12. Yang, S.E., Lee, T.Y., Kim, K.J. Prevalence and morphology of C-shaped canals: A CBCT analysis in a Korean population, *Scanning*, 9152004, 2021.
13. Shekarian, M., Majlesi, M., Zare Jahromi, M. Prevalence of C-shaped canals and three-rooted mandibular molars in the Iranian population by using cone-beam computed tomography, *Clinical and Experimental Dental Research*, 9(5), 906-912, 2023.
14. Carr, G.B., Murgel, C.A. The use of the operating microscope in endodontics, *Dental Clinics of North America*, 54(2), 191-214, 2010.
15. Dinçol, M., Erişen, R. C-kanallı alt ikinci büyük azı dişlerinin endodontik tedavisi: Dört olgu nedeniyle, *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*, 42(1-2), 25-33, 2010.
16. Cooke, H.G., Cox, F.L. C-shaped canal configurations in mandibular molars, *Journal of the American Dental Association*, 99, 836-839, 1979.
17. Fan, B., Cheung, G.S.P., Fan, M., Gutmann, J.L., Bian, Z. C-shaped canal system in mandibular second molars: Part I-Anatomical features, *Journal of Endodontics*, 30(12), 899-903, 2004.

**EVALUATION OF *Lactobacillus* SPECIES AND THEIR BIOLOGICAL ACTIVITIES,  
IN TERMS OF ANTIMICROBIAL EFFICACY**

**RPh. EMRULLAH YILDIZ**

Inonu University, 21212198012@ogr.inonu.edu.tr – ORCID ID: 0009-0009-8759-9995

**Assoc. Prof. TUBA UNVER**

Inonu University, tuba.unver@inonu.edu.tr – ORCID ID: 0000-0002-8655-2716

**ABSTRACT**

This study aims to evaluate the antimicrobial mechanisms of action of *Lactobacillus* species, which could be alternatives to traditional antibiotics in the fight against the antimicrobial resistance (AMR) crisis, a chronic public health problem worldwide, and their potential use in medical, food, and agricultural fields, in light of the literature. In this study, recent articles and international reports on the bioactive properties, mechanisms of action, and applications of the genus *Lactobacillus* were reviewed. It was observed that *Lactobacillus* species inhibit pathogens by: lowering environmental pH by producing lactic and acetic acids; inducing oxidative stress via hydrogen peroxide; and forming pores in the target cell membrane and destroying the cell wall through different classes of bacteriocins (Class I, II, III). In particular, the multifaceted lytic effect of lantibiotics, which bind to Lipid II molecules, largely prevents the development of resistance, unlike classical antibiotics. In addition, immunomodulatory properties such as competing with pathogens on epithelial surfaces (competitive exclusion), inhibiting biofilms by suppressing quorum-sensing mechanisms, and increasing the production of anti-inflammatory cytokines, such as IL-10, by protecting tight junction proteins offer clinically significant advantages. However, disadvantages include the high strain-specificity of antagonistic effects, the potential for live cells to survive stressors in the gastrointestinal tract or during industrial production, and the heat sensitivity of large-molecule Class III bacteriocins. To overcome these obstacles, it is recommended to genetically characterize new strains using polyphasic approaches, including 16S rRNA sequencing and whole-genome analysis; optimize innovative formulations, such as microencapsulation and bioprotective coatings, to withstand challenging conditions; and establish standard treatment protocols through comprehensive *in vivo* research examining strain-specific dose-response relationships.

**Keywords:** *Lactobacillus*, Antimicrobial Mechanisms of Action, Bacteriocins, Bioprotection, Immunomodulation

## 1. INTRODUCTION

The discovery of antibiotics in the treatment of infectious diseases is one of the turning points of modern medicine, but the uncontrolled use of these drugs in medicine, veterinary medicine, and agriculture has led to the antimicrobial resistance (AMR) crisis today. AMR, which has become a chronic public health problem worldwide, is projected to cause 10 million deaths globally each year by 2050 [1]. Against this global health threat, the development of alternative, reliable, and effective antimicrobial strategies under the leadership of the World Health Organization (WHO) has become imperative [2].

Lactic Acid Bacteria (LAB), especially the genus *Lactobacillus*, constitute a strong biological alternative due to their long history of safe use in food fermentation and their "Generally Recognized as Safe" (GRAS) status by the U.S. Food and Drug Administration (FDA) [3]. These bacteria, which have probiotic properties, regulate the immune system by balancing the host's microbiota, preventing pathogen colonization, and exerting their effects through the synthesis of antimicrobial metabolites that directly damage target cells. The antagonistic effects of *Lactobacillus* species are not based on a single mechanism; they provide multifaceted protection through a combination of pH reduction, the induction of oxidative stress, and cell membrane disruption [4].

## 2. USES OF *Lactobacillus* GENUS BACTERIA

Bacteria belonging to the genus *Lactobacillus*, a heterogeneous group, have broad potential for use in the food, agricultural, and medical fields. In the food industry, they serve as initiators or complementary cultures in the production of dairy products, fermented plant foods, wine, beer, and sourdough bread. As an alternative "biopreservation" agent to synthetic chemical preservatives, they suppress the proliferation of pathogens that cause spoilage in food due to the organic acids, diacetyl, hydrogen peroxide, and bacteriocins they synthesize, and safely extend the shelf life of the product [5].

In medical and clinical applications, they play a critical role, especially in protecting mucosal barriers. In the gastrointestinal system, they support intestinal barrier integrity, reducing the risk of systemic inflammation and autoimmune diseases (celiac disease, IBD, etc.) [6]. In the urogenital system, *Lactobacillus* strains that produce hydrogen peroxide, in particular, provide protection against diseases such as bacterial vaginosis, and oral probiotic supplements have been shown to restore vaginal microbial balance [7].

## 3. ANTIMICROBIAL MECHANISMS

### 3.1. Metabolic Products and Oxidative Stress

*Lactobacillus* species reduce the pH level of the microenvironment in which they are located by producing organic acids such as lactic acid and acetic acid as a result of carbohydrate metabolism (8). These organic acids, in their undissociated form, pass through pathogen cell membranes by passive diffusion and ionize in the cytoplasm; this disrupts the intracellular proton-motive force (PMF), causing metabolic suppression and cessation of ATP production [8].

In addition, hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) production is carried out through the NADH oxidase enzyme. The produced H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> reacts with iron ions in the environment, forming highly reactive and toxic hydroxyl radicals. This strong oxidative stress breaks down the DNA of

pathogenic bacteria, damages their protein structures, and disrupts lipids in the plasma membrane, exerting a direct bactericidal (killing) effect [9].

### 3.2. Bacteriocins

Bacteriocins are protein-structured antimicrobial peptides synthesized via the ribosomal pathway that exert a direct lethal effect on pathogenic microorganisms [10].

Class I Bacteriocins (Lantibiotics): They bind to the Lipid II molecule located in the cell membrane of the target bacterium, which is a fundamental building block in peptidoglycan synthesis. This both stops cell wall synthesis and opens pores in the cell membrane, leading to the leakage of vital cellular components [11].

Class II Bacteriocins: These heat-resistant peptides bind to specific receptors such as the mannose phosphotransferase system, opening pores in the cell membrane and depolarizing the membrane potential, triggering cell death [12].

Class III Bacteriocins (Bacteriolysins): They directly attack the pathogen cell wall, enzymatically breaking the cross-links between peptidoglycan units and causing the target to lyse (burst) [13].

### 3.3. Structural Barriers and Biofilm Inhibition

Through a competitive exclusion mechanism, *Lactobacillus* species engage in a physical race with pathogens to colonize intestinal and mucosal surfaces. They colonize host tissues by strongly adhering to tissues via S-layer proteins and mucin-binding proteins in their cell walls [14]. They also disrupt the "Quorum Sensing" (QS) signaling system, preventing the formation of biofilm layers that allow pathogens to resist environmental stresses. In this process, called quorum quenching, lactobacilli stop toxin production and pathogen infection at the cellular level by enzymatically breaking down the intercellular communication molecules (e.g., acyl-homoserine lactones) of pathogens [15].

### 3.4. Immunomodulation

*Lactobacillus* directly interacts with intestinal epithelial cells, increasing the synthesis of tight junction proteins such as zonula occludens (ZO-1, ZO-2) and claudins, thereby making the intestinal barrier impervious to harmful antigens [16]. In their effects on the immune system, they control inflammation by suppressing the NF- $\kappa$ B signaling pathway at the cellular level.

This mechanism reduces the production of pro-inflammatory cytokines, such as IL-6 and TNF- $\alpha$ , which cause tissue damage, while activating regulatory T cells and promoting the production of anti-inflammatory cytokines, such as IL-10 and TGF- $\beta$ , which promote immune tolerance [17].

## 4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Against antibiotic resistance (AMR), a global public health threat, *Lactobacillus* species with GRAS status offer a reliable, natural alternative for both food biopreservation and the treatment of clinical infections.

The greatest advantage of these bacteria is that they inhibit pathogens through multifaceted mechanisms, preventing the development of resistance. They lower pH with organic acids, induce oxidative stress with hydrogen peroxide, and degrade the cell wall and create pores in the membrane via bacteriocins (Class I, II, III). In addition, their competitive exclusion on epithelial surfaces, prevention of biofilm formation, and modulation of the immune system to maintain barrier integrity provide unique clinical benefits. However, the strain-specific nature of the antagonistic effects obtained makes it difficult to

establish a standard treatment model. The fact that live microorganisms can lose viability under gastrointestinal or industrial stressors (low pH, heat, etc.) and the heat sensitivity of Class III bacteriocins are the main limitations for their applications. To overcome these obstacles and fully utilize the potential of *Lactobacillus* species, it is recommended to genetically characterize new strains using polyphasic approaches (16S rRNA and whole genome analyses). Furthermore, developing innovative formulations, such as microencapsulation and bioprotective coatings, to enable live probiotics to withstand stress conditions and establishing standard treatment protocols through strain-specific in vivo research are critical.

## REFERENCES

- [1] Tang, K. W. K., Millar, B. C., Moore, J. E., Antimicrobial resistance (AMR), *British Journal of Biomedical Science*, 80, 2023.
- [2] Terreni, M., Taccani, M., Pregnolato, M., New antibiotics for multidrug-resistant bacterial strains: Latest research developments and future perspectives, *Molecules*, 26, 9, 2021.
- [3] Field, D., Ross, R. P., Hill, C., Developing bacteriocins of lactic acid bacteria into next generation biopreservatives, *Current Opinion in Food Science*, 20, 2018.
- [4] Putri, D. A., Lei, J., Rossiana, N., Syaputri, Y., Biopreservation of food using bacteriocins from lactic acid bacteria: Classification, mechanisms, and commercial applications, *International Journal of Microbiology*, 2024.
- [5] Ayivi, R. D., Gyawali, R., Krastanov, A., Aljaloud, S. O., Worku, M., Tahergorabi, R., Silva, R. C. D., Ibrahim, S. A., Lactic acid bacteria: Food safety and human health applications, *Dairy*, 1, 3, 2020.
- [6] Dempsey, E., Corr, S. C., *Lactobacillus* spp. for gastrointestinal health: Current and future perspectives, *Frontiers in Immunology*, 13, 2022.
- [7] Husain, S., Allotey, J., Drymoussi, Z., Wilks, M., Fernandez-Felix, B. M., Whiley, A., Dodds, J., Thangaratinam, S., McCourt, C., Prosdociami, E. M., Wade, W. G., de Tejada, B. M., Zamora, J., Khan, K., Millar, M., Effects of oral probiotic supplements on vaginal microbiota during pregnancy: A randomised, double-blind, placebo-controlled trial with microbiome analysis, *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 127, 2, 2020.
- [8] Ibrahim, S. A., Ayivi, R. D., Zimmerman, T., Siddiqui, S. A., Altemimi, A. B., Fidan, H., Esatbeyoglu, T., Bakhshayesh, R. V., Lactic acid bacteria as antimicrobial agents: Food safety and microbial food spoilage prevention, *Foods*, 10, 12, 2021.
- [9] Bryukhanov, A. L., Klimko, A. I., Netrusov, A. I., Antioxidant properties of lactic acid bacteria, *Microbiology*, 91, 2022.
- [10] Aljohani, A., Al-Hejin, A., Shori, A. B., Bacteriocins as promising antimicrobial peptides, definition, classification, and their potential applications in cheeses, *Food Science and Technology*, 43, 2023.
- [11] Wiedemann, I., Breukink, E., van Kraaij, C., Kuipers, O. P., Bierbaum, G., de Kruijff, B., Sahl, H. G., Specific binding of nisin to the peptidoglycan precursor lipid II combines pore formation and inhibition of cell wall biosynthesis for potent antibiotic activity, *Journal of Biological Chemistry*, 276, 3, 2001.
- [12] Yi, Y., Li, P., Zhao, F., Zhang, T., Shan, Y., Wang, X., Liu, B., Chen, Y., Zhao, X., Lü, X., Current status and potentiality of class II bacteriocins from lactic acid bacteria:

Structure, mode of action and applications in the food industry, *Trends in Food Science & Technology*, 120, 2022.

[13] Bastos, M. C. F., Coutinho, B. G., Coelho, M. L. V., Lysostaphin: A staphylococcal bacteriolysin with potential clinical applications, *Pharmaceuticals*, 3, 4, 2010.

[14] Monteagudo-Mera, A., Rastall, R. A., Gibson, G. R., Charalampopoulos, D., Chatzifragkou, A., Adhesion mechanisms mediated by probiotics and prebiotics and their potential impact on human health, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103, 16, 2019.

[15] Salman, M. K., Abuqwider, J., Mauriello, G., Anti-quorum sensing activity of probiotics: The mechanism and role in food and gut health, *Microorganisms*, 11, 3, 2023.

[16] Zheng, J., Ahmad, A. A., Yang, Y., Liang, Z., Shen, W., Feng, M., Shen, J., Lan, X., Ding, X., Lactobacillus rhamnosus CY12 enhances intestinal barrier function by regulating tight junction protein expression, oxidative stress, and inflammation response in lipopolysaccharide-induced Caco-2 cells, *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 19, 2022.

[17] Li, J., Li, Q., Wu, Q., Gao, N., Wang, Z., Yang, Y., Shan, A., Exopolysaccharides of Lactobacillus rhamnosus GG ameliorate Salmonella typhimurium-induced intestinal inflammation via the TLR4/NF- $\kappa$ B/MAPK pathway, *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14, 2023.

## SAFRAN BİTKİSİ EKSTRAKTI İLE GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN SENTEZİ VE GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN ANTİMİKROBİYAL ETKİNLİĞİ

**Yüksek Lisans Öğrencisi, LADAN ALİZADEH**

İstanbul Nişantaşı Üniversitesi,  
20231547002@std.nisantasi.edu.tr - ORCID: 0009-0003-8662-231X

**Dr. Öğr. Üyesi, KAMİL SERKAN UZYOL**

İstanbul Nişantaşı Üniversitesi,  
kamilserkan.uzyol@nisantasi.edu.tr - ORCID: 0000-0001-6436-9083

### ÖZET

Safran (*Crocus sativus* L.), flavonoidler, karotenoidler ve fenolik bileşenler açısından zengin içeriğiyle güçlü antioksidan ve antiinflamatuvar özelliklere sahip önemli bir bitkidir ve yüzyıllardır hem geleneksel hem de modern tıpta kullanılmaktadır. Son yıllarda, zararlı kimyasal yöntemlere alternatif olarak geliştirilen çevre dostu “yeşil sentez” yaklaşımı, bitki bazlı ekstraktların indirgeme ve stabilizasyon ajanı olarak kullanılmasına dayanmaktadır. Bu yöntem, nanopartikül üretiminde sürdürülebilir ve ekonomik bir alternatif sunmaktadır. Boyutları 1–100 nm aralığında olan nanopartiküller, yüksek yüzey alanı ve reaktivite özellikleri sayesinde biyomedikal uygulamalarda geniş kullanım alanı bulmaktadır. Bu bağlamda, gümüş nanopartiküller (AgNP’ler), özellikle belirgin antimikrobiyal etkileri nedeniyle dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada, safran stigma ekstraktı kullanılarak gümüş nitrat ( $AgNO_3$ ) çözeltisi ile yeşil sentez yöntemiyle gümüş nanopartiküller elde edilmiştir. Ayrıca, doğrudan safran tozu ile gerçekleştirilen sentez, safran ekstraktı kullanılarak gerçekleştirilen sentez ve ultraviyole (UV) ışık altında gerçekleştirilen sentez yöntemleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen nanopartiküllerin antimikrobiyal etkinlikleri, disk difüzyon yöntemi kullanılarak *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterileri üzerinde değerlendirilmiştir.

Sonuçlar, safran ekstraktı aracılığıyla sentezlenen AgNP’lerin özellikle *Staphylococcus aureus* üzerinde en yüksek antimikrobiyal aktiviteyi gösterdiğini ve yaklaşık 3 mm çapında belirgin bir inhibisyon zonu oluşturduğunu ortaya koymuştur. Buna karşın, safran tozu ile sentezlenen ve UV yöntemi ile elde edilen nanopartiküllerde daha düşük düzeyde (yaklaşık 1 mm) inhibisyon gözlemlenmiştir. *Escherichia coli* üzerinde ise genel olarak daha sınırlı bir etki tespit edilmiş; ekstrakt aracılı nanopartiküllerin yalnızca kısmi inhibisyon sağladığı belirlenmiştir. Safranın tek başına kullanıldığı kontrol gruplarında ise anlamlı bir antimikrobiyal etki gözlemlenmemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Safran (*Crocus sativus* L.), Gümüş nanopartiküller, Yeşil sentez

## KARAYEMİŞ EKSTRAKTI İLE OLUŞTURULMUŞ GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN PLA FİLM MATRİSİ İLE BİRLEŞTİRİLEREK ANTİMİKROBİYAL ÖZELLİĞİNİN İNCELENMESİ

**Dr. Öğr. Üyesi, KAMİL SERKAN UZYOL**

İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, [kamilserkan.uzyol@nisantasi.edu.tr](mailto:kamilserkan.uzyol@nisantasi.edu.tr)

0000-0001-6436-9083

**Yüksek Lisans Öğrencisi, GÜLAY VARDARBAŞI**

İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, [20241547002@std.nisantasi.edu.tr](mailto:20241547002@std.nisantasi.edu.tr)

0009-0002-5496-2021

### ÖZET

Bu çalışmada, zengin fenolik ve flavonoid içeriği olan, ayrıca güçlü antioksidan kapasitesiyle yerel olarak bol bulunabilir olması özellikleriyle seçilmiş karayemiş bitkisi (*Prunus Laurocerasus*) ekstraktı kullanılarak gümüş nanopartiküllerin (AgNP) yeşil sentezi gerçekleştirilmiş ve elde edilen nanopartiküller biyobozunur bir polimer olan polilaktik asit (PLA) matrisi ile birleştirilerek antibakteriyel özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı çevre dostu yöntemler kullanılarak sentezlenen nanopartiküllerin antimikrobiyal etkinliklerinin değerlendirilmesidir.

DeneySEL süreçte bir karayemiş ekstraktı hazırlanmış ve gümüş nitrat çözeltisi ile belli oranlarda karıştırılarak yeşil sentez yöntemiyle gümüş nanopartiküller elde edilmiştir. Bunun yanı sıra karşılaştırma amacıyla ultraviyole (UV) ışık kullanılarak gümüş iyonlarının indirgenmesi ile alternatif bir nanopartikül sentezi gerçekleştirilmiştir. Bu nanopartiküller, hazırlanan polilaktik asit (PLA) matrisi içerisine katılarak nanokompozit filmler oluşturulmuştur.

Antimikrobiyal etkinlik testleri *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterileri üzerinde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; *Escherichia coli* üzerinde karayemiş ekstraktı ile sentezlenen gümüş nanopartiküller içeren PLA kompozit filmlerin UV yöntemi ile sentezlenen nanopartiküller içeren filmlere kıyasla daha yüksek antimikrobiyal etki gösterdiği gözlemlenirken, *Staphylococcus aureus* üzerinde karayemiş ile sentezlenen gümüş nanopartiküller içeren PLA kompozit filmlerin etkinliğinin daha az olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar nanopartikül sentez yöntemine bağlı olarak değişen partikül boyutu, yüzey özellikleri ve iyon salınım mekanizmaları ile ilişkilendirilebilirken ayrıca elde edilen PLA-AgNP kompozit filmlerinin farklı bakteri türlerine karşı değişken etkinlik göstermesini ve bu materyallerin hedefe yönelik antibakteriyel uygulamalarda kullanılma potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu çalışma, yeşil sentez yaklaşımı ile geliştirilen nanokompozitlerin biyomedikal ve endüstriyel alanlarda kullanım potansiyeline katkı sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Karayemiş (*Prunus laurocerasus*), Gümüş nanopartiküller, Yeşil sentez, Polilaktik asit (PLA), Antimikrobiyal aktivite, Nanokompozit film.

## **THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON INLAND WATER RESOURCES**

**Doç. Dr. Esra BAYÇELEBİ**

Recep Tayyip Erdogan University, Faculty of Fisheries and Aquatic Sciences, 53100, Rize  
esra.dogan@erdogan.edu.tr

**ORCID ID:** 0000-0001-6868-5091

### **ABSTRACT**

Climate change is a major global environmental issue whose impacts are becoming increasingly evident across natural systems. Among the most affected components are inland water resources. Rising temperatures, irregular precipitation patterns, and the increasing frequency of extreme weather events directly influence both the quantity and quality of inland water systems such as lakes, rivers, and groundwater. This study aims to analyze the effects of climate change on inland water resources through a systematic literature review. Within this scope, changes in the hydrological cycle, atmosphere–hydrosphere interactions, and transformations in water regimes are examined using a holistic approach. By reviewing recent scientific studies, this research identifies the short- and long-term impacts of climate change on inland water resources and discusses their implications for water resource management and sustainability policies. The findings are expected to contribute to the development of effective strategies for the protection and sustainable management of inland water resources.

**Key Words:** Climate change, inland water resources, water management, sustainability.

## **HAYVANSAL GIDALARDA YAĞ ASİDİ PROFİLİ, LİPİD PEROKSİDASYONU VE DOKUSAL HİSTOLOJİK DEĞİŞİKLİKLER**

**Prof. Dr. Serap KILIÇ ALTUN**  
Harran Üniversitesi, skilicaltun@harran.edu.tr  
ORCID ID: 0000-0002-4203-2508

**Doç. Dr. Nilgün PAKSOY**  
Harran Üniversitesi, nilgunpaksoy@harran.edu.tr  
ORCID ID: 0000-0001-6231-5524

**Doç. Dr. İsmail Şah HAREM**  
Harran Üniversitesi, harem@harran.edu.tr  
ORCID ID: 0000-0002-5947-4118

Hayvansal gıdalar, beslenmede temel enerji ve protein kaynağı olmasının yanı sıra, esansiyel yağ asitleri ve yağda çözünen vitaminler açısından da büyük öneme sahiptir. Hayvanların tükettiği besinler ve metabolik farklılıkları gıdaların biyokimyasal özelliklerini doğrudan etkiler. Özellikle yağ asidi profili, gıdanın besin değerini ve dolayısıyla sağlık üzerindeki etkisini belirler. Çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengin gıdalar, kardiyovasküler sağlık açısından faydalı olurken, doymuş ve okside olmuş yağların tüketimi olumsuz etkilere yol açabilir.

Lipid peroksidasyonu, hayvansal gıdalardaki lipitlerin serbest radikaller tarafından okside edilmesiyle başlar ve malondialdehit, hidroperoksitler gibi reaktif aldehytlerin oluşumuna neden olur. Bu süreç hem gıda kalitesini düşürür hem de tüketildiğinde organizmada oksidatif stresin artmasına sebep olur. Hayvan dokularında lipid peroksidasyonunun şiddeti, yaş, metabolik hız ve antioksidan kapasite ile doğrudan ilişkilidir. Selenyum ve vitamin E gibi antioksidan takviyeleri, gıdalardaki lipid peroksidasyonunu azaltarak hayvan sağlığını ve gıda kalitesini artırır.

Histolojik analizler, lipid peroksidasyonu ve oksidatif stresin dokusal yansımalarını gösterir. Kas dokusunda miyofibril yıkımı, sitoplazmik vakuolizasyon ve yağ infiltrasyonu, karaciğer dokusunda hepatositlerde yağ damlacıkları ve mikrovakuolizasyon tipik histolojik bulgulardır. Bu bulgular biyokimyasal verilerle birlikte değerlendirildiğinde, hayvan sağlığı ve gıda kalitesi hakkında objektif bilgiler sağlar. Ayrıca, hayvanın türü, genetik yapısı ve üretim koşulları, yağ asidi profili ve dokusal bütünlük üzerinde belirleyici rol oynar.

Sonuç olarak, hayvansal gıdaların biyokimyasal niteliği, lipid peroksidasyonu ve dokusal histolojik değişiklikler hem hayvan sağlığı hem de insan beslenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Antioksidan takviyeler ve uygun beslenme stratejileri, lipid stabilitesini koruyarak dokusal bütünlüğü sağlar ve gıdanın besin değerini artırır. Bu çalışma, hayvansal gıdalarda yağ asidi profili, lipid peroksidasyonu ve histolojik değişiklikler arasındaki ilişkilerin kapsamlı bir şekilde sunmayı amaçlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Hayvansal gıda, yağ asidi profili, lipid peroksidasyonu, oksidatif stres

## **FATTY ACID PROFILE, LIPID PEROXIDATION, AND HISTOLOGICAL ALTERATIONS IN ANIMAL-DERIVED FOODS**

### **ABSTRACT**

Animal-based foods are not only a primary source of energy and protein in the diet but also play a significant role in providing essential fatty acids and fat-soluble vitamins. The foods consumed by animals and their metabolic differences directly influence the biochemical properties of these foods. In particular, the fatty acid profile determines the nutritional value of the food and, consequently, its impact on health. Foods rich in polyunsaturated fatty acids are beneficial for cardiovascular health, while the consumption of saturated and oxidised fats can have adverse effects.

Lipid peroxidation begins with the oxidation of lipids in animal-based foods by free radicals, leading to the formation of reactive aldehydes such as malondialdehyde and hydroperoxides. This process both reduces food quality and causes increased oxidative stress in the body when consumed. The severity of lipid peroxidation in animal tissues is directly related to age, metabolic rate, and antioxidant capacity. Antioxidant supplements such as selenium and vitamin E improve animal health and food quality by reducing lipid peroxidation in foods.

Histological analyses reveal the tissue manifestations of lipid peroxidation and oxidative stress. In muscle tissue, typical histological findings include myofibril breakdown, cytoplasmic vacuolisation, and fat infiltration, while in liver tissue, they include fat droplets and microvacuolarisation in hepatocytes. When evaluated in conjunction with biochemical data, these findings provide objective information about animal health and food quality. Furthermore, the animal species, genetic makeup, and production conditions play a decisive role in the fatty acid profile and tissue integrity.

Consequently, the biochemical quality of animal foods, lipid peroxidation, and histological changes in tissues are critically important for both animal health and human nutrition. Antioxidant supplements and appropriate feeding strategies maintain lipid stability, ensure tissue integrity, and enhance the nutritional value of food. This study aims to comprehensively present the relationships between fatty acid profile, lipid peroxidation, and histological changes in animal-derived foods.

**Keywords:** Animal-derived food, fatty acid profile, lipid peroxidation, oxidative stress

### **1.GİRİŞ**

Hayvansal gıdalar, insan beslenmesinde temel enerji ve protein kaynağı olmasının yanı sıra, esansiyel yağ asitleri, doymamış yağlar ve lipofilik vitaminler açısından da kritik öneme sahiptir (Avcılar ve ark., 2023). Bu gıdaların biyokimyasal niteliği hem hayvanın rasyonuna

hem de metabolik durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterir (Geay ve ark., 2001). Özellikle yağ asidi profili, gıdanın besin kalitesini ve insan sağlığı üzerindeki etkisini doğrudan belirler. Örneğin, doymamış yağ asitleri (omega-3 ve omega-6) bakımından zengin et ve süt ürünleri, kardiyovasküler hastalık riskini azaltan biyolojik faydalar sunar (Simopoulos, 2008). Buna karşılık, doymuş yağ oranı yüksek ve oksidasyona uğramış ürünler hem besin değerini düşürür hem de insan sağlığını olumsuz etkileyebilir (Vieira ve ark., 2015).

Hayvansal gıdalarda lipidlerin oksidatif stabilitesi hem üretim hem de depolama süreçlerinde lipid peroksidasyonu ile belirlenir. Lipid peroksidasyonu, serbest radikallerin özellikle çoklu doymamış yağ asitlerine saldırması ile başlar ve malondialdehit (MDA), hidroperoksitler ve diğer reaktif aldehitlerin oluşumuna yol açar (German, 1999). Bu süreç hem gıda kalitesini bozarak tat, renk ve koku değişikliklerine neden olur hem de tüketildiğinde organizmada oksidatif stresin artmasına katkıda bulunur. Hayvan dokularında lipid peroksidasyonunun şiddeti, yaş, metabolik hız, antioksidan savunma kapasitesi ve beslenmede antioksidan vitaminler ile doğrudan ilişkilidir. Örneğin, selenyum ve vitamin E takviyeleri hem dokusal hem de gıdalardaki lipid peroksidasyonunu belirgin şekilde azaltabilir, bu da hem hayvan sağlığını hem de insan tüketimi için ürün kalitesini iyileştirir (Chauhan ve ark., 2014).

## 2. DOKUSAL HİSTOLOJİK DEĞİŞİKLİKLER

Dokusal histolojik değişiklikler, hayvansal gıdaların biyokimyasal ve lipid profili ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle kas dokusu, karaciğer ve böbrekler, lipid peroksidasyonu ve oksidatif stresin morfolojik göstergelerini sunar (Nishi ve ark., 2019). Lipid peroksidasyonu arttığında, kas liflerinde dejeneratif değişiklikler, miyofibril yıkımı, sitoplazmik vakuolizasyon ve yağ infiltrasyonu gözlemlenir. Kas lif tipi ve hayvan ırkının et kalitesi üzerindeki etkisi literatürde tartışmalı bir konudur. Bazı çalışmalar histolojik yapı ile duysal özellikler arasında doğrudan bir ilişki bulamazken (Cherian ve ark., 2013), diğerleri tip IIb kas liflerinin sayısı ile etin rengi ve olgunluğu arasında anlamlı ilişkiler ortaya koymuştur (Aouadi ve ark., 2014). Ayrıca büyüme promotörleri ve anabolik steroidlerin kas proteinlerinin birikimini hızlandırdığı, buna karşın yağ birikimini daha sınırlı etkilediği bildirilmektedir (Marušić Radovčić ve ark., 2019). Karaciğer dokusunda ise hepatositlerde yağ damlacıkları, mikrovakuolizasyon ve oksidatif hasarın histolojik işaretleri belirginleşir (Asghar ve ark., 2021). Bu morfolojik bulgular, biyokimyasal analizlerle birlikte değerlendirildiğinde hayvan sağlığının ve gıda kalitesinin objektif bir göstergesi olarak kullanılabilir. Örneğin, omega-3 bakımından zengin rasyonla beslenen hayvanların kas dokularında lipid peroksidasyonu düşük ve histolojik bütünlük korunmuşken, oksidatif strese maruz kalan hayvanlarda kas liflerinde belirgin yıkım ve inflamatuvar infiltrasyon görülür (Jannas-Vela ve ark., 2023).

Yağ asidi profili, sadece hayvanın beslenme programına değil, aynı zamanda genetik yapısına, üretim koşullarına ve kesim yaşına bağlı olarak da değişir (De Smet ve ark., 2004). Ruminantlarda rumen mikroflorasının yağ asitlerini hidrojenize etmesi, yağ profilini doymuş yağ lehine değiştirirken, monogastrik hayvanlarda diyetle alınan çoklu doymamış yağ asitleri daha doğrudan dokuya geçer (Doreau & Ferlay, 1994). Bu durum, insan beslenmesinde gıdanın

kalitesini belirleyen önemli bir parametre olarak öne çıkar. Ayrıca, depolama ve işleme koşulları da lipid peroksidasyonunu artırarak dokusal yapıyı bozabilir ve gıda güvenliğini tehdit edebilir (Dragoev, 2024). Bu nedenle, hayvansal gıdalarda lipid stabilitesi ve histolojik bütünlüğü korumak için antioksidan takviyeleri, uygun soğuk zincir yönetimi ve besin planlaması kritik öneme sahiptir.

### **3. LİPİD PEROKSİDASYONU SONUCU ETLERDE OLUŞAN DEĞİŞİMLER**

Lipid peroksidasyonu etin rengini önemli ölçüde etkiler. Taze ette bulunan parlak kırmızı oksimiyoglobin, oksidasyon sonucu kahverengi metmiyoglobine dönüşür (Shleikin ve ark., 2014; Tang ve ark., 2005) Bu dönüşüm tüketici algısı açısından kritik olup, ürünün tazeliği hakkında doğrudan bir gösterge olarak değerlendirilir. Aynı zamanda lipid oksidasyonu sonucu oluşan reaktif türler, miyoglobin oksidasyonunu hızlandırarak renk bozulmasını artırır (Wu ve ark., 2022). Etin tekstürel özellikleri de lipid peroksidasyonu ile değişime uğrar. Okside lipidler ile proteinler arasında meydana gelen reaksiyonlar, proteinlerin çapraz bağlanmasına ve polimerizasyonuna neden olur. Bu durum, proteinlerin çözünürlüğünü azaltır, enzimatik aktiviteleri baskılar ve etin sertleşmesine yol açarak ürünün genel kabul edilebilirliği düşer (Hes, 2017).

Besin değeri açısından bakıldığında, lipid peroksidasyonu vitaminlerin (özellikle A, E ve C) oksidasyonuna neden olurken, aynı zamanda proteinlerin fonksiyonel özelliklerini de bozar (Choe & Min, 2005). Ayrıca bu süreçte oluşan toksik bileşikler, gıdanın güvenliğini tehdit eder. Bu nedenle lipid oksidasyonu, et ürünlerinin raf ömrünü belirleyen en önemli faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Lipid peroksidasyonunun etkileri yalnızca gıda kalitesi ile sınırlı değildir; aynı zamanda insan sağlığı üzerinde de önemli sonuçlar doğurabilir. Oksidatif stres, serbest radikallerin artışı ve antioksidan savunma sistemlerinin yetersizliği sonucu ortaya çıkan bir durumdur ve birçok hastalığın temelinde yer almaktadır (Choe & Min, 2005; Huang & Ahn, 2019). Lipid peroksidasyonu sonucu oluşan reaktif karbonil bileşikler, bu stresin önemli göstergeleri olarak kabul edilir (Altomare ve ark., 2021).

### **4. SONUÇ**

Sonuç olarak, hayvansal gıdaların biyokimyasal kalitesi, özellikle yağ asidi profili ve lipid peroksidasyonu hem hayvan sağlığı hem de insan beslenmesi açısından temel belirleyicilerdir. Lipid peroksidasyonu, dokusal histolojik değişikliklerle doğrudan ilişkili olup, oksidatif stresin morfolojik göstergeleri olarak değerlendirilebilir. Antioksidan vitaminler ve eser element takviyeleri, bu süreci kontrol altına almakta ve hem doku bütünlüğünü hem de gıda kalitesini korumaktadır. Bu derleme, hayvansal gıdalardaki yağ asidi profili, lipid peroksidasyonu ve dokusal histolojik değişiklikler arasındaki ilişkilerin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlayarak, veteriner biyokimya ve histoloji perspektifinden hayvan sağlığı ve gıda güvenliğini literatürüne katkı sunmayı amaçlamaktadır.

## KAYNAKÇA

Altomare, A., Baron, G., Gianazza, E., Banfi, C., Carini, M., & Aldini, G. (2021). Lipid peroxidation derived reactive carbonyl species in free and conjugated forms as an index of lipid peroxidation: limits and perspectives. *Redox biology*, 42, 101899.

Aouadi, D., Luciano, G., Vasta, V., Nasri, S., Brogna, D. M., Abidi, S., ... & Salem, H. B. (2014). The antioxidant status and oxidative stability of muscle from lambs receiving oral administration of *Artemisia herba alba* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *Meat Science*, 97(2), 237-243.

Asghar, A., Akhtar, T., Batool, T., Khawar, M. B., Nadeem, S., Mehmood, R., & Sheikh, N. (2021). High-fat diet-induced splenic, hepatic, and skeletal muscle architecture damage: cellular and molecular players. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 476(10), 3671-3679.

Avcılar, Ö. V. (Ed.). (2023). *Hayvansal Besinler ve Sağlık*. Efe Akademi Yayınları.

Chauhan, S. S., Celi, P., Ponnampalam, E. N., Leury, B. J., Liu, F., & Dunshea, F. R. (2014). Antioxidant dynamics in the live animal and implications for ruminant health and product (meat/milk) quality: role of vitamin E and selenium. *Animal Production Science*, 54(10), 1525-1536.

Cherian, G., Orr, A., Burke, I. C., & Pan, W. (2013). Feeding *Artemisia annua* alters digesta pH and muscle lipid oxidation products in broiler chickens. *Poultry science*, 92(4), 1085-1090.

Choe, E., & Min, D. B. (2005). Chemistry and reactions of reactive oxygen species in foods. *Journal of food science*, 70(9), R142-R159.

De Smet, S., Raes, K., & Demeyer, D. (2004). Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. *Animal Research*, 53(2), 81-98.

Doreau, M., & Ferlay, A. (1994). Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 45(3-4), 379-396.

Dragoev, S. G. (2024). Lipid peroxidation in muscle foods: Impact on quality, safety and human health. *Foods*, 13(5), 797.

Geay, Y., Bauchart, D., Hocquette, J. F., & Culioli, J. (2001). Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. *Reproduction Nutrition Development*, 41(1), 1-26.

German, J. B. (1999). Food processing and lipid oxidation. Impact of processing on food safety, 23-50.

- Hes, M. (2017). Protein-lipid interactions in different meat systems in the presence of natural antioxidants—a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 67(1).
- Huang, X., & Ahn, D. U. (2019). Lipid oxidation and its implications to meat quality and human health. *Food science and biotechnology*, 28(5), 1275-1285.
- Jannas-Vela, S., Espinosa, A., Candia, A. A., Flores-Opazo, M., Peñailillo, L., & Valenzuela, R. (2023). The role of omega-3 polyunsaturated fatty acids and their lipid mediators on skeletal muscle regeneration: a narrative review. *Nutrients*, 15(4), 871.
- Marušić Radovčić, N., Poljanec, I., Vidinski, P., Novina, K., & Medić, H. (2019). Influence of different pig genotype on aroma, colour and fatty acid composition of smoked dry-cured ham. *Meso: prvi hrvatski časopis o mesu*, 21(6.), 548-561.
- Nishi, H., Higashihara, T., & Inagi, R. (2019). Lipotoxicity in kidney, heart, and skeletal muscle dysfunction. *Nutrients*, 11(7), 1664.
- Shleikin, A. G., & Medvedev, Y. V. (2014). Role of peroxidation and heme catalysis in coloration of raw meat. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 13(2), 123-127.
- Simopoulos, A. P. (2008). The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Experimental biology and medicine*, 233(6), 674-688.
- Tang, J., Faustman, C., Hoagland, T. A., Mancini, R. A., Seyfert, M., & Hunt, M. C. (2005). Interactions between mitochondrial lipid oxidation and oxymyoglobin oxidation and the effects of vitamin E. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(15), 6073-6079.
- Wu, H., Richards, M. P., & Undeland, I. (2022). Lipid oxidation and antioxidant delivery systems in muscle food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(2), 1275-1299.
- Vieira, S. A., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2015). Challenges of utilizing healthy fats in foods. *Advances in Nutrition*, 6(3), 309S-317S.

## **HAYVANSAL GIDALARDA PROTEİN DENATÜRASYONU VE HİSTOLOJİK DEĞİŞİKLİKLER**

**Prof. Dr. Serap KILIÇ ALTUN**  
Harran Üniversitesi, skilicaltun@harran.edu.tr  
ORCID ID: 0000-0002-4203-2508

**Doç. Dr. İsmail Şah HAREM**  
Harran Üniversitesi, harem@harran.edu.tr  
ORCID ID: 0000-0002-5947-4118

**Doç. Dr. Nilgün PAKSOY**  
Harran Üniversitesi, nilgunpaksoy@harran.edu.tr  
ORCID ID: 0000-0001-6231-5524

### **ÖZET**

Hayvansal gıdaların biyokimyasal kalitesi ve dokusal bütünlüğü, protein yapısının korunmasına bağlıdır. İşleme, pişirme ve depolama sırasında proteinler, denatüre olabilir ki bu da amino asit diziliminin bozulması, su bağlama kapasitesinin azalması ve dokusal yapının değişmesine yol açar. Protein denatürasyonu, et ve et ürünlerinde kas dokusunda liflerin sertleşmesi, gevşek bağ dokusu yapısı ve hücrel organizasyonun bozulması gibi histolojik değişikliklerle birlikte görülür. Bu değişiklikler hem gıda kalitesini hem de gıdanın besin değerini etkiler. Bu çalışmada, hayvansal gıdalarda protein denatürasyonunun biyokimyasal değişimleri, histolojik etkileri ve gıda işleme koşullarının etkileri ele alınmıştır. Ayrıca protein denatürasyonunun ölçümü için kullanılan biyokimyasal ve histolojik analiz yöntemleri tartışılmıştır. Sonuç olarak, protein yapısının korunması hem besin değerinin hem de tüketici kabulünün artırılmasında kritik bir rol oynar.

**Anahtar kelimeler:** Hayvansal gıda, protein denatürasyonu, histolojik değişiklikler, biyokimya

### **PROTEIN DENATURATION AND HISTOLOGICAL CHANGES IN ANIMAL-DERIVED FOODS**

#### **ABSTRACT**

The biochemical quality and textural integrity of animal-derived foods depend on the preservation of protein structure. During processing, cooking, and storage, proteins can denature, leading to disruption of the amino acid sequence, decreased water-binding capacity, and altered textural structure. Protein denaturation in meat and meat products is accompanied by histological changes such as stiffening of muscle fibers, loose connective tissue structure, and disruption of cellular organization. These changes affect both food quality and nutritional value. This study examines the biochemical changes, histological effects, and the impact of food processing conditions on protein denaturation in animal-derived foods. Furthermore, biochemical and histological analysis methods used to measure protein denaturation are discussed. In conclusion, preserving protein structure plays a critical role in improving both nutritional value and consumer acceptance.

**Keywords:** Animal-derived foods, protein denaturation, histological changes, biochemistry, muscle tissue

## 1. GİRİŞ

Hayvansal gıdaların kalitesi ve besin değeri, büyük ölçüde proteinlerin yapısal bütünlüğüne bağlıdır. Et ve et ürünleri, süt ve süt ürünleri gibi protein açısından zengin gıdaların protein kalitesi işlem ve depolama koşullarına duyarlıdır (Borad ve ark., 2017; Amit ve ark., 2017). Protein oksidasyonu, reaktif oksijen türleri ile doğrudan reaksiyonlar veya oksidatif stresin ikincil yan ürünleriyle dolaylı reaksiyonlar sonucu oluşan proteinin kovalent modifikasyonu olarak tanımlanır. Bu süreç sırasında, hidrojen bağları, iyonik bağlar ve disülfid köprüleri parçalanır, hidrofobik bölgeler açığa çıkar ve protein molekülü çökmeye veya agregasyon göstermeye başlar. Denatürasyon, yalnızca proteinin yapısal özelliklerini değil, aynı zamanda çözünürlüğünü, jel oluşturma kapasitesini, su tutma yeteneğini ve tekstürel özelliklerini de etkiler (Zhang ve ark., 2013).

## 2. HAYVANSAL GIDALARDA PROTEİN MODİFİKASYONLARI

Süt ve süt ürünlerinde işleme koşullarına bağlı olarak süt proteinlerinin yapısı çeşitli şekillerde değişebilir. İşleme sırasında meydana gelen başlıca protein modifikasyonları, proteinin denatürasyonu ve agregasyonu ile amino asitlerinin kimyasal modifikasyonlarıdır. Bu işleme bağlı protein modifikasyonları, sindirimi ve bu proteinlerin tüketiminin genel fizyolojik etkisini değiştirebilir. Isıl işlem uygulamanın proteinler üzerindeki etkisinin en çok incelenen fizyolojik sonuçları sindirilebilirlik ve biyoyararlanımdır (van Lieshout ve ark., 2020).

Kas dokusunda postmortem muayenede protein oksidasyonunun et kalitesi için önemli bir etken olduğu ve depolama sırasında kasın antioksidan savunma sistemini koruma yeteneği azaldığı için reaktif oksijen ve azot türlerinin birikiminin artmasına yol açtığı bilinmektedir (Renerre ve ark.,1996). Reaktif oksijen ve azot türleri, protein yapısını ve enzim aktivitesini değiştirerek, protein oksidasyon seviyelerinin artmasına neden olabilmektedir. Bu değişiklikler, kasın ete dönüşümünü düzenlemede ve dolayısıyla et kalitesini kontrol etmede rol oynamaktadır (Zhang ve ark., 2013). Ek olarak, protein oksidasyonunun neden olduğu değişiklikler, amino asit kalıntılarının biyoyararlanımını azaltabilir ve proteinlerin sindirilebilirliğini değiştirebilir; bu da et proteinlerinin besin değerlerini olumsuz etkiler (Lund ve ark., 2011).

Protein denatürasyonunun başlıca tetikleyicileri arasında ısı, mekanik stres, pH değişiklikleri, tuz ve enzimatik faaliyetler bulunur (Xiong, 1997). Örneğin, yüksek sıcaklık uygulamaları etlerde miyofibrillerin büzülmesine ve sarkomer uzunluğunun kışalmasına yol açarken, düşük pH koşulları (örneğin, et işleme sırasında asitle marinasyon) protein yük dağılımını değiştirerek çözünürlüğü azaltır ve kas dokusunda su kaybını artırır (Tornberg, 1996). Tuz ve fosfatlar ise iyonik ortamı değiştirerek proteinlerin jel oluşturma ve su tutma yeteneklerini modüle eder, bu sebeple işlenmiş et ürünlerinde bu katkı maddeleri kritik öneme sahiptir (Asghar ve ark., 1985).

### **3. YAPISAL BOZULMANIN HİSTOLOJİK VE BİYOKİMYASAL DEĞERLENDİRMESİ**

Histolojik açıdan, protein denatürasyonu kas liflerinde belirgin morfolojik değişikliklerle kendini gösterir. Miyofibrillerin paralel dizilimi bozulur, Z çizgileri kaybolur ve sarkoplazmik retikulumda vakuolizasyon gözlenir. İnterstisyel boşluklar artar, bağ dokusu yapısı gevşer ve kas lifleri arasındaki sinerjik bağlantılar zayıflar (Jung ve ark., 2010). Bu değişiklikler, etin tekstürünü, sertliğini ve su tutma kapasitesini doğrudan etkiler. Benzer şekilde, süt ve süt ürünlerinde ısı ile muamele edildiğinde whey proteinleri ve kazein kompleksleri agregasyon gösterir ki bu da protein ağlarının yoğunlaşması ve gözenekli yapının azalması ile sonuçlanır (Lu ve ark., 2015; Mc Cormick, 1994).

Protein denatürasyonu, hayvansal gıdaların biyokimyasal ve duyuşsal özellikleri üzerinde etkili olur. Örneğin, Maillard reaksiyonları ve protein-lipid etkileşimleri, amino asitlerin ve şekerlerin sıcaklık ve pH etkisi altında renk değişimleri, aroma oluşumu ve besin değerindeki kayıplarla sonuçlanır (Altun ve ark., 2024). Özellikle lizin ve triptofan gibi esansiyel amino asitler yüksek sıcaklık ve oksidatif stres altında kolayca modifiye olur, bu da gıdanın protein kalitesini düşürür (Yuan ve ark., 2014).

Biyokimyasal analizler, protein denatürasyonunun ölçümünde kritik öneme sahiptir. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), dairesel dikroizm (CD) ve diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC) gibi spektroskopik ve termal yöntemler, proteinin ikincil ve üçüncül yapı değişikliklerini nicel olarak ortaya koyar (Menéndez ve ark., 1995). Protein çözünürlüğü ve jel formasyon testleri, denatürasyonun fonksiyonel etkilerini değerlendirirken, amino asit analizi ve HPLC, esansiyel amino asit kaybını belirlemek için kullanılır (Xiong, 1997). Histolojik analizler ise hematoksilen-eozin gibi boyama yöntemleri ile kas liflerinin morfolojik durumunu ve bağ dokusunun yoğunluğunu gösterir (Altun ve ark., 2015).

Hayvansal gıdalarda protein denatürasyonu yalnızca kaliteyi değil, aynı zamanda gıda güvenliği ve tüketici kabulünü de etkiler. Özellikle işlenmiş et ürünlerinde aşırı denatürasyon, etlerin sertleşmesine sebep olduğu için tüketici tarafından olumsuz algılanır. Süt ürünlerinde ise protein agregasyonu, peynir ve yoğurt gibi fermente ürünlerin tekstür ve viskozitesini değiştirir (Delikanlı & Özcan, 2017). Bu nedenle, işleme ve depolama koşullarının optimize edilmesi, protein yapısının korunması ve histolojik bütünlüğün sağlanması açısından önemlidir.

### **4. SONUÇ**

Sonuç olarak, hayvansal gıdalarda protein denatürasyonu hem biyokimyasal hem de histolojik düzeyde kaliteyi belirleyen kritik bir süreçtir. Protein yapısının korunması, besin değeri, tekstür ve tüketici kabulü açısından hayati öneme sahiptir. Gelecekteki araştırmalar, farklı işleme yöntemlerinin protein stabilitesi ve histolojik bütünlük üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemeli ve yeni analiz teknikleri geliştirilmelidir.

## **KAYNAKÇA**

Altun, S. K., Aydemir, M. E., Takım, K., Yilmaz, M. A., & Yalcin, H. (2024). Inhibition of Nε-(carboxymethyl) lysine and Nε-(carboxyethyl) lysine formation in air-fried beef tenderloins marinated with concentrated cranberry juice. *Food Bioscience*, 60, 104336.

Altun, S. K., Temur, A., & Harem, İ. Ş. (2015). Erzurum ilinde satışı sunulan fermente sucuk ve sosislerin histolojik muayenesi. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 4(2), 73-79.

Amit, S. K., Uddin, M. M., Rahman, R., Islam, S. R., & Khan, M. S. (2017). A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agriculture & food security*, 6(1), 51.

Asghar, A., Samejima, K., Yasui, T., & Henrickson, R. L. (1985). Functionality of muscle proteins in gelation mechanisms of structured meat products. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 22(1), 27-106.

Borad, S. G., Kumar, A., & Singh, A. K. (2017). Effect of processing on nutritive values of milk protein. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(17), 3690-3702.

Delikanli, B., & Ozcan, T. (2017). Improving the textural properties of yogurt fortified with milk proteins. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), e13101.

Lund, M. N., Heinonen, M., Baron, C. P., & Estévez, M. (2011). Protein oxidation in muscle foods: A review. *Molecular nutrition & food research*, 55(1), 83-95.

Mc Cormick, R. J. (1994). Structure and properties of tissues. In *Muscle Foods: Meat Poultry and Seafood Technology* (pp. 25-62). Boston, MA: Springer US.

Menéndez, M., Gasset, M., Laynez, J., López-Zumel, C., Usobiaga, P., Töpfer-Petersen, E., & Calvete, J. J. (1995). Analysis of the Structural Organization and Thermal Stability of two Spermadhesins: Calorimetric, Circular Dichroic and Fourier-Transform Infrared Spectroscopic Studies. *European journal of biochemistry*, 234(3), 887-896.

Tornberg, E. (1996). Biophysical aspects of meat tenderness. *Meat science*, 43, 175-191.

van Lieshout, G. A., Lambers, T. T., Bragt, M. C., & Hettinga, K. A. (2020). How processing may affect milk protein digestion and overall physiological outcomes: A systematic review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(14), 2422-2445.

Xiong, Y. L. (1997). Protein denaturation and functionality losses. In *Quality in frozen food* (pp. 111-140). Boston, MA: Springer US.

Zhang, W., Xiao, S., & Ahn, D. U. (2013). Protein oxidation: basic principles and implications for meat quality. *Critical reviews in food science and nutrition*, 53(11), 1191-1201.

## **FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE KİRLENME NEDENİYLE VERİM AZALMASI VE TEKNOLOJİK ÇÖZÜMLER**

**Hasan Kaan KÜÇÜKERDEM**

Iğdır Üniversitesi e-mail: kaan.kucukerdem@igdir.edu.tr- ORCID ID: 0000-0002-1593-4725

**Hasan Hüseyin ÖZTÜRK**

Çukurova Üniversitesi e-mail: hhozturk@cu.edu.tr- ORCID ID: 0000-0001-6904-5539

### **ÖZET**

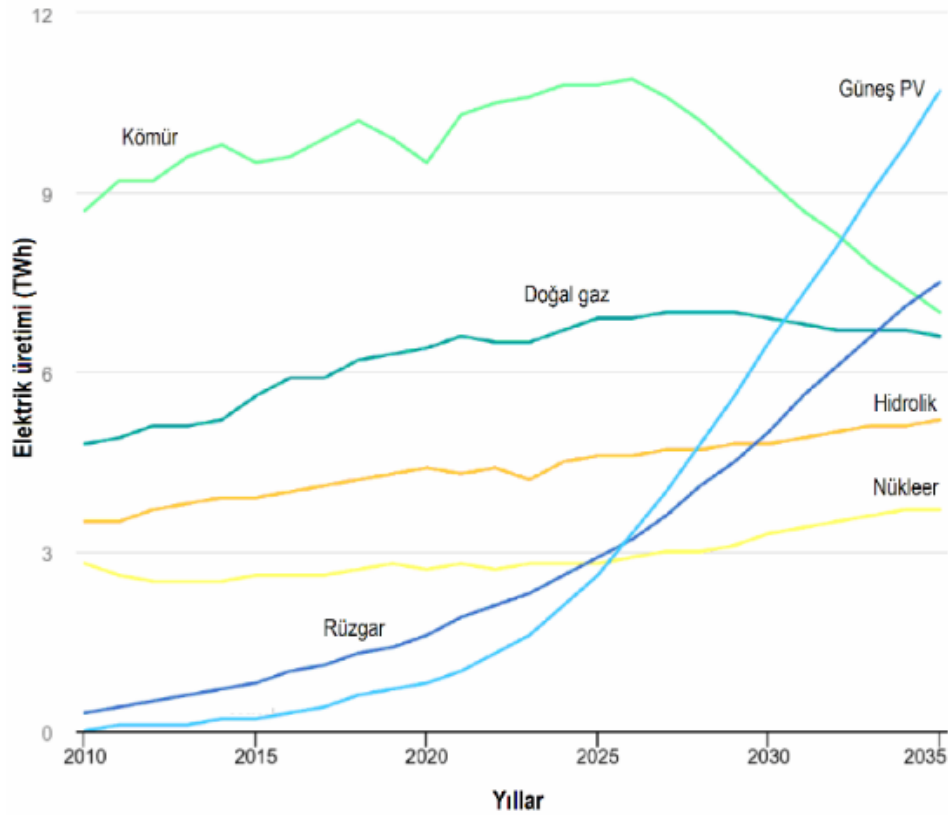
Güneş enerjisinden elektrik üretmek amacıyla kullanılan fotovoltaik (PV) modüllerin verimini etkileyen işletimsel faktörlerin olumsuzluklarının azaltılması, PV dönüşüm verimliliğini artırarak, aynı gelen ışınım şiddetinde aynı hücrenin aktif yüzey alanından daha fazla güç üretme olasılığı nedeniyle ekonomik öneme sahiptir. Bu nedenle, PV sistemin kullanımında, modüllerin kirlenmesine özel önem verilmesi gerekir. Gölgeleme, PV sistemin enerji üretimini ve buna bağlı olarak kazançları önemli ölçüde sınırlayan ve sistemin geri ödeme süresini uzatan önemli bir sorundur. Tasarım aşamasında, potansiyel gölgeleme kaynaklarını belirlemek çok önemlidir. PV modüller, çeşitli kirlenmelerin birikmesi de dahil olmak üzere, günlük atmosferik faktörlere maruz kalır. Kısa bir kullanım süresinden sonra bile, doğal olarak biriken kirlenme tabakası, güneş ışınımını elektriğe dönüştürme veriminin azalmasına neden olur. Kirlilik nedeniyle gün içindeki enerji kayıpları, kirlilik derecesine bağlı olarak %2,8 ile %50 arasında değişmektedir. Temizleme, belirli aralıklarla veya PV modüllerin temizlik durumunun değerlendirilmesine bağlı olarak gerçekleştirilebilir. Büyük PV tesisler için robotik temizleme sistemleri kullanılabilir. Ancak çoğu sistem tasarımının bu tür bir temizleme sisteminin hareketini karşılayacak şekilde tasarlanması gerekir. Bu bildiride, PV sistemlerde kirlenme nedeniyle verim azalması ve kirlenmenin önlenmesi için kullanılan yöntemler incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik (PV) sistemler, Verim azalması, Kirlenme, Temizleme

### **1. GİRİŞ**

Güneş enerjisinden elektrik üretimi, son yıllarda kurulu kapasitesi sürekli artarak, küresel olarak yaygınlaşmaktadır (Görsel 1). Bu büyüme, esas olarak çeşitli fotovoltaik (PV) teknolojilerin maliyetinin azalması ve sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılmasına verilen önemin artmasıyla desteklenmiştir. Yenilenebilir enerji kullanımının teşvikine yönelik ulusal ve uluslararası girişimler de, özellikle Türkiye gibi güneş enerjisi açısından zengin ülkelerde,

temiz enerjiye yönelik artan talebi karşılamak için büyük ölçekli güneş enerjisi projelerinin hayata geçirildiği genişlemede kilit rol oynamıştır.



**Görsel 1. Açıklanan Politika Senaryosunda Küresel Elektrik Üretimi (TWh) (IEA, 2025)**

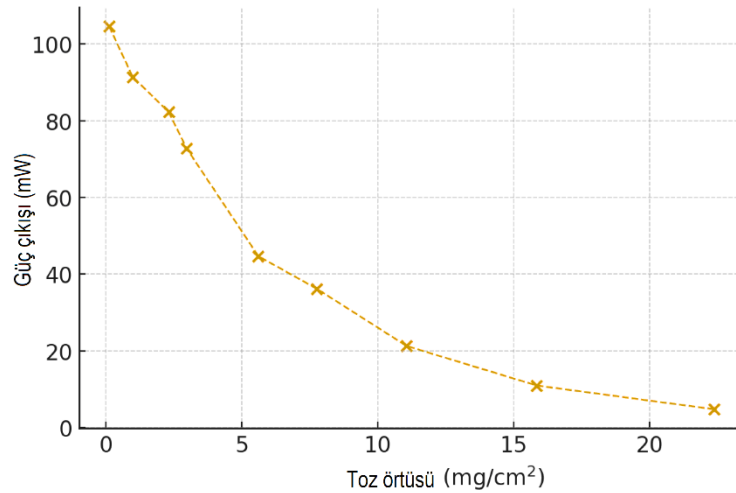
PV modüllerin üzerinde toz birikmesi nedeniyle, güneş sistemlerinin verimliliği ve sürdürülebilirliğiyle ilgili zorluklar, PV sistemlerin performansını etkileyen başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Bu sorun, havada taşınan tozun modül yüzeylerine yerleşebileceği ve böylece enerji üretimini önemli ölçüde azaltabileceği çöl ve yarı kurak ortamlarda daha da önemlidir. Bu konu, PV tesis performansını artırmak isteyen araştırmacılar için odak noktası olmaya başlamıştır. Güncel araştırmalar, bu sorunun çeşitli boyutlarını değerlendirmektedir. Bunlar arasında, toz bileşiminin ve birikiminin panel verimliliği üzerindeki etkisi (Fatime ve Ark., 2024), otonom temizleme yöntemleri (Ding, 2022) ve PV sistemleri öngörücü bakımı yer almaktadır. Araştırmalarda, yerinde deneysel çalışmalardan öngörücü sayısal simülasyonlara kadar önemli bir yelpazede bu konuya yaklaşmaya çalışılmıştır. Toz birikiminin, çevresel koşullara ve maruz kalma süresine bağlı olarak PV modüllerin performansını %30 oranına kadar azalttığı bulunmuştur (Kazem, 2023).

Kirliliğin boyutu ve ortaya çıkan temizleme rejimi, yerel kirlilik kaynaklarına bağlıdır. Çoğu kullanıcı, temizliği sınırlandırır ve PV modülleri temiz tutmak için yağmura güvenir. Şiddetli yağmur tatmin edici temizleme sonuçları sağlarken, hafif yağmurlar çok daha az etkili temizlik sağlar ve toz su damlacıklarına yapışırsa kirliliği artırabilir. Bununla birlikte, özel koşullar altında, kirliliğin kaynağına ve niteliğine bağlı olarak, temizlik programlı olarak yapılmalıdır. PV sistemin kullanımında, kullanıcının PV modüllerin gölgelerden ve kirlerden

arındırılmış olduğundan emin olması gerekir. Bu olumsuzlukların önlenmesi için, otonom temizleme sistemlerinin elektrostatik kuvvetlere dayalı kullanımı veya toz etkisini gerçek zamanlı olarak izleyebilen sensörlerin entegrasyonu gibi çeşitli yeni çözümler önerilmiştir (Heo, 2024). Bu nedenle, bu bildiride, PV sistemlerin kirlenme nedeniyle verim azalması konusunda yapılmış araştırmaların bulgularını incelemek ve bu konudaki teknolojik gelişmelerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. TOZ BİRİKİMİNİN FOTOVOLTAİK MODÜL PERFORMANSINA ETKİLERİ

Fotovoltaik (PV) modül yüzeylerinde toz birikmesi verimliliklerini etkiler. Çalışmalar, toz birikiminin PV hücrelere gelen güneş ışınımını azalttığını ve bunun da enerji üretiminde azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Genel olarak, ortamdaki toz, verimlilikte yaklaşık %20 oranında bir azalmaya neden olur (Babalola ve Ark., 2024). Ayrıca, PV modül yüzeylerindeki toz birikiminin yoğunluğu ile güç çıkışı kaybı arasında açık bir ilişki vardır. Ek olarak, toz bileşimi de eşit derecede önemlidir. Özellikle daha ince ve dolayısıyla daha yapışkan parçacıklara sahip kar yağışında, enerji üretim kapasitesinde uzun süreli bir sınırlama olur. Düşük rüzgar hızları veya kısmen yüksek nem gibi iklim koşullarının toz yapışmasını desteklediği belirtilmiştir (Ding, 2022). Yoğun toz birikiminin güç çıkışı üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılmıştır laboratuvar araştırmaları yapılmıştır (Görsel 2). Güç çıkışı modül tozla kaplandıkça üstel olarak azaldığı Görsel 2’den görülebilir. Bu durumun nedeni, yüzey kirlenmesi nedeniyle PV modüle ulaşan ışınımın önemli düzeylerde azalmasıdır.



**Görsel 2. Laboratuvar Ölçekli Bir Fotovoltaik (PV) Modülde Toz Örtüsüne Karşı Güç Çıkışının Azalması (Abdessadak ve Ark., 2025)**

### 2.1. Fotovoltaik Modül Yüzey Kirliliği Ve Hücre Verimliliği

Fotovoltaik (PV) modüller, kirleticilerin birikmesi de dahil olmak üzere, günlük atmosferik faktörlere maruz kalır. Kısa bir kullanım süresinden sonra bile, doğal olarak biriken kir tabakası, güneş ışınımını elektrige dönüştürme veriminin azalmasına neden olur. Kirlilik nedeniyle gün içindeki enerji kayıpları, kirlilik derecesine bağlı olarak %2,8 ile %50 arasında değişmektedir (Said ve Ark., 2024).

PV modülün ön kapağının geçirgenliğindeki azalma derecesi, %60'ın üzerine bile ulaşabilen bir oranda, modülün eğim açısıyla yakından ilişkilidir. Eğim açısı ne kadar büyükse,

kirleticilerin modül yüzeyinde birikmesi o kadar yavaş olur (Rudnicka ve Klugmann-Radziemska, 2021).

PV modül üreticilerinin ürünlerinin atmosferik koşulların etkisi altında kendi kendini temizlediğine dair iddialarına rağmen, dünya genelinde çeşitli araştırma ekipleri tarafından çeşitli iklim koşullarında yapılan araştırmalara dayanarak, modüllerin ön yüzeyinin düzenli olarak kendi kendini temizlemesinin, yüzeylerinde kirleticilerin birikmesinden kaynaklanan bu cihazların verimindeki azalmayı önleyebileceği söylenebilir. PV tesisin yüzeyinde kirleticilerin birikmesi, dış cam tabakasının geçirgenlik katsayısında azalmaya neden olur. Bu durum, PV hücrelere ulaşan güneş ışınımı miktarının azalmasına neden olur.

Kir birikiminin ilk aşaması, şeffaflıkta doğrusal azalmaya neden olan birikimdir; ikinci aşama ise moleküllerin kümelenmesi ve belirli parçacıkların mevcut kirletici tabakasının üzerine çökmesidir. Costa ve Ark. (2016), PV sistemlerin verimini etkileyen ana faktörlerden biri olarak iklim koşullarının (sıcaklık ve nem) ve ışınım şiddetinin etkisini ve PV modül yüzeylerinin kirlenmesini incelemişlerdir. Havada yüksek konsantrasyonlarda asılı partikül madde, yoğun toz fırtınaları ve sınırlı su mevcudiyetinin gözlemlendiği Kuzey Afrika, Orta Doğu, Hindistan, Çin'in çöl bölgeleri, Avustralya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi güneş enerjisi açısından zengin bölgelerde modül kirlenmesi sorunlarının çözülmesinin artan önemine dikkate çekmişlerdir.

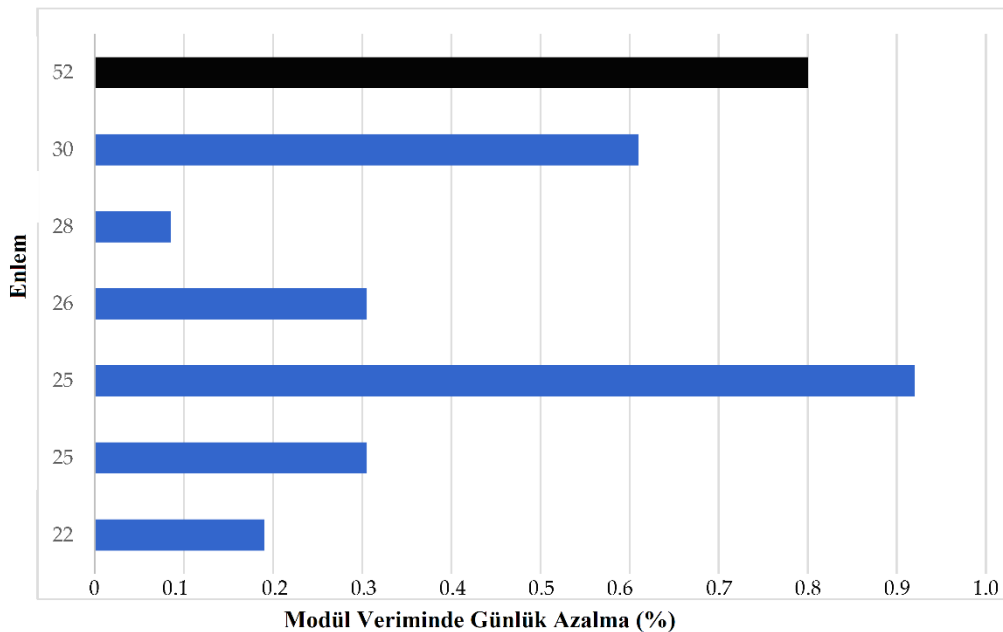
Belirlenen değişkenlerdeki kayıplar, esas olarak çeşitli faktörlere bağlı olan toz birikim yoğunluğuna bağlıdır. PV modülün yüzeyinde  $20 \text{ g/m}^2$  yoğunluğunda toz birikmesi, kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve verimi sırasıyla, %15–21, %2–6 ve %15–35 oranlarında azaltır (Zaihidee ve Ark., 2016). Meral ve Ark. (2011) ortalama yıllık azalma faktörünün %93 olduğunu, diğer bir deyişle %7 oranında güç kaybı olduğunu bildirmişlerdir. Saidan ve Ark. (2016) tarafından yapılan araştırmanın deneysel sonuçlarına göre, çöl bölgelerinde tozun, PV modüllerin tozlu bir ortama maruz kalma süresine bağlı olarak, maksimum akımı %6,9 ile %16,4 arasında önemli ölçüde azalttığı bildirilmektedir.

Endonezya'da yağmurlu mevsimde yapılan çalışmalar (Ramli ve Ark., 2016), sadece iki haftalık toz birikiminin, ortalama %52,24 bağlı nemde PV tesisin çıkış gücünde %10,8 oranında azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Bu durum, yüksek hava kirliliğine sahip bölgelerdeki tipik meteorolojik koşulların, yağmurlu mevsimde ve önemli bulut örtüsüyle birlikte, PV tesislerin verimliliğinde önemli bir azalmaya neden olabileceği anlamına gelir.

Klugmann-Radziemska (2015), Polonya'nın Gdansk şehrine kurulmuş ve İki yıldır elle temizlenmemiş olan PV modüllerde biriken kirleticileri incelemiştir. Kirleticilerin bu kadar uzun bir süre temizlenmemesi, kirleticilerin yoğunlaşmasına ve doğal süreçler yoluyla modül yüzeyine giderek daha güçlü bir şekilde yapışmasına neden olur.  $37^\circ$  sabit bir modül eğim açısında, modüller yüzeyinde toz birikimine ve yağış ve rüzgarla kirleticilerin sınırlı düzeyde uzaklaştırılmasına maruz kalmıştır.  $0,8 \mu\text{m}$  kalınlığındaki kir tabakası, yaklaşık %3 oranında verim kaybına neden olmuştur. Bu oran kirlenmemiş bir modül veriminin yaklaşık %20'sine karşılık gelmektedir. Modül düzenli olarak temizlenirse, önemli ölçüde daha iyi bir durum ortaya çıkacaktır. Biriken toz tabakası daha az yoğun olacak ve yağmur ve rüzgarla uzaklaştırılması daha kolay olacaktır ve modülün temiz veya sadece hafif bir şekilde kirlenmiş

olduğu dönemler olacaktır. Polonya'nın kuzeyindeki Gdansk'ın merkezinde ölçülen PV modül verimindeki günlük azalma, dünyanın çeşitli yerlerinde diğer araştırmacılar tarafından yapılan ölçümlerin sonuçlarıyla Görsel 3'de karşılaştırılmıştır. Görsel 3'de artan enlem sırasına göre verilen sonuçlar şunlardır: Hong Kong, Çin, Abu Dabi, Birleşik Arap Emirlikleri, Riyad, Suudi Arabistan, Dahran, Suudi Arabistan, Gran Canaria, İspanya Arava Vadisi, İsrail. Elde edilen %0,8 değeri diğerlerine göre kısmen yüksektir. En düşük değer İspanya'da yapılan çalışmalarda belirlenmiştir. Çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenen sonuçlar, temiz modül yüzeylerine duyulan ihtiyacı göstermektedir. Örneğin, Polonya'nın 3. gruptan 2. gruba girdiği ve bu nedenle haftalık veya iki haftada bir temizliğin önerildiği bir öneri geliştirilmiştir (Grzesiak ve Ark., 2016). Bu sınıflandırma iklimi, enlemi, yıllık yağış miktarını ve hava sıcaklığını dikkate almaktadır. Dünyanın çeşitli bölgelerinde yapılan uzun vadeli çalışmaların sonuçlarına göre, düzenli temizlik, temizlenmemiş modüllerin verimine kıyasla PV kurulumlarının verimini %9–26 oranında artırabilir (Tylim, 2013).

PV modül performansında tortunun etkisini azaltmak için önerilen bir yöntem, PV modül yüzeylerini moleküllerin yapışmasını engelleyen ek bir tabaka ile kaplamaktır. Piyasada bulunan hidrofobik kaplamalar üzerinde yapılan bir çalışmada, hepsinin hidrofobik kaplama bulunmayan bir plakaya kıyasla, cam yüzeyinden geçen ışınım şiddetinde azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, son derece şeffaf olan uygun bir kaplama geliştirmek son derece önemlidir. Fotovoltaik (PV) modülün yüzeyine biriken kirlenmeler, hücrelere ulaşan ve fotovoltaik dönüşümde kullanılan ışınım miktarını azaltır. Tortu tabakasının PV modül performansı üzerindeki etkisi önemlidir. Tortu, kısa devre akımını ve dolayısıyla PV modül tarafından üretilen gücü ve verimi azaltır (Mani ve Pillai, 2010). Uzun süre havada bulunan kirlenmelere ve yağışa maruz kalan PV modüller, düzensiz yüzey kirliliği sergiler.



**Görsel 3. Farklı Enlemlerde PV Modülün Günlük Max. Verim Kaybı (Radziemska, 2026)**

## **2.2. Kirlenmelerin Morfolojisi Ve Bileşimi**

Kirleticilerin çeşitli kökenleri olabilir. Toprakta gelen havada taşınan toz, gübrelerden gelen rüzgarla taşınan parçacıklar, bacalardan yayılan kirleticiler, aşındırıcı fren balatalarından gelen parçacıklar olabilir. Toz hemen birikmez, ancak zamanla, tozlu bölgelerde günde %0,01 ile %0,5 arasındaki bir oranda birikebilir. Bu durum, konuma bağlı olarak, aşırı kirletici birikimini önlemek için PV modüllerin periyodik olarak yıkanması gerektiği anlamına gelir. En fazla miktarda çökelen toz, ilk ay içinde PV modül yüzeyinde birikir. Bu durum, hem ön kapağın geçirgenliğindeki azalmanın ölçümlerinden hem de biriken kirleticilerin kütlesinden kaynaklanmaktadır (Hassan ve Ark., 2005).

Güneş enerjisi cihazının yüzeyinde biriken kirletici miktarını etkileyen çeşitli etmenler vardır. Başlıca etki, yıllık yağış, ara sıra kar örtüsü veya kuru iklimde kum fırtınaları sırasında artan toz savrulması ve çöl bölgelerinde toprak parçacıklarının daha yüksek konsantrasyonu gibi faktörlerle geri döndürülemez şekilde bağlantılı olan birikmedir. Gupta (2017), dünya genelinde çeşitli zaman dilimlerinde (birkaç günden birkaç yıla kadar) gerçekleştirilen PV modüllerin doğal kirlenmesi üzerine yapılan çalışmaların sonuçlarını vermiştir. Çalışmalar hem doğal koşullarda hem de laboratuvar ortamında yapılmıştır. ABD'deki çeşitli bölgelerde yapılan ölçümlerde ayda yaklaşık %1, kuru iklimde ayda %9,33 ve Avrupa'da yapılan ölçümlerde %6,5 oranında modül veriminde azalma gözlemlenmiştir. Ta ve Ark. (2004) tarafından yapılan 15 yıllık bir çalışmada, Çin'in kuzeybatısındaki Gansu bölgesinde, tortu yoğunluğunun yaklaşık  $25,17 \text{ g/m}^2$  olduğu lös alanlarındaki PV modüllerin ön plakasındaki tortu miktarı ile daha fazla tortunun gözlemlendiği Gobi Çölü yakınlarındaki tortu miktarı karşılaştırılmıştır. Biriken tozun yoğunluğu  $36,48 \text{ g/m}^2$  olarak belirlenmiştir.

Fotovoltaik sistemlerdeki kayıpları açıklayan bir endüstri çalışmasına göre, (Walker, 2018), kirletici birikimi nedeniyle sistem veriminde genellikle %5 oranında kayıp varsayılabılır. Ancak pratik kayıp aralığı %2 ile %25 arasında olup, çok geniştir. Yıllık verim kaybı değerleri yağışla ilgili hataya tabi olduğundan, şiddetli yağmurlar arasındaki kirletici birikiminin günlük döngüsünü analiz etmek daha uygundur. Çalışmalar, kirlenme nedeniyle ortalama günlük verim kaybının %0,05 olduğunu bildirmektedir. Çeşitli bölgelerde kirlenme nedeniyle modül verimi kaybının analizi Naeem (2014) tarafından yapılmıştır. Kendi ölçümlerine dayanarak, günlük modül verimi kaybı %0,061/gün olarak belirlenmiştir. 186 sistemden elde edilen yayınlanmış verilerin analizi ise %0,051/gün sonucunu vermiştir. Bununla birlikte, yoğun tarımsal faaliyet olan bölgelerde bu oran günlük %0,36 iken, tarımsal, inşaat veya endüstriyel faaliyetlerin bulunmadığı çöl bölgelerinde günlük %0,01 düzeyindedir. Ayrıca, büyük kuş popülasyonları günlük %0,5 oranına kadar kayıplara neden olabilir. Hindistan gibi bölgelerdeki kum fırtınaları modül verimini %1,5 oranına kadar azaltmıştır. Biriken toz miktarı, modülün yüzey açısına büyük ölçüde bağlıdır. Yüzey açısının bir fonksiyonu olarak cam şeffaflığında doğrusal bir azalma gözlemlenir.

Güneş enerjisi tesisinin konumuna bağlı olarak, tozun bileşimi ve tane boyutu önemli ölçüde değişir. Bu farklılıklar, PV modül verimindeki azalma derecesini etkiler. Dünyanın çeşitli bölgelerinden toz tanelerinin bileşimi ve tane boyutu üzerine yapılan çalışmaların sonuçları çok sayıda bilimsel makalede yayınlamıştır. Tozun bileşimi, bulunduğu bölgeye, çöl ve kentsel alanların varlığına, özellikle sanayi veya otoyollara bağlıdır. Büyük şehirlerde, yüzey kirliliği, çeşitli kaynaklardan gelen havadaki sıvı, katı ve gaz halindeki parçacıkların bir arada

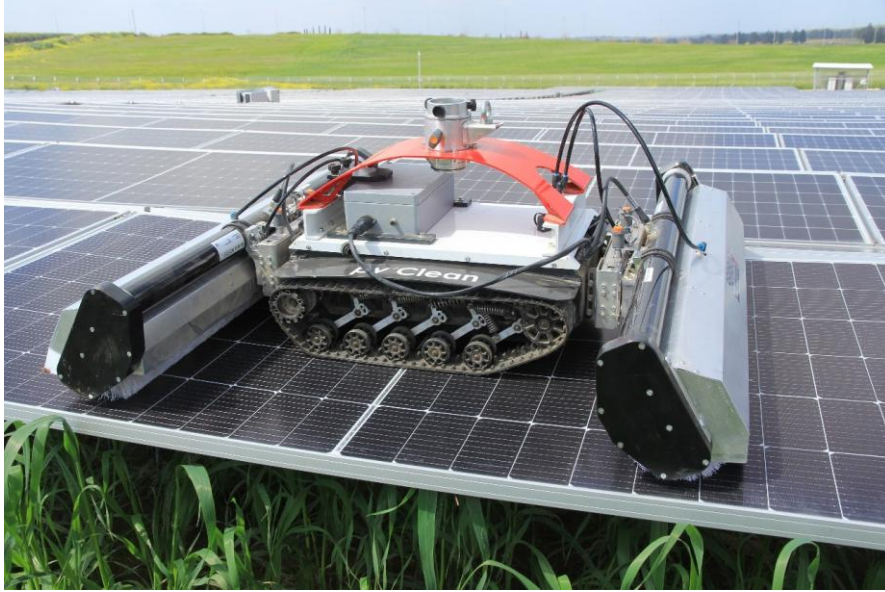
bulunmasından kaynaklanır. Havada bulunan ağır metal parçacıkları ve organik bileşikler öncelikle karayolu taşımacılığından kaynaklanır. Kükürt, kadmiyum ve antimon parçacıkları otoyollar boyunca bulunur ve araç frenlerinden kaynaklanan aşınmanın sonucudur. Ancak kurak iklimlerde, çöl veya yarı kurak alanlarda, tozun ana kaynağı topraktır. Tortular, örneğin kömürle çalışan enerji santrallerinden veya kentsel alanlardaki karayolu taşımacılığıyla ilgili emisyonlardan kaynaklanan havada bulunan parçacıklar gibi, konuma özgü kirleticiler içerir. Benzer şekilde, kırsal alanlar gübre kullanımı ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan özel kirleticilere maruz kalır. Küçük parçacıklar, daha büyük parçacıklara kıyasla PV modüllerin performansını daha olumsuz etkiler. Fotovoltaik (PV) modüllerin yüzeyine çöken toz tanelerinin boyutu, rüzgarın kirleticileri taşıdığı mesafeyle ilişkilidir. En küçük parçacıklar uzak bölgelerden ulaşabilirken, daha büyük parçacıklar daha uzaklardan ulaşabilir.

Kuş pisliği, partikül madde kaynağı olarak PV modül performansını önemli düzeyde olumsuz olarak etkiler. Yağmur genellikle bunları uzaklaştırmak için yetersiz kalır ve el ile temizlik gerektirir. Toz parçacıklarının aksine, kuş pisliği sadece bir veya birkaç hücreyi etkiler ve yerel güneş ışınımını tamamen engeller.

### **3. FOTOVOLTAİK MODÜLLERİN TEMİZLENMESİ**

Yağmur, kirleticileri uzaklaştırmak konusunda önemli bir etmendir. Ancak, hava koşullarına ve konuma bağlı olarak, yağmur genellikle yetersiz olabilir ve insan iş gücü veya mekanik temizlik gerektirebilir. Kuş pisliği gibi düzensiz kirlenmeyi önlemek için dikkatli olunmalıdır. Fotovoltaik (PV) modülleri temizlerken hasar görmelerini önlemek için de dikkatli olunmalıdır. PV modüller, üretici tarafından önerilen sade demineralize su ve hafif bir deterjanla temizlenmelidir. Yüksek basınçlı su, fırça veya herhangi bir çözücü, aşındırıcı veya sert deterjan kullanılmamalıdır.

Büyük PV tesisler için robotik temizleme sistemleri (Görsel 4) kullanılabilir. Ancak çoğu sistem tasarımının bu tür bir temizleme sisteminin hareketini karşılayacak şekilde olması gerekir. Temizleme, belirli aralıklarla veya modüllerin durumunun değerlendirilmesine bağlı olarak gerçekleştirilebilir ve kirliliğin etkisi, temizliği tetikleyen aletler kullanılarak ölçülür.



**Görsel 4. Fotovoltaik (PV) Tesisler İçin Robotik Temizleme Sistemi**

Kirliliğin boyutu ve ortaya çıkan temizleme rejimi, yerel kirlilik kaynaklarına bağlıdır. Çoğu kullanıcı temizliği sınırlandırır ve modülleri temiz tutmak için yağmura güvenir. Şiddetli yağmur tatmin edici temizleme sonuçları sağlarken, hafif yağmurlar çok daha az etkili temizlik sağlar ve toz su damlacıklarına yapışırsa kirliliği artırabilir. Bununla birlikte, özel koşullar altında, kirliliğin kaynağına ve niteliğine bağlı olarak, temizlik programlı olarak yapılmalıdır.

Önleyici tedbirlerin alınmasını ve özel bir temizlik programının geliştirilmesini gerektirebilecek kirlilik kaynakları şunlardır:

- *Tarımsal toz:* Temizlik, pullukla sürülme işleminden sonra planlanmalıdır.
- *İnşaat tozu:* Temizlik inşaat tamamlandıktan sonra yapılmalıdır.
- *Polen:* Temizlik, polen mevsiminin bitiminden sonra planlanmalıdır.
- *Kuş popülasyonları:* Kuşların yuva yapabileceği modüller arasındaki açık alanlar sınırlandırılmalıdır.
- *Dizel kurumu:* Şehirlerde, otoyolların veya otobüs terminallerinin yakınında yüksek konsantrasyonlarda bulunur.
- *Endüstriyel kaynaklar:* Endüstriyel üretim tesislerinden açığa çıkan kirleticilerdir.

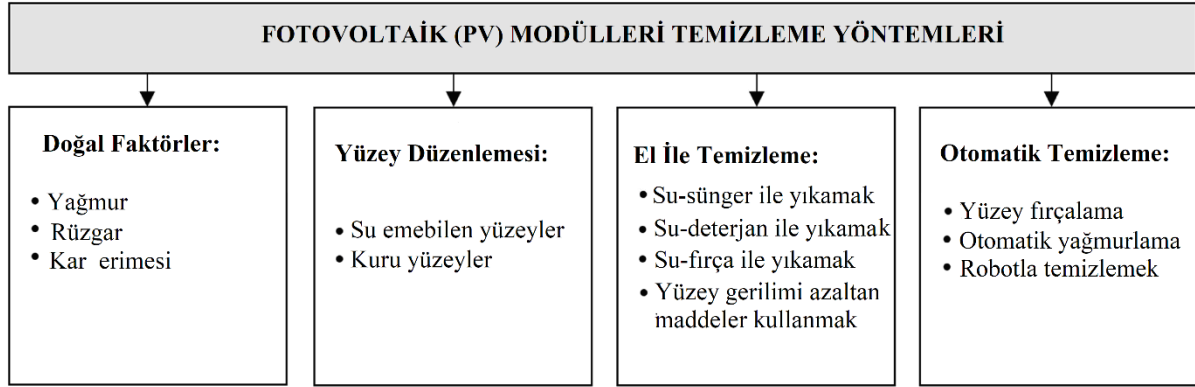
Tekdüze kirlenme durumlarında, PV modüllerin rutin temizliğinin gerekli olup olmadığını belirlemek için yerel, sahaya özgü bir maliyet-fayda analizi yapılmalıdır. Temizleme sıklığı, yerel yağış ve toz koşullarına bağlı olarak mevsimsel olabilir. Optimal temizlik programını etkileyen çeşitli değişkenler şunlardır:

- *Temizlik maliyeti:* Tipik olarak sözleşmeli temizlik ekibi için sabit bir ücret ve her temizlik için işçilik ve malzeme maliyeti vardır. Örneğin, Orta Doğu, Asya ve Avustralya bölgelerinde PV temizleme sistemi başına tahmini ekonomik kayıpların 0,0011 ile 22,43 ABD \$/m<sup>2</sup> arasında olduğu tahmin edilmektedir (Said ve Ark., 2024).
- *PV modüller üzerinde toz birikme oranı:* Günlük, aylık veya yıllık verim kaybı olarak tanımlanır.

- *Tesis verimlilik faktörü:* PV tesis ne kadar verimli olursa, temizlikten sağlanan fayda o kadar fazla olur. Verim ne kadar düşükse, aynı faydayı sağlamak için temizlenmesi gereken modül alanı o kadar fazla olur.
- *Şebekeye sağlanan enerji değeri:* Enerji değeri ne kadar yüksekse, PV modül temizliği o kadar maliyet etkin olur.

### 3.1. Fotovoltaik Modüllerin Temizlenmesinde Doğal Ve Pasif Yöntemler

Hava koşullarına maruz kalan PV modül yüzeylerinin temizlenmesinde kullanılan doğal yöntemler arasında yağmur, kar erimesi, rüzgar ve yerçekimi etkisi bulunur (Görsel 5).



**Görsel 5. Fotovoltaik (PV) Modülleri Temizleme Yöntemleri (Radziemska, 2026)**

Yukarıda belirtilen yöntemler arasında yağmurla yıkama en etkili olanıdır. Ancak, yağmur şiddetli değilse, su havada bulunan toz parçacıklarını toplayarak modül yüzeyinde yapışkan çamur lekeleri oluşturur. Modül yüzeyine yerleşen ve kalan kirletici madde miktarını belirleyen önemli bir faktör, yatay düzleme göre eğim açısıdır. Bu açı, daha büyük toz parçacıklarının modülden düşmesine veya alt kısımlarda birikmesine neden olan yerçekimi kuvveti bileşenini belirler. Modül eğiminin etkisi ve eğim açısının artırılmasının temizleme sürecini ne ölçüde iyileştirebileceği,  $[g/m^2]$  biriminden tanımlanan kirletici maddelerin yüzey yoğunluğu ve biriken parçacıkların boyut dağılımı tarafından da belirlenir.

Yağmur ve rüzgarla modül yüzeyinin temizlenmesinin etkinliği, modülün eğim açısına ve rüzgar yönüne göre yönelimine de bağlıdır. Rüzgar, biriken toz parçacıklarını uzaklaştırır ve etkisi, büyük modül eğim açılarındaki daha etkili olabilir. Bu olayın seyri, tozlu yüzeyin parçacık boyutu ve yapısından da etkilenir. İnce çökelmiş kirletici tabakası, yüksek hızlarda bile rüzgar tarafından etkili bir şekilde uzaklaştırılmaz. Jiang ve Ark. (2018), çapları 0,1 ile 100  $\mu m$  arasında değişen toz parçacıklarını uzaklaştırmak için yeterli rüzgar hızlarını ölçmüşlerdir. Gerekli rüzgar hızları sırasıyla, 0,23–57,56 m/s ve 0,82–2219,8 m/s arasında değişmiştir. Mısır’da yapılan bir deney, küçük çaplı parçacıkların ( $<1$  mm) yüzey yoğunluğunun daha yüksek eğim açısına sahip modüllerde daha yüksek olduğunu, daha iri toz parçacıklarının (ortalama çap 3  $\mu m$ ) ise düşük eğim açısına sahip modüllerde daha büyük miktarlarda biriktiğini doğrulamıştır (Hegazy, 2001). Fotovoltaik modüller için pasif temizleme yöntemleri, modülün ön kapağında yapılan değişiklikleri ve toz yapışmasını en aza indirmek için kirlilik önleyici kaplamaların kullanımını kapsar.

### **3.2. Kar Temizleme**

Fotovoltaik (PV) modülün yüzeyinde biriken kar, ortalama yıllık performansını %16 oranına kadar azaltabilir. Sistem tasarımı sırasında, rüzgarla savrulan kar yığınlarını önlemek ve karın kaymasını sağlamak için en alt modül sırasının alt kenarı ile zemin veya çatı arasındaki gerekli boşluk belirlenir. Kar, genellikle dik eğimli (30°'nin üzerinde) kurulumlardan kayarak modüllerin alt kısmında istenmeyen bir şekilde birikime neden olur.

Kar temizleme genellikle önerilmez. Çünkü PV modüllere kolayca zarar verebilir. Bununla birlikte, bazen çatıdaki kar yükünü azaltmak veya buz barajlarını kaldırmak için gerekli olabilir. Deneyimler, karın PV modüllere ve desteklere nadiren zarar verdiğini göstermiştir (Radziemska, 2026). Gerekirse, kar temizleme kürek veya mekanik araçlar yerine bir turbo fan ile yapılmalıdır.

### **3.3. Toz Etkisini Azaltmak İçin Teknolojik Yenilikler Ve Çözümler**

Tozun birikme etkilerinin üstesinden gelmeye yardımcı olmak için çeşitli alternatif teknik çözümler bildirilmiştir. Bunlardan birini, sensörlere dayalı akıllı bir toz giderme sistemi oluşturmaktır ve sıkıştırılmış hava jetleri, insan müdahalesi olmadan otonom toz temizliğine olanak tanır. Diğerleri arasında, tozun modül yüzeylerine yapışmasını önlemek ve azaltmak için kullanılan tasarlanmış hidrofobik ve elektrostatik kaplamalar yer almaktadır.

PV modüllerin temizlenmesi için gelişmiş bir yaklaşım, ışıkla tetiklenen kimyasal reaksiyonlar yoluyla otomatik olarak kendilerini temizleyecek süperhidrofobik nanopartikül kaplamaları şeklinde önerilmiştir (Fatima ve Ark., 2024). Bunun yanı sıra, dönen fırçalar ve su püskürtme sistemlerine sahip tamamen otonom temizleme robotlarının kurak ortamlarda deneysel başarısı bildirilmiştir (Haddad ve Ark., 2023). Bu tür teknolojik yenilikler, bakım maliyetlerini azaltırken güneş enerjisi üretiminin verimliliğini artırmak için mükemmel olanaklar sunmaktadır.

### **3.4. Fotovoltaik Sistem Bakımının Tahmin Edici Yaklaşımları Ve Optimizasyonu**

PV sistem bakımının optimizasyonu, veri analizinden belirlenen tahmin edici yaklaşımlara dayanmaktadır. Yapay zeka ve makine öğrenimi, toz birikiminin tahminini ve temizlik uygulamalarının aktif planlamasını desteklemektedir. Bazı çalışmalar, performans azalmasının gerçek zamanlı izlenmesi ve bakım uyarıları sağlamak için PV modüllere akıllı sensörler yerleştirilmesini önermektedir (Radziemska, 2026). Derin öğrenme ile tahmin edici modeller kullanmak, temizlik sıklığını ve enerji verimliliğini optimize eder (Fatima ve Ark., 2024). Ayrıca, araştırmacılar, bakım için öncelikli alanları belirlemek üzere dron gözetimi (Görsel 6) ve uydu veri analizine dayalı hibrit bir sistem önermişlerdir (Antonello ve Ark., 2024). Bu gelişmeler enerji kaybını azaltmaya yardımcı olurken, aynı zamanda güneş enerjisi sistemlerinin ömrünü de uzatır.



**Görsel 6. Fotovoltaik (PV) Tesisler İçin Dron İle Temizleme Sistemi**

#### **4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR**

Birçok yeni araştırma, fotovoltaik (PV) modüllerde toz birikiminin, çevre ve iklime bağlı olarak %10 ile %40 arasında önemli enerji verimi azalmalarına neden olduğunu göstermektedir. Parçacık yoğunluğunun, tozun bileşiminin ve maruz kalma süresinin bu bozulmanın ardındaki birincil faktörler olduğunu vurgulayan çalışmalar mevcuttur. Bununla birlikte, şimdiye kadar sınırlı sayıda derinlemesine analiz, bu birikimin uzun süreli etkisini ve mevcut yöntemlerin temizleme verimini incelemiştir. Son çalışmalar, hidrofobik veya elektrostatik kaplamalara dayalı kendi kendini temizleyen sistemler ve robotlar gibi, bu etkiyi azaltmak için birçok strateji önermiştir. Bu yaklaşımlar umut vaat etmektedir, ancak yaygın olarak benimsenme için ekonomik ve teknik engellerle karşı karşıyadır. Bazı çalışmalar, suyla yıkama veya mekanik fırçalama gibi geleneksel temizleme tekniklerinin kısa sürede etkili olsa da uzun sürede PV modüllerde aşınmaya neden olabileceğini belirtmektedir. Bu nedenle, gelecekteki çalışmalarda, iklim koşullarındaki farklılıkların PV modül performansına olumsuz etkilerinin anlaşılmasıyla birlikte, son derece ekonomik ve sürdürülebilir temizleme yaklaşımlarına odaklanılmalıdır. Toz parçacıklarının PV sistem etkinliğini artıran iletkenlerle etkileşimine ilişkin daha fazla araştırma, şüphesiz gelecekteki çalışmaları etkileyecektir.

Sonuç olarak, incelenen çalışmalar bu zorluğun önemini ve güneş enerjisinin dönüşümünü optimize etmek konusunda sürekli yeniliğe duyulan ihtiyacı doğrulamakta ve yeniden ifade etmektedir. Bu konuda yapılmış olan çalışmalar, PV modül kirlenmesi sorununun ciddiyetinin altını çizmekte ve en iyi enerji üretim hedeflerine ulaşmak için daha etkili çözümlere acil ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Kendi kendini temizleyen sistemler ve temizleme tekniklerinin optimizasyonu alanındaki ek çalışmalar, PV tesislerin enerji verimliliğini artırmada cazip fırsatlar sunmalıdır.

PV modüllerde toz birikimini en aza indirmek ve tahmin etmek için çeşitli uygulanabilir yöntemler bulunmaktadır. Bu amaçla, toz yapışmasını önlemek için hidrofobik ve elektrostatik kaplamalar, otonom robotik temizleme çözümleri ve akıllı sensörler ve uydu/dron izleme kullanan yapay zeka destekli tahmine dayalı bakım modellerinden yararlanılmaktadır. Bu yöntemler arasında, yapay zeka planlaması ve gerçek zamanlı izleme, tozlu ortamlara yönelik en büyük potansiyeli ve uygulanabilirliği göstermektedir.

Otonom temizleme sistemleri ve gelişmiş toz önleyici kaplamalar da dahil olmak üzere, çeşitli teknolojik alternatifler değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, büyük ölçekli uygulama için maliyet ve uygulanabilirlik sorunları hala mevcuttur. Ayrıca, yapay zekanın tahmine dayalı bakım işlemleri için kullanılması, enerji üretimini en üst düzeye çıkarırken, temizleme stratejileri açısından performans optimizasyonunda büyük bir potansiyel göstermektedir. Gelecekteki çalışmalar, güneş enerjisi tesislerinin çevresel ve yapısal kısıtlamaları dahilinde ekonomik olarak uygulanabilir, net görüşlü ve sürdürülebilir seçeneklerin geliştirilmesine odaklanmalıdır. Malzeme fiziği, yapay zeka ve enerji sistemlerinin optimizasyonundan gelen girdilerle bu çok disiplinli yaklaşım, bu sorunları ele almak ve tozlu bölgelerde güneş enerjisini en üst düzeye çıkarmak için önemlidir.

Sistem tasarımcısı ve kullanıcısı, modüllerin doğru konumlandırılması ve modül kullanımını sırasında ortaya çıkabilecek sorunları dikkate almalıdır. Modülün yönü ve eğim açısı, kurulumun tasarım ve montaj aşamasında optimize edilebilir. Bu nedenle kullanıcı için dikkate alınması gereken bir konu oluşturmazken, gölgeleme, kirleticiler, toz ve kar gibi, diğer işletimsel sorunlar, kullanıcının sürekli ilgi alanında olmalı ve çoğu durumda etkilerini sıfıra indirmelidir.

## KAYNAKÇA

- [1] Abdessadak, A.; Ghennioui, H.; El Bhiri, B.; Thirion-Moreau, N.; Abraim, M.; Merzouk, S. Assessing the Effects of Dust on Solar Panel Performance: A Comprehensive Review and Future Directions. *Eng. Proc.* 2025, 112, 9. <https://doi.org/10.3390/engproc2025112009>.
- [2] Antonello, F.; Segneri, D.; Reggestad, V. Surrogate model-based calibration of a flying Earth observation satellite. *Adv. Space Res.* 2024, 73, 1925–1935.
- [3] Babalola, T.V.; Nafada, A.I.; Dala, H.A. An Assessment of the Impact of Accumulated Dust on Efficiency and Performance Output of Solar Photovoltaic Panels. *Deleted J.* 2024, 33, 87–94.
- [4] Costa, S.C.S.; Diniz, A.S.; Kazmerski, L.L. Dust and soiling issues and impacts relating to solar energy systems: Literature review update for 2012–2015. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 63, 33–61.
- [5] Ding, R. Application of Machine Learning in Optimizing Proton Exchange Membrane Fuel Cells: A Review. *Energy AI* 2022, 9, 100170.
- [6] Fatima, K.; Minai, A.F.; Malik, H.; Márquez, F.P.G. Experimental analysis of dust composition impact on Photovoltaic panel Performance: A case study. *Sol. Energy* 2024, 267, 112206.
- [7] Grzesiak, W.; Mackow, P.; Maj, T.; Polak, A.; Klugmann-Radziemska, E.; Zawora, S.; Drabczyk, K.; Gulkowski, S.; Grzesiak, P. Innovative system for energy collection and management integrated within a photovoltaic module. *Sol. Energy* 2016, 132, 442–452.

- [8] Gupta, V. Impact of Dust Deposition on Solar Photovoltaic Panel in Desert Region: Review. *Int. J. Electron. Electr. Comput. Syst.* 2017, 6, 1.
- [9] Haddad, Z.; Nahoui, A.; Salmi, M.; Aidjadj, M. Effect of dust on the operation of photovoltaic solar panels installed in the Hodna region-Experimental study. *J. Renew. Energies* 2023, 13, 75–82.
- [10] Hassan, A.H.; Rahoma, U.A.; Elminir, H.K.; Fathy, A.M. Effect of airborne dust concentration on the performance of PV modules. *J. Astron. Soc. Egypt* 2005, 13, 24–38.
- [11] Hegazy, A.A. Effect of dust accumulation on solar transmittance through glass covers of plate-type collectors. *Renew. Energy* 2001, 22, 525–540.
- [12] Heo, M.G. Self-Powered Electrodynamic Dust Removal for Sustainable Solar Panels using Triboelectric Nanogenerators. *Nano Energy* 2024, 121, 109257.
- [13] IEA. International Energy Agency. World Electricity Generation in the Stated Policies Scenario, 2010–2035. Available online: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-electricity-generation-in-the-stated-policies-scenario-2010-2035>.
- [14] Jiang, Y.; Lu, L.; Ferro, A.R.; Ahmadi, G. Analyzing wind cleaning process on the accumulated dust on solar photovoltaic (PV) modules on flat surfaces. *Sol. Energy* 2018, 159, 1031–1036.
- [15] Kazem, A.H. Dust impact on the performance of solar photovoltaic module: A new prospect. *Energy Sources Part A Recover. Util. Environ. Eff.* 2023, 45, 4087–4106.
- [16] Klugmann-Radziemska, E. Degradation of electrical performance of a crystalline photovoltaic module due to dust deposition in northern Poland. *Renew. Energy* 2015, 78, 418–426.
- [17] Klugmann-Radziemska, E. Environmental and Operational Factors That Affect the Performance of a Photovoltaic System. *Energies* 2026, 19, 602. <https://doi.org/10.3390/en19030602>.
- [18] Mani, M.; Pillai, R. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2010, 14, 3124–3131.
- [19] Meral, M.E.; Dincer, F. A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2011, 15, 2176–2184.
- [20] Naeem, M.H. *Soiling of Photovoltaic Modules: Modelling and Validation of Location-Specific Cleaning Frequency Optimization*; Arizona State University: Tempe, AZ, USA, 2014.

- [21] Panat, S.; Varanasi, K. Electrostatic dust removal using adsorbed moisture-assisted charge induction for sustainable operation of solar panels. *Sci. Adv.* 2022, 8, eabm0078.
- [22] Ramli, M.A.M.; Prasetyono, E.; Wicaksana, R.W.; Windarko, N.A.; Sedraoui, K.; Al-Turki, Y.A. On the investigation of photovoltaic output power reduction due to dust accumulation and weather conditions. *Renew. Energy* 2016, 99, 836–844.
- [23] Rudnicka, M.; Klugmann-Radziemska, E. The issue of shading photovoltaic installation caused by dust accumulation on the glass surface. *Ecol. Chem. Eng. S* 2021, 28, 173–182.
- [24] Said, S.Z.; Islam, S.Z.; Zahurul, S.; Radzi, N.H.; Wekesa, C.W.; Altimania, M.; Uddin, J. Dust impact on solar PV performance: A critical review of optimal cleaning techniques for yield enhancement across varied environmental conditions. *Energy Rep.* 2024, 12, 1121–1141.
- [25] Saidan, M.; Albaali, A.G.; Alasis, E.; Kaldellis, J.K. Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment. *Renew. Energy* 2016, 92, 499–505.
- [26] Ta, W.; Xiao, H.; Qu, J.; Xiao, Z.; Yang, G.; Wang, T.; Zhang, X. Measurements of dust deposition in Gansu Province, China, 1986–2000. *Geomorphology* 2004, 57, 41.
- [27] Tylim, A. The Importance of a PV System Washing Program; *Renewable Energy World*: Peterborough, NH, USA, 2013; p. 11.
- [28] Walker, H.A. *Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems*, 3rd ed.; NREL/TP-7A40-66056; National Renewable Energy Laboratory: Golden, CO, USA, 2018.
- [29] Zaihidee, F.M.; Mekhilef, S.; Seyedmahmoudian, M.; Horan, B. Dust as an unalterable deteriorative factor affecting PV panel's efficiency: Why and how. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 65, 1267–1278.

## ISI DEPOLAMA TEKNİKLERİNİN TEKNOLOJİYE HAZIRLIK SEVİYELERİ VE MALİYET KARŞILAŞTIRMASI

**Hasan Hüseyin ÖZTÜRK**

Çukurova Üniversitesi e-mail: hhozturk@cu.edu.tr- ORCID ID: 0000-0001-6904-5539

**Hasan Kaan KÜÇÜKERDEM**

Iğdır Üniversitesi e-mail: kaan.kucukerdem@igdir.edu.tr- ORCID ID: 0000-0002-1593-4725

### ÖZET

Isı enerjisi depolama (TES), özellikle yerel yenilenebilir enerji kaynaklarıyla birlikte uygulandığında, enerji tasarrufu ve sistem verimliliğinin artırılması için önemli bir çözüm olarak gündeme gelmektedir. Sürdürülebilirliğe doğru küresel geçiş hızlanırken, TES teknolojileri, artan enerji taleplerinin yarattığı zorlukların hafifletilmesinde merkezi bir rol oynama potansiyeline sahiptir. Bu bildiride, farklı TES yöntemlerinin teknolojiye hazırlık seviyeleri (TRL) değerlendirilmiş ve maliyetleri karşılaştırılmıştır. Duyulur ısı depolama (STES) sistemlerinin TRL değerleri genellikle 7 ile 9 arasında değişir. STES sistemlerine ilişkin bu TRL değerleri, bu sistemlerin ticari kullanım için yüksek olgunluk ve hazırlık seviyesini belirtir. STES sistemleri, gerçek uygulamalarda ve bölgesel ısıtma, güneş enerjisi ve endüstriyel süreçler gibi çeşitli sektörlerde kapsamlı test ve doğrulamadan geçmiş, güvenilirlik, etkinlik ve ticari kullanılabilirlikleri kanıtlanmıştır. Gizli ısı depolama (LTES) sistemleri, 7 ile 9 arasında değişen TRL seviyelerine ulaşarak, yüksek bir olgunluk ve ticari kullanıma hazır olma düzeyine ulaşmıştır. Termo-kimyasal ısı depolama (TCES) teknolojilerinin TRL değerleri 4 ile 7 arasında değişir. Pazar analizleri, uygun fiyatlılığı ve çok yönlülüğü nedeniyle STES uygulamalarının hakimiyetini göstermektedir. Bununla birlikte, LTES ve TCES teknolojilerindeki gelişmeler, gelişmiş depolama kapasiteleri ve verimlilikleri sunarak pazar dinamiklerini değiştirebilir. Günümüzde STES yaygın kullanım ve maliyet etkinliği açısından lider konumdayken, LTES ve TCES teknolojilerinin gelişme durumu, TES uygulamalarını ilerletmek ve potansiyel olarak ısı depolama sektörünün verimini artırmak ve maliyet etkin duruma dönüştürmek için önemli bir potansiyel sergilemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Isı depolama, teknolojiye hazırlık seviyesi, maliyet karşılaştırması

### 1. GİRİŞ

Büyük ölçüde fosil yakıtlarla karşılanan artan küresel enerji talebi, dünyamız için kritik bir zorluktur. Fosil yakıtların dünyanın farklı bölgelerindeki dağılımı eşit değildir. Fosil kaynakların önemli bir oranı, küresel nüfusun küçük bir yüzdesi tarafından tüketilmektedir. Bu

durum bu kaynakların hızlı bir şekilde tükenmelerine neden olmaktadır. Fosil yakıtlara olan bu sürdürülemez bağımlılık, kaynak güvenliğini sağlamak için sürdürülebilir enerji sistemlerine acil geçişi gerektirmektedir. Ayrıca, son aşırı iklim olaylarının vurguladığı iklim değişikliğiyle ilgili artan endişeler, değişime duyulan acil ihtiyacın altını çizmektedir.

Bu bağlamda, enerji depolama, çağdaş enerji sistemleri ortamında çok önemli bir rol oynamaktadır. Temel bir unsur olarak hizmet veren enerji depolama, güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının doğasında var olan değişkenlik ve kesintililikten kaynaklanmaktadır. Enerji depolama teknolojileri (EDT) ile yenilenebilir enerji üretiminin yüksek olduğu dönemlerde fazla enerji, yüksek talep veya düşük üretim dönemlerinde kullanılmak üzere depolanır. Böylece, EDT şebeke istikrarını, güvenilirliğini ve esnekliğini önemli ölçüde artırır. Bu durum, yenilenebilir enerjinin mevcut elektrik şebekelerine sorunsuz entegrasyonuna olanak tanıyarak, sürdürülebilir ve düşük karbonlu bir enerji ortamına geçişi teşvik eder. Enerjiyi farklı şekillerde depolamak için çeşitli olanaklar mevcuttur veya geliştirilme aşamasındadır. En önemlileri, büyük ölçekli uygulamalar için pompalanmış hidroelektrik ve termal enerji depolama (TES), yüksek güç ve enerji gereksinimleri için bataryalar, kısa süreli ve hızlı tepki gerektiğinde süper kapasitörlerdir.

Küresel enerji tüketiminin yaklaşık olarak yarısının ısıya atfedildiği ve bunun da enerjiyle ilgili sera gazı (GHG) emisyonlarının %38'inden (IEA, 2023) sorumlu olduğu dikkate alındığında, TES teknolojileri karbonsuzlaştırmaya yardımcı olma konusunda çok önemli bir rol üstlenmektedir. Gerçekten de, TES sistemleri elektrik ve ısıtma/soğutma sektörü arasındaki bağlantıyı kolaylaştırarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu artırır. TES, sadece enerji arz ve talebini dengelemeye yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda daha verimli ve sağlam bir enerji altyapısına da katkıda bulunur. Diğer avantajları arasında, daha düşük enerji tüketimi ve maliyetleri, azaltılmış ilk yatırım ve bakım giderleri, daha küçük ekipman boyutları, işletimsel esneklik, iyileştirilmiş iç mekan hava kalitesi, artırılmış enerji verimliliği ve fosil yakıtların ikamesi, kirletici veya GHG emisyonlarının azaltılması yer almaktadır.

Günümüzde, her biri belirli uygulamalara ve işletimsel taleplere uygun olarak titizlikle tasarlanmış çeşitli TES teknolojileri mevcuttur. Bu teknolojiler, depolama ortamının veya malzemenin doğası, depolama süreci, amaçlanan uygulama ve çalışma sıcaklığı aralığı, ısı kaynağı, depolama döngüsü sıklığı dahil olmak üzere birden fazla perspektiften sınıflandırılabilir. En yaygın sınıflandırma, depolama süreci veya mekanizmasıyla ilgilidir. Bunlar arasında öne çıkanlar, depolama malzemesinin sıcaklığındaki değişiklikler yoluyla ısıdan yararlanmayı içeren duyulur ısı depolama (STES), ısı depolama ve serbest bırakmak için faz değiştiren materyallerin (PCM) kullanıldığı gizli ısı depolama (LSHS) ve katı yüzeylerde gazların adsorpsiyonu ve desorpsiyonu gibi sorpsiyon mekanizmalarını içeren tersinir kimyasal reaksiyonlara dayanan termokimyasal (TCHS) depolamadır. Bu bildiride, farklı TES yöntemlerinin teknolojiye hazırlık seviyeleri (TRL) değerlendirilmiş ve maliyetleri karşılaştırılmıştır.

## **2. ISI DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİNİN TEKNOLOJİ HAZIRLIK SEVİYELERİ**

## 2.1. Teknoloji Hazırlık Seviyeleri

Teknoloji hazırlık seviyeleri (TRL), yeni bir teknolojinin olgunluk düzeyini (fikirden ticarileşmeye) ölçmek için 1'den 9'a kadar kullanılan, NASA tarafından geliştirilen sistematik bir metrik/ölçeklendirme sistemidir. Ar-Ge projelerinin riskini yönetmek, fonlama kararları vermek ve teknolojinin pazara ne kadar hazır olduğunu belirlemek için kullanılır. TRL ölçeği, temel araştırmadan işletimsel kullanıma kadar Çizelge 1'de verilen 9 aşamayı kapsar.

Çizelge 1. Teknoloji Hazırlık Seviyeleri

Teknoloji Hazırlık Seviyeleri (TRL)	Açıklamalar
TRL 1	Temel ilkeler gözlemlenmiş ve raporlanmıştır. Teorik çalışma aşamasıdır.
TRL 2	Teknoloji kavramı ve/veya uygulaması formüle edilmiştir.
TRL 3	Deneyel kavram kanıtı aşamasıdır. Analitik ve deneyel kritik fonksiyon/kavram kanıtı (laboratuvar kanıtı) gerçekleştirilmiştir.
TRL 4	Laboratuarda doğrulanmış teknoloji aşamasıdır. Laboratuvar ortamında bileşen ve/veya sistem doğrulaması yapılmıştır.
TRL 5	Gerçek ortamı temsil eden ilgili ortamda doğrulanmış teknoloji aşamasıdır. İlgili ortamda bileşen ve/veya sistem doğrulaması yapılmıştır.
TRL 6	Mühendislik modeli aşamasıdır. İlgili ortamda pilot tesis/sistem/prototip gösterimi yapılmıştır.
TRL 7	Uygulama ortamında (gerçek ortam) sistem prototipi gösterimi yapılmıştır.
TRL 8	Sistem fiilen tamamlanmış ve test/gösterim aşamalarından geçmiştir. Sistem tamamlanmış ve niteliklidir.
TRL 9	Ticarileşme/son kullanıcı aşamasıdır. Gerçek sistem, uygulama ortamında kanıtlanmıştır.

TRL ölçütü, belirli bir teknolojinin ticari hazırlığını değerlendirmek için kullanılır. TRL göstergesi 9 geliştirme seviyesini kapsar. İlk üç TRL seviyesi, temel araştırmayı ve kavramın tam gelişimini içeren teknoloji fikrine atıfta bulunur. Dördüncü ve beşinci seviyeler, laboratuarda veya başka uygun bir ortamda geliştirilen prototip aşamasını belirtir. Doğrulama aşaması, işletimsel bir ortamı dikkate alan altıncı ve yedinci seviyelerle temsil edilir. Son seviyeler (8 ve 9), teknolojinin gösterildiği ve onaylandığı üretim aşamasını tanımlar. TRL aşamaları genel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır:

- TRL 1–3: Genellikle temel araştırma aşamasıdır.
- TRL 4–6: Geliştirme ve prototipleme aşamasıdır.
- TRL 7–9: Ticarileşme ve yaygınlaştırma aşamasıdır.

TRL'nin başlıca faydaları şunlardır:

- *Risk yönetimi*: Teknolojinin hangi aşamada tıkanıldığını net olarak gösterir.
- *Fonlama ve yatırım*: Ulusal ve uluslararası hibe programlarında proje olgunluğunu değerlendirmek için standart kriterdir.
- *Karşılaştırma*: Farklı projelerin teknolojik hazırlığını karşılaştırma olanağı sağlar.

## 2.2. Isı Depolama Teknolojilerinin Teknoloji Hazırlık Seviyeleri

TES teknolojilerinin hazırlığı veya olgunluğu, ilk olarak 1974 yılında NASA tarafından tanımlan ve daha sonra 2011 yılında ABD Enerji Bakanlığı tarafından benimsenen

standartlaştırılmış bir referans değeri olan teknolojiye hazır olma seviyelerine (TRL) göre değerlendirilir. TES teknolojilerinin TRL durumları Çizelge 2’de verilmektedir. Bu çizelge düşük ve orta sıcaklıktaki PCM’lerin TRL 7–9 aralığına ulaştığını, yüksek sıcaklıktaki PCM’lerin ise TRL 4–6 aralığında kaldığını vurgulamaktadır. STES sistemleri, depolama ortamına bağlı olarak TRL 5–9 aralığında yer alırken, termokimyasal uygulamalar günümüzde TRL 4–7 aralığında bulunmaktadır. Bu TRL derecelendirmesi, teknoloji türü, olgunluk aralığı ve temel gerekçeleri yan yana getirerek, geliştirme durumunun hızlı bir şekilde değerlendirilmesini ve daha fazla araştırma ve ölçeklendirme gerektiren alanların belirlenmesini sağlar.

**Çizelge 2. Isı Enerjisi Depolama (TES) Teknolojilerinin Teknolojiye Hazırlık Seviyeleri (TRL) (Vallese ve Ark., 2026)**

TES Teknolojisi	Teknoloji	TRL	TRL gerekçesi
<i>Gizli Isı Enerjisi Depolama (LTES)</i>	Düşük/orta sıcaklıktaki PCM’ler (organik ve inorganik tuzlar)	7–9	Piyasadaki bina uygulamalarında TRL $\geq 7$ düzeyindedir. Ekonomik sürdürülebilirlik ve entegrasyon hâlâ optimizasyon aşamasındadır
	Yüksek sıcaklıktaki PCM’ler (metalik alaşımlar, tuzlar ve ötektikler)	4–6	Laboratuvar ölçekli ve pilot prototipler mevcuttur. Ancak ticari olarak yüksek sıcaklıktaki uygulamaları henüz yoktur. Malzemeler/yöntemler hâlâ olgunlaşma aşamasındadır.
<i>Duyulur Isı Enerjisi Depolama (STES)</i>	Su kullanarak ısı depolama	8–9	Isıtma/soğutma şebekelerinde, bölgesel ısıtma sistemlerinde ve güneş ısı santrallerinde olgun, yaygın olarak ticarileştirilmiş bir uygulamadır.
	Erimiş tuz kullanılarak depolama	5–9	Büyük yoğunlaştırılmalı güneş enerjisi (CSP) tesislerinde kanıtlanmıştır (TRL $\geq 7$ ). Ancak, bazı kimyasallar ve yüksek sıcaklık için tasarımları hala pilot aşamasındadır (TRL=5–6).
	Katı materyal kullanarak depolama (kaya, beton, kum, seramik)	5–9	Pilot laboratuardan (TRL = 5–6) çeşitli tesislerdeki olgun ticari sistemlere (TRL = 8–9) kadar reaktör tasarımı kritik önem taşımaktadır.
	Termal yağlar	7–9	Sanayide ticari ve CSP; Yüksek sıcaklık kararlılığı ve ısı transferi güvenilirliği kanıtlanmıştır.
<i>Termokimyasal Enerji Depolama (TCES)</i>	Kimyasal reaksiyonlar (metal oksitler, hidridler, karbonatlar)	4–7	Kavram kanıtı ve laboratuvar ölçekli pilot uygulamalara kadar gelişmiştir. Kinetik ve sistem karmaşıklığı, tam ticari kullanımı sınırlar.
	Adsorpsiyon/Desorpsiyon (örneğin, zeolitler, silika jelleri)	4–6	Laboratuvar gösterimleri ve küçük ölçekli pilot uygulamalar vardır. Sorbent kararlılığı ve döngü verimliliği hâlâ Ar-Ge aşamasındadır.
	Soğurma (örneğin LiBr–H <sub>2</sub> O, NH <sub>3</sub> –H <sub>2</sub> O)	5–7	HVAC/DHC bağlamında tezgah ölçekli testler yapılmıştır. Gerçek döngüler altında entegrasyon ve dayanıklılık hâlâ gelişmektedir.

### 2.2.1. Gizli Isı Enerjisi Depolama

Gizli ısı enerjisi depolama (LTES) sistemleri, 7 ile 9 arasında değişen TRL seviyelerine ulaşarak, yüksek bir olgunluk ve ticari kullanıma hazır olma düzeyini göstermiştir. Bu TES

teknolojisi, kapsamlı laboratuvar testlerinden ve saha gösterimlerinden geçmiştir. Bununla birlikte, önemli sorunlarla başa çıkmak ve yaygın ticari kullanıma ulaşmak için daha fazla geliştirme gerekmektedir. LTES'in TRL'sini değerlendirmedeki temel zorluklardan biri, PCM sızıntısı, ısıl döngü kararlılığı ve entegrasyon teknolojileri gibi teknik engellerin dikkate alınması gerekliliğidir. TRL, LTES uygulama alanına bağlıdır (Palomba ve Frazzica, 2019). LTES'in bina uygulamalarında, PCM'lerin bina kabuğunda entegrasyonunun ekonomik fizibilitesi henüz tam olarak gösterilmemiş olsa da, pazara girerek yüksek TRL seviyelerine ulaşmıştır (Tripathi ve Shukla, 2024). Bu nedenle, düşük ve orta sıcaklıktaki uygulamalar için PCM'lerin optimizasyonu güncel bir araştırma konusudur (Rolka ve Ark., 2021; Hameed ve Ark., 2022).

Diğer taraftan, yüksek sıcaklık uygulamaları için teknolojiler henüz ticari olarak mevcut değildir. LTES alanında, özellikle malzeme bilimi ve sistem tasarımında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Araştırmacılar, gelişmiş ısıl özelliklere ve iyileştirilmiş döngü kararlılığına sahip PCM'ler geliştirmeye odaklanmıştır. Ayrıca, PCM sızıntısını önlemek ve uzun süreli dayanıklılığı sağlamak için yeni kapsülleme teknikleri geliştirilmiştir. Bu gelişmeler, LTES sistemlerinin performansını ve güvenilirliğini artırarak, ticari uygulanabilirliğe daha da yaklaştırmıştır. Ulaşılan ilerlemeye rağmen, LTES teknolojileri, TRL ilerlemelerini engelleyen çeşitli zorluklarla karşı karşıya kalmaya devam etmektedir. Başlıca zorluklardan biri, daha yüksek enerji depolama yoğunluğu ve daha hızlı şarj/deşarj oranları sağlamak için PCM özelliklerinin optimize edilmesidir. Ek olarak, LTES sistemlerinin ölçeklenebilirliğinin ve maliyet etkinliğinin sağlanması, araştırmacılar tarafından daha fazla araştırılmalı ve ticari öncesi uygulamalar için tasarım iyileştirilmelidir (Zsembinszki ve Ark., 2021).

### **2.2.2. Duyulur Isı Enerjisi Depolama**

Duyulur ısı enerjisi depolama (STES), piyasada birkaç yıldır var olan ve çeşitli uygulamalarda yüksek TRL'lere sahip iyi bir teknolojidir. STES teknolojisinin TRL'si genellikle 7 ile 9 arasında değişir. Bu durum ticari kullanıma yüksek uygunluk ve hazırlık seviyesini gösterir. Bu sistemler, gerçek koşullardaki uygulamalarda ve bölgesel ısıtma, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSE) ve endüstriyel süreçler gibi çeşitli sektörlerde kapsamlı test ve doğrulamadan geçmiş, güvenilirlik, etkinlik ve ticari kullanılabilirliklerini kanıtlamıştır. Isıl verimliliği, dayanıklılığı ve maliyet etkinliğini artırmaya odaklanan sürekli araştırma ve geliştirme çalışmaları, mantıklı TES teknolojilerinin TRL'lerini daha da yükseltmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Birçok etkinlik yüksek sıcaklık uygulamalarına odaklanmaktadır. Bu amaçla en iyi malzemeler, mekanik ve termo-fiziksel özelliklerini koruyan kayalar ve erimiş tuzlardır. Ancak bu sistemler için başlıca zorluklar malzeme seçimi ve reaktör tasarımıdır (Palomba ve Frazzica, 2019). Bu nedenle, katı malzemelerin (taş, seramik, kum, beton gibi) ve erimiş tuzlar için TRL hâlâ 5, 6 ile 9 arasında değişir. Ayrıca, STES sistemlerinin güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji uygulamaları ile entegrasyonu, onları gelecekteki enerji sistemlerinin temel bileşenleri olarak konumlandırma konusunda büyük potansiyele sahiptir.

### 2.2.3. Termokimyasal Enerji Depolama

Termokimyasal enerji depolama (TCES) teknolojilerinin TRL'sini belirlemek, reaksiyon kinetikleri, malzeme kararlılığı, enerji yoğunluğu ve sistem verimliliği gibi faktörlerin değerlendirilmesini gerektirir. TCES sistemlerinin TRL'si 4 ile 7 arasında değişir. Bu aşamada, laboratuvar ölçeğinde gösteriler, kavram kanıtı çalışmaları ve gerçek koşullardaki uygulamalarda ön testlerden geçmişlerdir. Henüz yaygın ticari kullanım için tam olgunlaşmamış olsa da, sorpsiyon TES teknolojileri merkezi olmayan soğutma ve ısıtma sistemleri dahil olmak üzere çeşitli pratik uygulamalar için umut verici performans ve potansiyel göstermiştir (Zhang ve Wang, 2020).

TRL ilerlemesini engelleyen başlıca zorluklar arasında, hızlı şarj ve deşarj hızlarını sağlamak için reaksiyon kinetiklerinin optimizasyonu, ayrıca döngüsel çalışma altında malzemelerin kararlılığı ve dayanıklılığı yer almaktadır. Ayrıca, sistem entegrasyonunun karmaşıklığı ve maliyeti, TCES teknolojilerinin yaygın benimsenmesini engellemektedir. Bu nedenlerle, gelişmeler yeni reaksiyon sistemleri geliştirmeye, reaktör tasarımlarının optimize edilmesine ve sistem verimliliğinin artırılmasına odaklanmıştır. Araştırmacılar, enerji depolama uygulamaları için uygun adayları belirlemek amacıyla, çok çeşitli kimyasal reaksiyonlar ve malzemeleri araştırmışlardır. Ayrıca, reaktör tasarımları, kontrol stratejileri ve ısı transfer süreçlerindeki yenilikler, özellikle binalarda uygulama açısından TCES sistemlerinin genel verimliliği ve güvenilirliğinin artmasına katkıda bulunmuştur (Garimella ve Ark., 2020; Kant ve Pitchumani, 2022). Önemli ilerlemelere rağmen, TCES teknolojileri TRL'nin pazar hazırlığına doğru ilerlemesini etkileyen birkaç zorlukla karşı karşıyadır. Yaygın ticari dağıtımın gerçekleşmeden önce teknik zorlukları değerlendirmek ve sistem performansını artırmak için daha fazla araştırma ve geliştirme gereklidir.

### 3. ISI DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİNİN MALİYETLERİ

Pazar analizleri, uygun fiyatlılığı ve çok yönlülüğü nedeniyle STES'in hakimiyetini göstermektedir (Pompei ve Ark., 2023) Bununla birlikte, LTES ve TCES'deki gelişmeler, gelişmiş depolama kapasiteleri ve verimlilikleri sunarak pazar dinamiklerini değiştirebilir. STES günümüzde pazar penetrasyonu ve maliyet etkinliği açısından lider konumdayken, LTES ve TCES teknolojilerinin gelişen görünümü, TES çözümlerini ilerletmek ve potansiyel olarak enerji depolama sektörünü iyileştirilmiş performans ve maliyet etkinliği ile dönüştürmek için önemli bir potansiyel taşımaktadır. Çeşitli TES teknolojileriyle ilişkili maliyetlerin daha ayrıntılı bir analizini sağlamak için, ısı depolama teknolojilerinin bazı temel özellikleri Çizelge 3'de özetlenmiştir. Çeşitli TES teknolojilerinin maliyet karşılaştırması Çizelge 4'de verilmiştir.

**Çizelge 3. Isı Depolama Teknolojilerinin Özellikleri Ve Maliyet Projeksiyonları (Boshell, 2020)**

Konu	Duyulur			Gizli		
	2018	2030	2050	2018	2030	2050
Maliyet (USD/kWh)	0,1–35	0,1–25	0,1–15	60–120	60–95	60–80
Verim (%)	50–90	60–90	70–90	>90	>92	>95
Enerji yoğunluğu (kWh/m <sup>3</sup> )	0,4-0,9 kWh/m <sup>3</sup> K			50-80		
Ömür (yıl veya çevrim)	1000–3000	3000–5000	5000–7500	1000–3000	3000–5000	5000–7500
Çalışma sıcaklığı (°C)	-150–1000			-40–700	-50–950	

**Çizelge 4. Isı Enerjisi Depolama Teknolojilerinin Maliyet Karşılaştırması (Vallese ve Ark., 2026)**

Teknoloji	Maliyet (EUR/kWh)	Yatırım Maliyeti (EUR/kW)	İşletme ve Bakım Maliyeti (EUR/kW/yıl)
STES	0.1–50	3400–4500	70–250
LTES	8–50	6000–15,000	120–750
TCES	8–100	1000–30,000	20–1500

### 3.1. Duyulur Isı Enerjisi Depolama

*Maliyet aralığı:* Duyulur ısı enerjisi depolama (STES) sistemlerinin maliyeti 0,1–50 EUR/kWh aralığında değişir. Bu geniş aralık, STES'in çok uygun maliyetli olabileceğini, ancak sistemin özel malzemelerine ve ölçeğine bağlı olarak da artabileceğini göstermektedir.

*Yatırım maliyeti:* STES sistemlerinin yatırım maliyeti 3400–4500 EUR/kW aralığında değişir. Bu yatırım maliyeti kısmen düşüktür ve STES'i hem küçük ölçekli konut hem de büyük ölçekli endüstriyel uygulamalar için uygun bir seçenek haline getirmektedir.

*İşletme ve bakım maliyeti:* STES sistemlerinin yıllık işletme ve bakım maliyeti 70–250 EUR/kW aralığında değişir. İşletme ve bakım ve maliyetleri yönetilebilir düzeydedir. Bu durum STES'in çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılmasına katkıda bulunmaktadır.

### 3.2. Gizli Isı Enerjisi Depolama

*Maliyet aralığı:* Gizli ısı enerjisi depolama (LTES) sistemlerinin maliyeti 8–50 EUR/kWh aralığında değişir. Genellikle STES'ten daha pahalı olsa da, LTES daha yüksek enerji yoğunluğu sunar. Bu durum, alanın kısıtlı olduğu uygulamalarda, LTES sistemlerinin daha yüksek maliyetini haklı çıkarabilir.

*Yatırım maliyeti:* LTES sistemlerinin yatırım maliyeti 6000–15000 EUR/kW aralığında değişir. Daha yüksek yatırım maliyeti, verimli çalışması için çok önemli olan LTES sistemlerinde kullanılan karmaşık teknoloji ve malzemeleri (PCM) yansıtır.

*İşletme ve bakım maliyeti:* LTES sistemlerinin yıllık işletme ve bakım maliyeti 120–750 EUR/kW aralığında değişir. İşletme ve bakım ve maliyetleri daha yüksektir. Bunun nedeni özel ekipman ihtiyacı ve PCM'lerin değiştirilmesidir.

### **3.3. Termokimyasal Enerji Depolama**

*Maliyet aralığı:* Termokimyasal ısı depolama (TCES) sistemlerinin maliyeti 8–100 EUR/kWh aralığında değişir. TCES sistemleri, basit reaksiyonlardan gelişmiş malzemeler gerektiren daha karmaşık sistemlere kadar, kullanılan malzeme ve süreçlerin çeşitliliğini yansıtan geniş bir maliyet aralığı sergiler.

*Yatırım maliyeti:* TCES sistemlerinin yatırım maliyeti 1000–30000 EUR/kW aralığında değişir. Bu aralık oldukça geniştir ve TCES'in karmaşıklık ve ölçek açısından önemli ölçüde farklılık gösterebileceğini göstermektedir. Aralığın üst ucu, büyük bir olasılıkla yeni malzemeler ve reaksiyonlar kullanan en son teknoloji sistemleriyle ilişkilidir.

*İşletme ve bakım maliyeti:* TCES sistemlerinin yıllık işletme ve bakım maliyeti 20–1500 EUR/kW aralığında değişir. TCES için işletme maliyetleri oldukça değişkendir. Bu durum, bazı sistemlerin bakımının kısmen kolay olduğunu, diğerlerinin ise kapsamlı ve maliyetli bakım işlemleri gerektirebileceğini göstermektedir.

## **4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR**

Bu bildiriye, farklı TES teknolojilerinin TRL değerlendirmesi ve maliyetleri incelenmiştir. TES sistemleri, yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte kullanıldığında, artan talebi enerji arzıyla dengeleyerek, iklim değişikliğiyle mücadeleye önemli bir katkı sağlamaktadır. STES, piyasada bulunan birçok çözümü içeren en basit ve en olgun teknolojidir. Sonuç olarak, bu alandaki araştırmalar öncelikle yenilikçi malzemelerin ve gelişmiş yalıtım tekniklerinin geliştirilmesi yoluyla ısı depolama kapasitesini artırmaya odaklanmaktadır. Özellikle günümüzde TRL değerleri yaklaşık 5–6 olan bazı katı ortamlara özel önem verilmektedir.

LTES sistemleri de iyi geliştirilmiştir, ancak ticari olarak yaygınlaşmaları büyük ölçüde uygulama özelliklerine bağlıdır. Yaygın kullanımlarının önündeki önemli bir engel, metal köpükler ve parçacıklar eklenerek veya kapsülleme teknikleri kullanılarak artırılacak düşük ısı iletkenlikleridir. TCES sistemlerine olan araştırma ilgisi artmaktadır. Çünkü günümüze kadar yapılan çalışmaların çoğu laboratuvar ölçeğinde gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar için temel zorluklar arasında, geleneksel termokimyasal materyallerin (TCM) reaksiyon kinetiğini, kararlılığını ve dayanıklılığını iyileştirmenin yanı sıra, maliyetleri ve sistem karmaşıklığını değerlendirmek yer almaktadır.

Sonuç olarak, TES sistemlerinin seçimi, uygulamanın özel ihtiyaçlarına ve kısıtlamalarına büyük ölçüde bağlıdır. Özellikle enerji yoğunluğundan ziyade uygun fiyatlılığa öncelik verildiğinde, STES en ekonomik seçenek olarak ortaya çıkarken, LTES, alan kısıtlamalarının veya artan verimliliğin kritik faktörler olduğu senaryolar için cazip bir alternatif sunmaktadır. Ayrıca, TCES, enerji depolama zorlukları için potansiyel uzun vadeli çözümler sunarak TES teknolojisinde umut vadeden gelişmeler sergilemektedir. Bununla

birlikte, yaygın olarak benimsenmesi, önemli maliyetler ve karmaşık bakım gereksinimleri nedeniyle engellenmektedir. Sonuç olarak, bu ödünleşmelerin incelikli bir şekilde anlaşılması, çeşitli sektörlerde ve bağlamlarda TES çözümlerinin uygulanmasında bilinçli karar verme için önemlidir.

## KAYNAKÇA

- [1] Boshell, F. (2020). Innovation Outlook: Thermal Energy Storage. Jones J.B., 2013. Instructions for Growing Tomatoes in the Garden and Green-House. GroSystems, Anderson, SC, USA.
- [2] Hameed G, et al. Low temperature phase change materials for thermal energy storage: current status and computational perspectives. *Sustain Energy Technol Assessments* Mar. 2022;50:101808. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101808>.
- [3] IEA (2023) International Energy Agency. Renewables 2023, Analysis and forecast to 2028.
- [4] Garimella S, Keniar K, Rattner AS, Kini G. Conceptualization and analysis of a novel combined sorption and phase-change material thermal storage system. *J Energy Storage* Dec. 2020;32:101745. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101745>.
- [5] Kant K, Pitchumani R. Advances and opportunities in thermochemical heat storage systems for buildings applications. *Appl Energy* Sep. 2022;321:119299. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119299>.
- [6] Palomba V, Frazzica A. Comparative analysis of thermal energy storage technologies through the definition of suitable key performance indicators. *Energy Build* Feb. 2019;185:88–102. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.019>.
- [7] Pompei L, Nardecchia F, Miliozzi A. Current, projected performance and costs of thermal energy storage. *Processes* Mar. 2023;11(3). <https://doi.org/10.3390/pr11030729>. Art. no. 3.
- [8] Rolka P, Przybylinski T, Kwidzinski R, Lackowski M. The heat capacity of low-temperature phase change materials (PCM) applied in thermal energy storage systems. *Renew Energy* Jul. 2021;172:541–50. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.038>.
- [9] Tripathi BM, Shukla SK. A comprehensive review of the thermal performance in energy efficient building envelope incorporated with phase change materials. *J Energy Storage* Feb. 2024;79:110128. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.110128>.
- [10] Vallese et al., A comprehensive review of thermal energy storage technologies and their applications: Creation of a database. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 225 (2026) 116133
- [11] Zhang Y, Wang R. Sorption thermal energy storage: concept, process, applications and perspectives. *Energy Storage Mater* May 2020;27:352–69. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2020.02.024>.

- [12] Zsembinszki G, et al. A new methodological approach for the evaluation of scaling up a latent storage module for integration in heat pumps. *Energies* Jan. 2021;14 (22). <https://doi.org/10.3390/en14227470>. Art. no. 22.

## VİNİLESTER ESASLI KOMPOZİTLERDE ZEYTİN ÇEKİRDEĞİ DOLGUSUNUN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

**Doç. Dr. İlyas KARTAL**

Marmara Üniversitesi, [ilyaskartal@marmara.edu.tr](mailto:ilyaskartal@marmara.edu.tr) - 0000-0001-9677-477X

**Ezginur ELİBALDENLİ**

Marmara Üniversitesi, [ezginurelibaldenli@marun.edu.tr](mailto:ezginurelibaldenli@marun.edu.tr) - 0009-0007-3156-6006

### ÖZET

Yeşil kompozitler, çevre dostu olarak bilinen malzemelerden üretilen kompozit malzemelerdir. Geleneksel kompozitlere kıyasla daha sürdürülebilir ve çevreye daha az zarar veren alternatiflerdir. Yeşil kompozitler, çevreye duyarlı üretim süreçleri ve kullanım alanları ile sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlar. Günümüzde fosil bazlı plastiklerin yerine daha çevreci alternatifler sunarak karbon ayak izini azaltmaya yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada zeytin çekirdeği yeşil kompozit bileşeni olarak tercih edilmiştir. Matris malzemesi olarak vinilester reçinesi kullanılmıştır. Zeytin çekirdeği öğütülerek belli boyutlar olarak getirilmiştir. Numuneleri hazırlamak için Teflondan kalıp malzemesi hazırlanmıştır. Numunelere sertlik, yoğunluk, Izod darbe ve çekme testleri yapılmıştır. Ayrıca kırık yüzey SEM ile görüntülenerek analiz edilmiştir. Sonuç olarak zeytin çekirdeğinin vinilester esaslı kompozitlerde belli oranlarda dolgu olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Yeşil kompozit, vinilester reçine, mekanik özellikler, zeytin çekirdeği tozu

### GİRİŞ

Zeytin üretimi, Akdeniz iklimine sahip bölgelerde yaygın olarak yapılan bir tarımsal faaliyettir. Türkiye, İspanya, İtalya ve Yunanistan gibi ülkeler dünya zeytin üretiminde başı çeker. Zeytin hem sofralık tüketim hem de zeytinyağı üretimi için yetiştirilir. Dünya Gıda ve Tarım Örgütü verilerine göre en büyük 10 zeytin üretici ülke Akdeniz bölgesinde olup dünya zeytinlerinin %95'ini üretir. Son yıllarda ülkemiz, sofralık zeytin üretiminde İspanya'dan sonra ikinci, tüketimde ise birinci sırada olduğu rapor edilmiştir. TÜİK verilerine göre, dane zeytin üretimi 2022 yılında 2.9 milyon ton iken, 2023 yılı 2.3 milyon ton olarak tespit edilmiştir. Bu üretimin yaklaşık üçte biri sofralık zeytindir. Önümüzdeki birkaç yıl içinde ülkemiz üretim rakamın 3 milyon tonu geçeceği tahmin edilmektedir [1-3].

Zeytin çekirdeği, genellikle atık olarak görülse de, çeşitli alanlarda değerlendirilebilen faydalı bir yan üründür. Çok yüksek miktarlarda üretim olması aynı zamanda büyük miktarlarda zeytin çekirdeği ortaya çıkarmaktadır. Bir zeytin danesinin çekirdeği, danenin yaklaşık üçte biri ağırlığındadır. Ülkemiz için zeytin çekirdeği atığı yıllık yaklaşık 750 bin tondan fazla olduğu tahmin edilmektedir [4-5].

Zeytin üretiminde ortaya çıkan atıkların geri dönüşümü, çevresel sürdürülebilirliği artırmakta ve kompozit malzemelerin dolgu maddesi olarak kullanılma potansiyeli sunmaktadır. Bu yaklaşım, hem çevresel sorunların azaltılmasına hem de ekonomik faydaların sağlanmasına katkı sağlamaktadır. Gelecek araştırmalar, farklı atık türlerinin kompozit malzemelerdeki etkilerini derinlemesine inceleyerek bu alandaki potansiyeli artırabilir.

Bu çalışmada, endüstriyel zeytin çekirdeği atıklarının vinilester matrisinde dolgu maddesi olarak kullanılması incelenecektir. Kompozit sektöründe yaygın bir şekilde kullanılan vinilester, reçinesi matris malzemesi olarak seçilmiştir. Vinilester reçine, epoksi ve polyester reçinelerin özelliklerini birleştiren, yüksek kimyasal dayanıklılık ve mekanik mukavemet sunan bir termoset polimer türüdür. Genellikle kompozit malzemelerde, kaplama uygulamalarında ve denizcilik sektöründe kullanılır. Dolgu maddesi olarak, ülkemizde sıkça tüketilen zeytin çekirdeği tercih edilerek, bu atığın katma değeri yüksek olacak şekilde değerlendirilmesi hedeflenmiştir [6].

## **DENEYSEL ÇALIŞMA**

### **Malzemeler**

Bu çalışmada genel amaçlı olarak kullanılan vinilester reçinesi matris olarak tercih edilmiştir. Bu reçine iyi kimyasal dayanıklılık, iyi mekanik özelliklere sahip olup endüstrinin birçok alanında yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Reçine içinde kobalt esaslı hızlandırıcı hazır olarak bulunmaktadır. Sertleştirici olarak Metil Etil Keton Peroksit, (MEK-Peroksit) kullanılmıştır.

### **Numunelerin Hazırlanması**

Zeytin çekirdeği kurutulma sonrası öğütülerek belirli boyutlara (0-200 mikron) getirilmiştir. Numunelerin hazırlanması için açık kalıp yöntemi kullanılmış, kalıp malzemesi olarak Teflon tercih edilmiştir.

Zeytin çekirdeği tozu reçineye % 5, 10, 15, 20 oranlarında ilave edilerek doyuma ulaşması sağlanmıştır. Test numunelerine 5 mm/dk hızında çekme testi, çentiksiz numunelere 5.4 J Izod çekiç ile darbe deneyi ve Shore D test cihazında sertlik testi uygulanmıştır. Tablo 1’de kompozit numune karışım oranları verilmiştir.

Zeytin Çekirdeği Oranı, (ağırlıkça, %)	Reçine Oranı	Sertleştirici Oranı, %
0	100	1,5
5	100	1,5
10	100	1,5
15	100	1,5
20	100	1,5

**Tablo 1.** Kompozit numune karışımları



**Şekil 1.** Zeytin Çekirdeğinin Öğütülme Öncesi / Sonrası



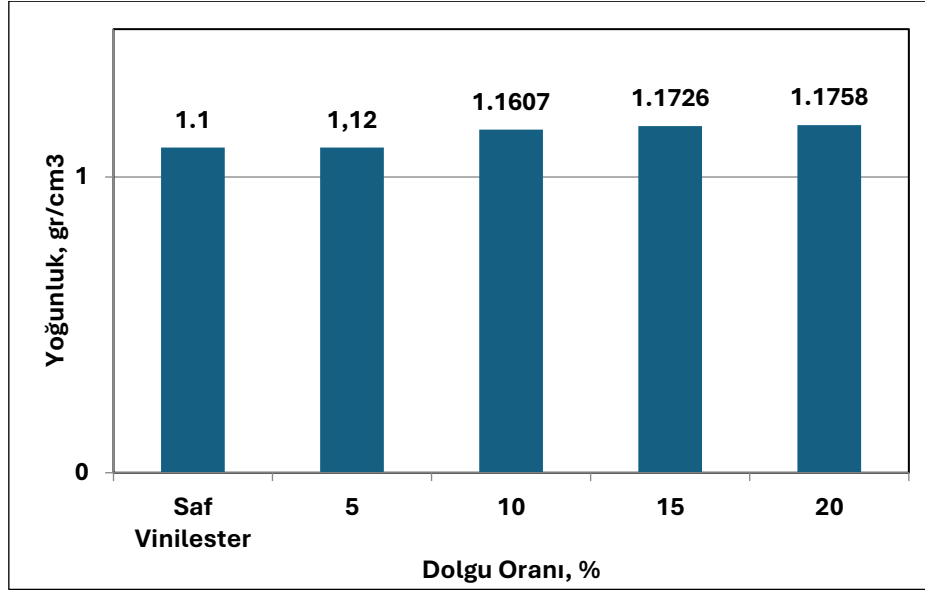
Şekil 2. Zeytin Çekirdeği Dolgulu Numunelerin Kalıptaki Görüntüsü

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ülkemizde bol miktarda ortaya çıkan zeytin çekirdeği öğütülerek vinilester esaslı kompozitlerde dolgu olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda sertlik, yoğunluk, Izod darbe, çekme mukavemeti özellikleri incelenmiştir. Böylece çevreye duyarlı sürdürülebilir kompozit üretimi amaçlanmıştır.

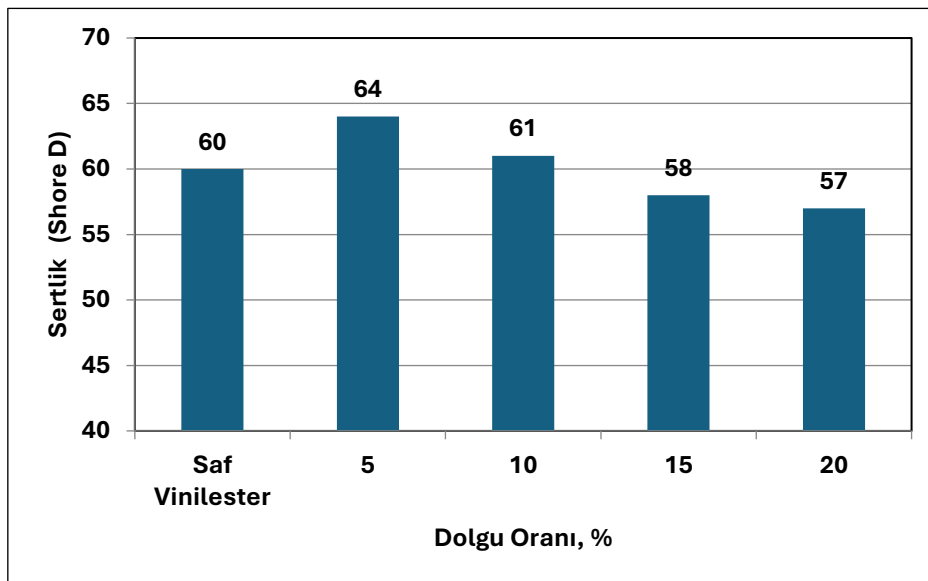
Numunelerin yoğunluk değerleri şekil 2’de verilmiştir. Saf vinilesterin yoğunluğu yaklaşık  $1,10 \text{ g/cm}^3$  iken, %5 dolgu oranında  $1,12 \text{ g/cm}^3$  olmuştur. Bu durum düşük dolgu oranında sistemin hâlâ matris baskın karakterde olduğunu ve dolgunun hacimsel etkisinin sınırlı kaldığını göstermektedir. Dolgu oranı %10’a çıkarıldığında yoğunluk  $1,16 \text{ g/cm}^3$ , %15’te  $1,17 \text{ g/cm}^3$  ve %20’de  $1,17 \text{ g/cm}^3$  değerine yükselmiştir. Yoğunluktaki bu artış, zeytin çekirdeği tozunun vinilester matrisine kıyasla daha yüksek yoğunluğa sahip olması ve artan dolgu miktarının kompozit içinde daha fazla katı faz oluşturması ile açıklanabilir. Ayrıca dolgu parçacıklarının matris boşluklarını doldurması, porozitenin azalmasına ve dolayısıyla yoğunluğun artmasına katkı sağlamış olabilir.

Bununla birlikte yoğunluk artışı doğrusal olmakla birlikte artış miktarı sınırlıdır; bu durum dolgunun organik kökenli ve nispeten düşük yoğunluklu bir malzeme olmasından kaynaklanmaktadır. Genel olarak grafik, zeytin çekirdeği tozu ilavesinin kompozitin yoğunluğunu kontrollü ve kademeli şekilde artırdığını, ancak sistemin hafiflik avantajını tamamen kaybettirmediğini göstermektedir. Bu sonuç, hafif ve sürdürülebilir kompozit tasarımı açısından olumlu değerlendirilebilir.



Şekil 2. Numunelerin yoğunluk değerleri

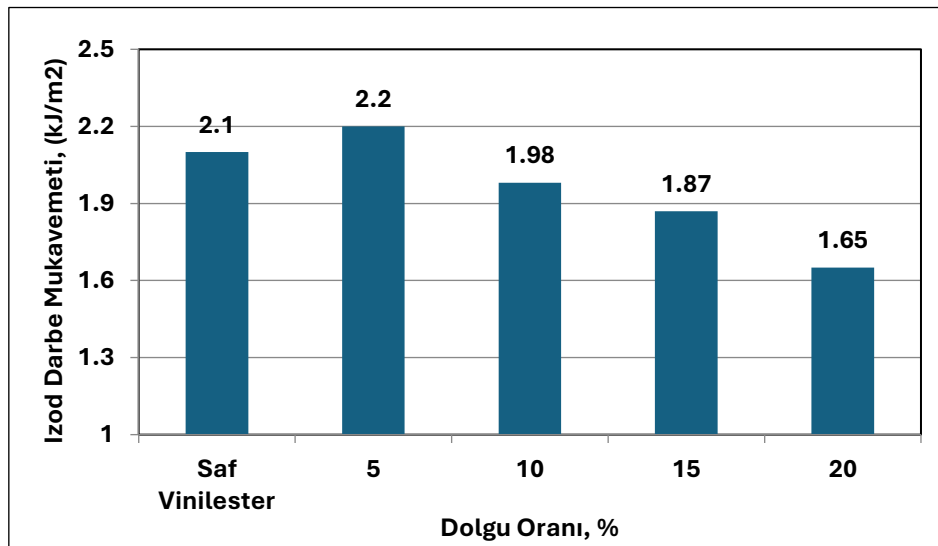
Numunelerin sertlik özellikleri şekil 3'te verilmiştir. Zeytin çekirdeği tozu dolgulu vinilester kompozitlerin Shore D sertlik verileri, literatürdeki biyokompozit çalışmalarıyla genel bir uyum sergilemektedir. Düşük dolgu oranlarında (%5) ulaşılan maksimum değer, dolgunun matris içindeki boşlukları doldurarak polimer zincirlerinin hareketliliğini kısıtladığını göstermektedir. Ancak dolgu oranının %10 ve üzerine çıkmasıyla gözlemlenen sertlik kaybı, literatürde sıkça karşılaşılan topaklanma ve hidrofilik yapıdaki doğal dolgu ile hidrofobik vinilester matris arasındaki zayıf arayüzey bağından kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle %15 ve %20 oranlarındaki düşüş, yüksek dolgu miktarının karışım sırasında hava boşluklarını artırması ve matris sürekliliğini bozmasıyla açıklanabilir; bu durum, zeytin çekirdeği gibi tarımsal atıkların polimer matrislerde belirli bir eşik değerinden sonra mekanik özellikleri zayıflatabildiği gerçeğiyle örtüşmektedir.



Şekil 3. Numunelerin sertlik özellikleri

Şekil 4'te numunelerin Izod darbe mukavemeti özellikleri verilmiştir. Zeytin çekirdeği tozu dolgulu vinilester kompozitlerin Izod darbe mukavemeti değerleri incelendiğinde, sertlik grafiğiyle paralel bir davranış sergileyerek %5 dolgu oranında sınırlı bir artışın ardından belirgin bir düşüş eğilimine girdiği görülmektedir. Saf vinilesterin 2,1 kJ/m<sup>2</sup> olan darbe direncinin %5 dolgu ilavesiyle 2,2 kJ/m<sup>2</sup> seviyesine yükselmesi, düşük oranlardaki zeytin çekirdeği parçacıklarının matris içinde çatlak ilerlemesini engelleyen birer bariyer görevi gördüğünü ve darbe enerjisinin bir kısmını absorbe edebildiğini göstermektedir.

Ancak dolgu oranı %10 seviyesinden itibaren artmaya devam ettikçe darbe mukavemetinde ciddi bir azalma yaşanmakta ve %20 dolgu oranında 1,65 kJ/m<sup>2</sup> ile en düşük seviyeye gerilemektedir. Bu durum, dolgu miktarındaki artışın matrisin sürekliliğini bozarak malzeme yapısını daha gevrek bir hale getirmesinden ve yüksek dolgu konsantrasyonlarında oluşan topaklanmaların gerilme yığılma noktaları oluşturarak çatlak oluşumunu tetiklemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Zeytin çekirdeği tozu düşük oranlarda darbe sönümleme kapasitesine katkı sağlarken, yüksek oranlarda matris ve takviye arasındaki arayüzey zayıflığı nedeniyle kompozitin tokluğunu olumsuz etkilemektedir.



Şekil 4. Numunelerin Izod darbe mukavemeti özellikleri

Tablo 2'de kompozit numunelerin çekme testi sonuçları verilmiştir. Zeytin çekirdeği tozu dolgulu vinilester kompozitlerin çekme testi sonuçları incelendiğinde, çekme mukavemetinin %10 dolgu oranına kadar artış göstererek 21,1 MPa değeriyle tepe noktasına ulaştığı, bu noktadan sonra ise düşüşe geçtiği görülmektedir. Saf vinilesterin 19,6 MPa olan mukavemetinin %5 ve %10 takviye oranlarında iyileşmesi, düşük dolgu miktarlarında zeytin çekirdeği parçacıklarının matris içinde etkili bir yük taşıyıcı olarak görev yaptığını ve arayüzey etkileşiminin iyi olduğu düşünülmektedir. Ancak dolgu oranı %15 ve %20'ye çıktığında mukavemetin sırasıyla 19,1 MPa ve 17,8 MPa değerlerine gerilemesi, aşırı dolgu miktarının matris sürekliliğini bozduğunu ve oluşan topaklanmaların gerilme yığılmalarına yol açtığı, bu da çekme mukavemetini düşürdüğünü göstermektedir. % Uzama değerleri incelendiğinde,

dolgu miktarındaki artışla birlikte malzemenin sünekliğinin sürekli bir azalma eğiliminde olduğu dikkat çekmektedir.

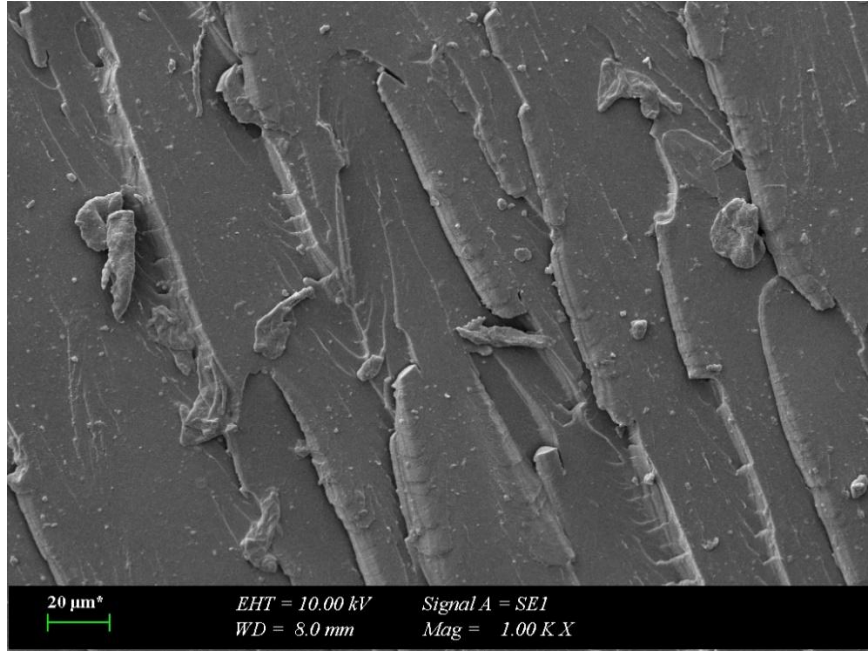
Bu durum, sert parçacıkların polimer zincirlerinin hareket kabiliyetini kısıtlaması nedeniyle kompozitin daha gevrek bir yapı kazandığını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, çekme mukavemeti açısından %10 dolgu oranı optimum nokta olarak belirlenebileceği tespit edilmiştir.

**Tablo 2.** Kompozit numunelerin çekme testi sonuçları

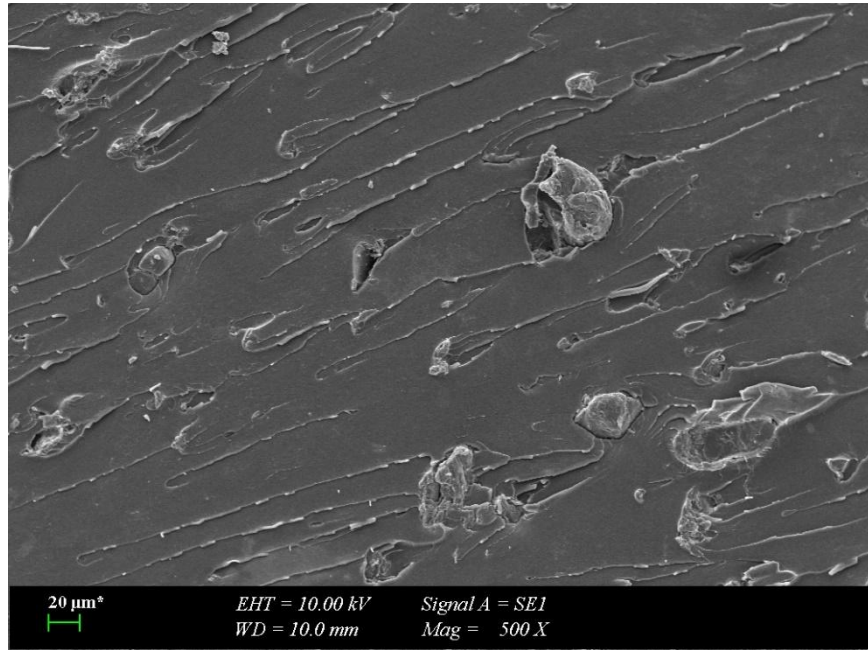
Dolgu Oranı (Ağırlıkça, %)	Çekme Mukavemeti, (MPa)	% Uzama
0	19,6	0,49
5	20,4	0,41
10	21,1	0,39
15	19,1	0,29
20	17,8	0,25

Şekil 5'te numunelerin kırık yüzey görüntüleri verilmiştir. Saf vinilester (a) numunesinde kırılma yüzeyi daha düzgün ve lineer çatlak izleri içeren bir yapı sergilemektedir, çatlak ilerlemesi büyük ölçüde düz bir hat boyunca gerçekleşmiştir. Bu durum matris sürekliliğinin yüksek olduğunu ancak çatlak sapmasını engelleyecek mikro bariyerlerin bulunmaması nedeniyle daha belirgin bir gevrek kırılma davranışının oluştuğunu göstermektedir. Zeytin çekirdeği tozu dolgulu vinilester kompozitine ait SEM görüntüsü incelendiğinde, malzemenin kırık yüzeyinde gözlemlenen nispeten düzlemsel bölgeler vardır. Malzemenin gevrek bir kırılma sergilediğini kanıtlayarak % uzama değerlerindeki düşüşü morfolojik olarak desteklemektedir. Matris içerisinde dağılmış haldeki dolgu parçacıklarının çatlak ilerlemesine karşı bir bariyer oluşturması, %5 ve %10 dolgu oranlarında çekme mukavemetinin neden arttığını açıklarken; parçacık çevresinde görülen ayrılmalar ve boşluklar, yüksek dolgu oranlarında matris-takviye arayüzey bağının zayıfladığını ve buna bağlı olarak mukavemet ile darbe direncinin düştüğünü göstermektedir.

Özellikle dolgu parçacıklarının yerinden çıktığı boşluklar, darbe enerjisinin sönmülmesinde rol oynamasına rağmen, %10'un üzerindeki dolgu miktarlarında bu durumun birer gerilme yığılma noktasına dönüşerek mekanik performansı olumsuz etkilediği sonucuna varılmaktadır.



a)



b)

Şekil 5. Numelerin kırık yüzey görüntüleri a) saf vinilester b)%10 zeytin çekirdeği dolgulu kompozit

## SONUÇLAR

Zeytin çekirdeği tozu dolgulu vinilester kompozitler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, %5 ve %10 dolgu oranlarının mekanik performans açısından kritik eşikler olduğu tespit edilmiştir. Sertlik analizlerinde, %5 dolgu ilavesinin matris yoğunluğunu artırarak en yüksek Shore D değerine ulaştığı, ancak bu orandan sonra topaklanma ve hava boşlukları nedeniyle sertliğin kademeli olarak düştüğü gözlemlenmiştir. Çekme mukavemeti %10 dolgu oranında 21,1 MPa ile zirve noktasına ulaşarak saf vinilestere göre iyileşme gösterirken, bu noktadan sonraki artışların matris sürekliliğini bozarak mukavemeti düşürdüğü ve malzemenin

sünekliğini (% uzama) %0,49'dan %0,25'e indirerek daha gevrek bir yapıya dönüştürdüğü belirlenmiştir. Izod darbe testi sonuçları da bu bulguları destekler nitelikte olup, %5 dolgu oranındaki 2,2 kJ/m<sup>2</sup>'lik maksimum mukavemetten sonra dolgu miktarının artmasıyla enerji sönümlenme kabiliyetinin azaldığını ortaya koymaktadır. SEM görüntüleri ise malzemenin gevrek kırılma davranışını ve yüksek dolgu oranlarındaki zayıf arayüzey bağını morfolojik olarak kanıtlamaktadır. Özetle, zeytin çekirdeği tozunun vinilester matrisle kullanımında mekanik özelliklerin optimizasyonu için %5-10 aralığındaki dolgu miktarlarının en uygun çalışma aralığı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu atığın katma değeri yüksek olacak şekilde değerlendirilebileceği tespit edilmiştir.

## KAYNAKÇA

1. Kartal, İ., Güneş, M., & Zeytin, Ç. (2024). Zeytin çekirdeği dolgulu polyester esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi. BILTEK-IX International Symposium on Current Developments in Science, Technology and Social Sciences, Hakkâri, Türkiye, 31 Mayıs–2 Haziran 2024.
2. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2025). Tarım ve Orman Bakanlığı resmi web sitesi. <https://www.tarimorman.gov.tr>
3. Akyıldız, H. (2007). H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> aktivasyonu ile zeytin çekirdeğinden aktif karbon üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
4. Taşdemir, M., & Kaştan, A. (2021). Zeytin çekirdeği tozu ilave edilmiş polipropilen kompozitinin aşınma ve fiziksel özellikleri. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10(2), 568–576. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.876152>
5. IDATAT. (t.y.). Zeytin çekirdeklerinin kullanım alanları. <https://idatat.com/zeytin-cekirdeklerinin-kullanim-alanlari>
6. Taşdemir, M., & Kaştan, A. (2022). Zeytin çekirdeği tozu ilave edilmiş polipropilen kompozitinin mekanik özellikleri. Uluslararası Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 4(1), 36–49.
7. Keskin, E. (2019). Zeytin çekirdeği tozlarının taşıt fren balatalarında kullanımı ve aşınma özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya.

## KESTANE KABUĞU DOLGULU VİNİLESTER ESASLI KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

**Doç. Dr. İlyas KARTAL**

Marmara Üniversitesi, [ilyaskartal@marmara.edu.tr](mailto:ilyaskartal@marmara.edu.tr) - 0000-0001-9677-477X

**Alara Minel ÖLMEZ**

Marmara Üniversitesi, [alara.minel@marun.edu.tr](mailto:alara.minel@marun.edu.tr) - 0009-0002-4826-9108

### ÖZET

Bu çalışmada, sürdürülebilir ve düşük maliyetli bir organik atık olan kestane kabuğunun vinilester matris içerisinde dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Farklı oranlarda hazırlanan kestane kabuğu dolgulu kompozit numunelerin mekanik özellikleri ve kırılma davranışları incelenmiştir. Numuneler standartlara uygun olarak hazırlanmış; sertlik, yoğunluk, Izod darbe ve çekme mukavemeti testleri gerçekleştirilmiş, kırılma yüzeyleri ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, düşük dolgu oranlarında kestane kabuğunun vinilester matris için takviye edici etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle %5 dolgu oranına sahip numune, saf vinilestere kıyasla daha yüksek sertlik ve çekme mukavemeti değerleri sergilemiştir. SEM analizleri, bu iyileşmenin dolgu parçacıklarının matris içerisinde nispeten homojen dağılımı ve etkin gerilme transferi ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Buna karşılık dolgu oranının artmasıyla birlikte arayüzey ayrılmaları ve mikro boşluk oluşumu gibi yapısal kusurların arttığı ve bunun mekanik performansı olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Sonuç olarak, kestane kabuğu düşük oranlarda vinilester esaslı kompozitlerde çevre dostu ve potansiyel bir dolgu malzemesi olarak değerlendirilebilir olduğu, ancak optimum mekanik performans için dolgu oranının optimize edilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kestane kabuğu tozu, termoset, kompozit, mekanik özellikler

### GİRİŞ

Kestane, Asya ve Avrupa kıtalarında yaygın olarak yetiştirilen, ekonomik ve ekolojik açıdan önemli bir sert kabuklu meyvedir. Dünya genelinde kestane üretimi son yıllarda artış eğilimi göstermekte olup, küresel kestane üretimi yıllık yaklaşık 2,3 milyon ton seviyesindedir [1]. Bu üretimin büyük bir bölümü Asya kıtasında yoğunlaşmakta, özellikle Çin Halk Cumhuriyeti dünya kestane üretiminde açık ara lider konumda olup ülkemiz de önemli miktarda kestane üreticisi konumundadır [2-3]. Özellikle Akdeniz ülkelerinde kestane hem gıda sanayinde hem de kırsal ekonomi açısından stratejik bir ürün niteliğindedir [4].

TÜİK verilerine göre, Türkiye’de 2024 yılı itibarıyla yıllık kestane üretimi yaklaşık 74.000 ton seviyesindedir. Ülkede kestane üretimi hem doğal orman alanlarında hem de bahçelerde gerçekleştirilmektedir. Özellikle Aydın ili, Türkiye toplam kestane üretiminin yaklaşık %30–35’ini tek başına karşılamakta olup, ülkenin en önemli kestane üretim merkezidir. Türkiye genelinde kestane yetiştirilen alan büyüklüğü yaklaşık 140.000 dekar, kestane ağacı sayısı ise 3 milyonun üzerinde olarak rapor edilmektedir [5-7]. Bu veriler, kestane üretiminin sürekliliği ve hammaddenin yıllık olarak yenilenebilir nitelikte olması açısından önem taşımaktadır.

Bu yüksek üretim hacmi, kestane işleme süreçleri sonucunda önemli miktarda kestane kabuğu atığının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Gıda amaçlı tüketimde iç meyve ayrıldıktan sonra geriye kalan dış ve iç kabuklar çoğunlukla değerlendirilmeden atık olarak bırakılmakta veya düşük katma değerli alanlarda kullanılmaktadır. Bu durum, kestane kabuğunu sürdürülebilir malzeme geliştirme çalışmaları için potansiyel bir biyolojik atık haline getirmektedir [5].

Tarımsal üretim sonucunda ortaya çıkan biyolojik atıklar, günümüzde çevresel sürdürülebilirlik kapsamında önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Kestane kabuğu; lignoselülozik yapısı, doğal lif içeriği ve biyobozunur karakteri nedeniyle katma değerli malzeme üretimi için uygun bir hammaddedir [8].

Kestane kabuğu genellikle yakma veya doğrudan bertaraf yoluyla değerlendirilmektedir. Ancak bu yöntemler potansiyel bir hammaddenin israf edilmesine neden olmaktadır. Oysa kestane üretiminin yoğun olduğu bölgelerde, kabuk atıklarının düzenli olarak toplanması ve işlenmesi mümkündür. Bu durum, kestane kabuğunu doğal takviye elemanı veya dolgu malzemesi olarak kompozit üretiminde kullanılabilir hale getirmektedir [9].

Türkiye’de kestane üretiminin sürekliliği ve belirli bölgelerde yoğunlaşması, kestane kabuğu temelli kompozit malzemelerin yerli ve sürdürülebilir bir kaynak kullanılarak geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, kestane kabuğunun değerlendirilmesi hem çevresel atık miktarını azaltmakta hem de ekonomik değeri düşük bir yan ürünü yüksek katma değerli bir mühendislik malzemesine dönüştürme potansiyeli sunmaktadır.

Bu çalışmada kurutulmuş kestane kabuğunun vinilester matrisi içinde dolgu olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla belli oranlarda reçineye ilave edilmiş ve numunelerin mekanik özellikleri test edilmiştir.

## **DENEYSEL ÇALIŞMA**

### **Malzemeler**

Bu çalışmada genel amaçlı vinilester reçinesi kullanılmıştır. Reçine içerisinde kobalt hızlandırıcı hazır olarak bulunmaktadır. Vinilester reçine sertleştiricisi olarak % 1,5 oranında (ağırlıkça) Metil Etil Keton Peroksit, (MEK-Peroksit) kullanılmıştır

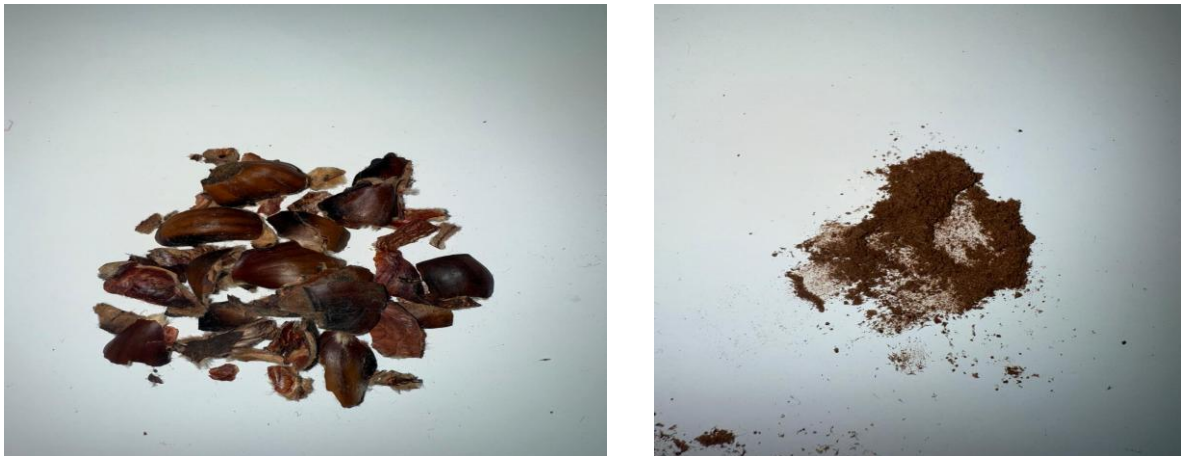
## Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada kestane kabuğu öğütülerek belli boyuta (0-200 mikron) getirilmiştir. Bu partiküller belli oranlarda vinilester reçinesine ilave edilerek kompozit numuneler hazırlanmıştır. Kalıp olarak açık kalıp yöntemi ile döküm yapılmış ve kalıp malzemesi olarak Teflon tercih edilmiştir. İlk olarak ağırlıkça %5 oranından başlayarak doyum noktası olan %20 oranına kadar devam ettirilmiştir. Ancak %20 dolgulu kompozit numuneler sertleşme göstermemiştir. Karışım içerikleri tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Karışımların içerikleri

Kestane Kabuğu Oranı, (ağırlıkça, %)	Reçine Oranı	Sertleştirici Oranı
0	100	1,5
5	100	1,5
10	100	1,5
15	100	1,5
20	100	1,5

Kompozit numunelerin çekme testi ISO 527 standardına göre 5mm/dk hızında, çentiksiz darbe deneyi numuneleri 5.4 J Izod çekiç ile, sertlik testi ölçümleri Shore D test cihazında icra edilmiştir. SEM analizi Marmara Üniversitesi Nanoteknoloji ve Biyomalzemeler Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 1’de çekme deneyi için üretilen kompozit numunelerin fiziki görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 1.** Kestane kabuğunun öğütülmeden önceki ve sonraki hali

## BULGULAR VE TARTIŞMA

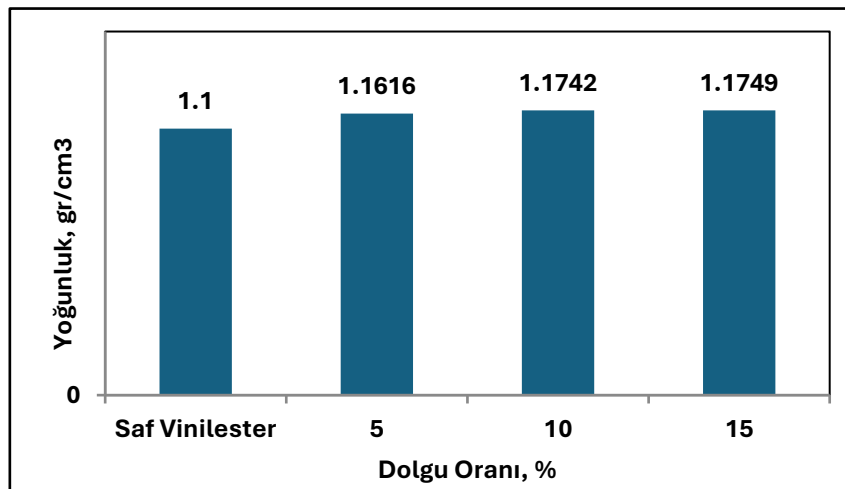
Bu çalışmada, doğal dolgulu termoset esaslı kompozit üretimi yapılmış ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada doğal dolgu olarak ülkemizde bol bulunan kestane kabuğu kullanılarak çevreye duyarlı bir kompozit üretimi hedeflenmiştir. Matris malzemesi olarak kompozit endüstrisinde çok yoğun olarak kullanılan genel amaçlı vinilester reçinesi kullanılmıştır.

Kestane kabuğu dolgulu vinilester esaslı kompozit sistemlerinde, %20 dolgu oranında yeterli düzeyde sertleşme gerçekleşmemiştir. Kestane kabuğu, tanen ve çeşitli fenolik bileşikler açısından zengin bir yapıya sahiptir. Bu fenolik bileşenler radikal tutucu özellik göstererek serbest radikallerle reaksiyona girmekte ve polimerizasyon zincirini sonlandırmaktadır. Özellikle yüksek dolgu oranlarında bu etki daha belirgin hale gelmekte ve radikal üretim hızı ile radikal tüketim hızı arasındaki denge bozulmaktadır. Sonuç olarak çapraz bağ yoğunluğu düşmekte ve tam kürleme sağlanamamaktadır. Bunun yanında kestane kabuğunun hafif asidik karakteri, kobalt hızlandırıcı içeren vinilester sistemlerinde reaksiyon kinetiğini olumsuz etkileyebilmektedir.

Şekil 2’de kompozit numunelerin yoğunluk değerleri verilmiştir. Yoğunluk değerleri incelendiğinde, saf vinilester yoğunluğunun 1,10 g/cm<sup>3</sup> olduğu, kestane kabuğu dolgu ilavesiyle birlikte bu değer kademeli olarak arttığı görülmektedir.

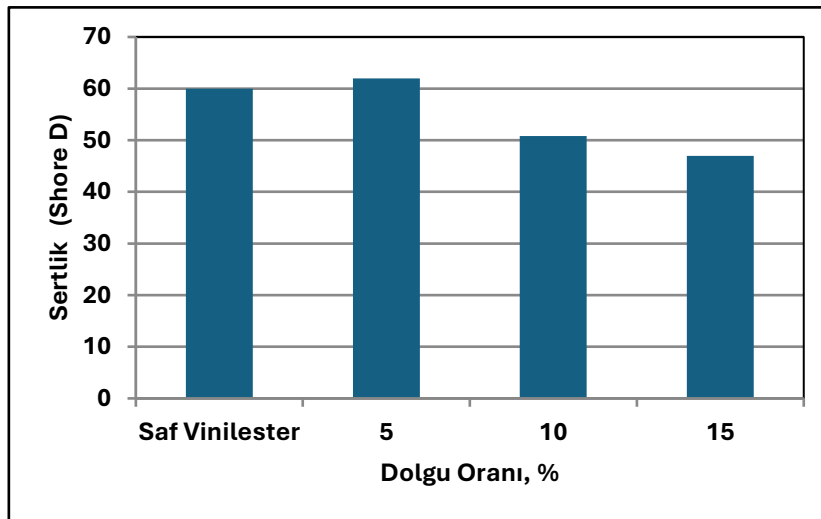
Kestane kabuğu partiküllerinin matris içerisine dahil edilmesiyle kompozit yapının toplam kütleini artırmaktadır. Doğal lignoselülozik bir malzeme olan kestane kabuğu; selüloz, hemiselüloz ve lignin içeren kompakt bir yapıya sahiptir. Öğütülmüş dolgular, kompozitin birim hacim başına düşen kütleini artırmaktadır. Bu durum, yoğunluk değerlerindeki düzenli yükselişi desteklemektedir.

Belirli bir dolgu oranından sonra sistemin yoğunluk artışına doygunluk göstermeye başlamıştır. Yüksek dolgu oranlarında partikül-topaklanması (aglomerasyon) ve matris içerisinde homojen dağılmama gibi durumlar oluşabilmekte, bu da ilave edilen dolgunun yoğunluğa katkısını sınırlayabilmektedir.



Şekil 2. Kompozit numunelerin yoğunluk değerleri

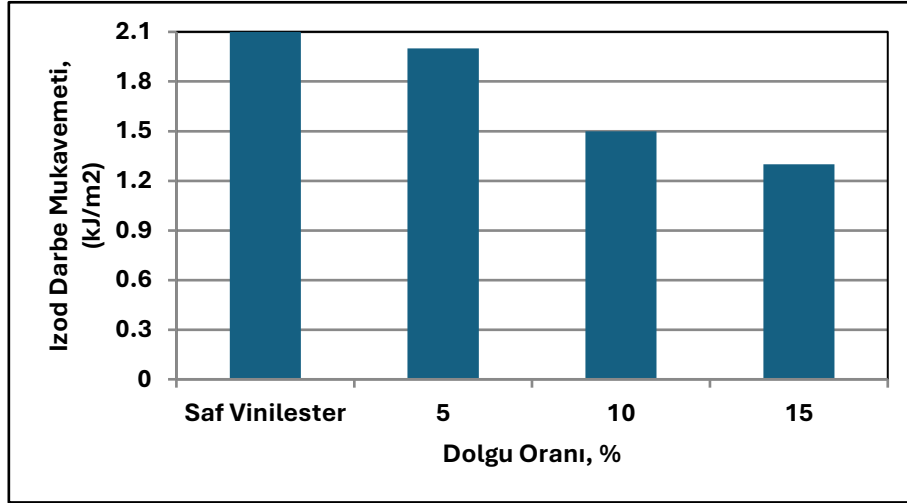
Şekil 3'te kompozit numunelerin sertlik değerleri verilmiştir. %5 dolgulu numunenin sertliği en yüksek değer olarak tespit edilmiştir. Kestane kabuğu %10 ve sonrası ilavesiyle sertlik değeri azalmaktadır. Bu azalış, yüksek dolgu oranlarında matris–dolgu ara yüzey etkileşiminin zayıflaması ve partikül aglomerasyonunun artması ile açıklanabilir. Doğal dolgu malzemelerinin hidrofilik karakteri ile vinilester reçinenin hidrofobik yapısı arasındaki uyumsuzluk, yüksek oranlarda ara yüzey bağının zayıflamasına neden olabilir. Bu durum yük transferinin etkinliğini azaltmakta ve sertlik değerinde düşüşe yol açmaktadır. Ayrıca artan dolgu oranı ile birlikte sistemde mikro boşluk oluşumu ve homojen dağılmama ihtimali yükselmektedir. Bu tür yapısal düzensizlikler, yüzey sertliği üzerinde olumsuz etki oluşturabilmektedir. Sonuç olarak, kestane kabuğu dolgu oranının düşük seviyelerde sertliği artırıcı etki gösterdiği, ancak belirli bir oranın üzerinde matris bütünlüğünü zayıflatarak sertlik değerini düşürdüğü anlaşılmaktadır. Sertlik için en ideal dolgu oranının %5 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Kompozit numunelerin sertlik değerleri

Şekil 4'te kompozit numunelerin Izod darbe mukavemeti değerleri verilmiştir. Darbe deneyi değerleri dikkate alındığında en yüksek darbe direnci saf vinilesterde 2,1 kJ/m<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. %5 dolgu oranında bu değer 2,0 kJ/m<sup>2</sup>'ye hafif bir düşüş göstermiştir. Dolgu ilavesiyle birlikte kompozit yapı daha rijit hale gelirken, kırılma tokluğu kısmen azalmıştır. Bunun nedeni, dolgu partiküllerinin çatlak ilerlemesini kolaylaştırabilecek gerilim yığılma noktaları oluşturabilmesidir. Dolgu oranının %10'a çıkarılmasıyla darbe mukavemeti 1,5 kJ/m<sup>2</sup>'ye, %15'e çıkarılmasıyla ise 1,3 kJ/m<sup>2</sup>'ye düşmüştür. Bu kademeli azalış, artan dolgu miktarı ile birlikte kompozit yapının daha kırılğan bir karakter kazanmasıyla ilişkilidir. Kestane kabuğu partikülleri yeterli ara yüzey aderansı sağlayamadığında çatlak başlatıcı gibi davranabilmekte ve darbe altında enerjinin absorbe edilmesini zorlaştırmaktadır. Doğal lif ve kabuk bazlı dolgular genellikle elastik deformasyon kapasitesini sınırlayarak darbe dayanımını düşürme eğilimindedir. Bu çalışmada da benzer bir eğilim gözlemlenmiş; dolgu oranı arttıkça

kompozitin enerji sönümlenme kapasitesinin azaldığı belirlenmiştir. Özellikle %10'dan sonra düşüşün daha belirgin hale gelmesi, yüksek dolgu oranlarında ara yüzey bağının kritik rol oynadığını göstermektedir. Sonuç olarak, kestane kabuğu ilavesi kompozitin sertlik ve darbe davranışını farklı yönlerde etkilemiştir. Düşük dolgu oranlarında sertlik artışı gözlenirken, yüksek oranlarda hem sertlik hem de darbe mukavemeti azalmıştır. Bu bulgular, optimum dolgu oranının belirlenmesinin kompozit performansı açısından kritik olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Kompozit numunelerin Izod darbe mukavemeti değerleri

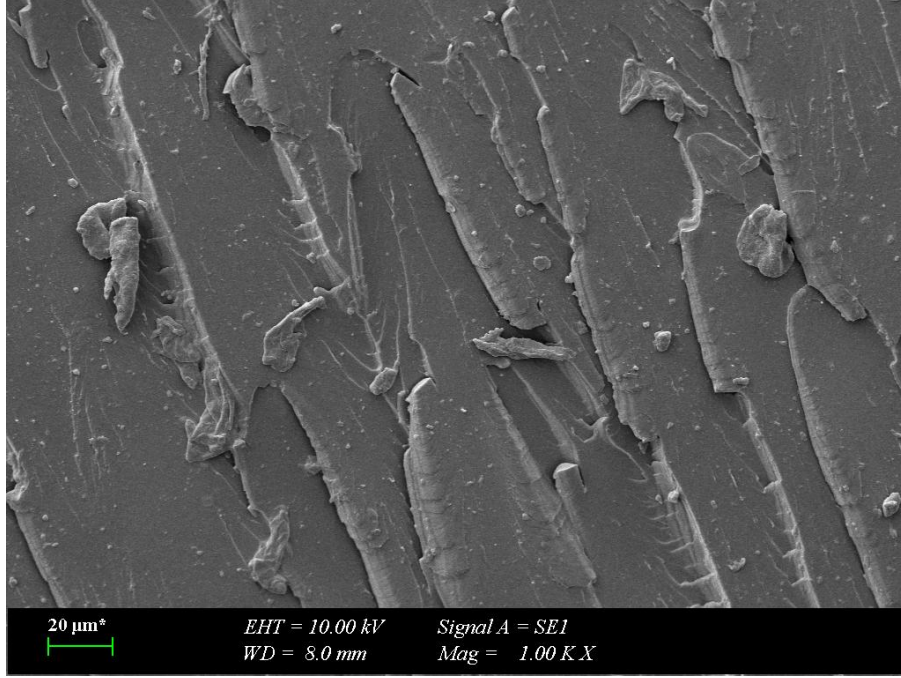
Kompozit numunelere ait çekme testi sonuçları tablo 2'de verilmiştir. Saf vinilester reçinesinin çekme mukavemeti 19,6 MPa'dır. Kestane kabuğu dolgusu %5 oranında eklenmesi mukavemeti artırmış ve yaklaşık 20,4 MPa ile en yüksek değere ulaşılmıştır. Bu durum, düşük katkı oranında dolgunun matrise sınırlı da olsa güçlendirici etki sağlamasıyla ilişkilendirilebilir. Ancak dolgu oranı %10, %15 seviyelerine çıktığında çekme mukavemeti kademeli olarak azalmıştır. Bu düşüşün, yüksek dolgu miktarının matris bütünlüğünü zayıflatması ve ara yüzeyde gerilme birikimlerine yol açmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir.

% uzama değerleri incelendiğinde ise tüm dolgu oranlarında sünekliğin azaldığı görülmektedir. Artan dolgu miktarı, kompozitin deformasyon kabiliyetini sınırlamış ve yapıyı daha rijit bir hale getirmiştir.

Tablo 2. Kompozit numunelerin çekme testi sonuçları

Dolgu Oranı (Ağırlıkça, %)	Çekme Mukavemeti, (MPa)	% Uzama
0	19,6	0,49
5	20,4	0,38
10	18,1	0,36
15	13,1	0,29

Şekil 5'te numunelerin kırık yüzey görüntüleri verilmiştir. SEM analizleri, kestane kabuğu dolgulu vinilester kompozit ile saf vinilester numunesi arasında morfolojik farklılıklar olduğunu göstermektedir. Saf vinilester (a) numunesinde kırılma yüzeyi daha homojen, düzgün ve lineer çatlak izleri içeren bir yapı sergilemekte olup, çatlak ilerlemesi büyük ölçüde düz bir hat boyunca gerçekleşmiştir. Bu durum matris sürekliliğinin yüksek olduğunu ancak çatlak sapmasını engelleyecek mikro bariyerlerin bulunmaması nedeniyle daha belirgin bir gevrek kırılma karakterinin oluştuğunu göstermektedir. Buna karşılık kestane kabuğu dolgulu kompozitte kırılma yüzeyi daha pürüzlü ve heterojen bir morfoloji sergilemekte, matris içerisinde gömülü dolgu parçacıkları, yer yer parçacık çekilme izleri ve sınırlı arayüzey ayrılmaları gözlenmektedir. Dolgu varlığı çatlak ilerleme yönünü değiştirerek çatlak sapmasına neden olmuş ve kırılma yüzeyinde daha karmaşık bir topografi oluşturmuştur. Bu durum, özellikle düşük dolgu oranlarında daha etkin gerilme transferi ve daha yüksek kırılma enerjisi ile ilişkilendirilebilir. Nitekim %5 dolgu içeren numunenin daha yüksek sertlik ve çekme mukavemeti göstermesi, dolgu partiküllerinin matris içerisinde yeterli dağılım sağlayarak mekanik performansa katkı sunduğunu desteklemektedir. Ancak arayüzeyde gözlenen yerel boşluklar ve parçacık çekilme izleri, dolgu oranının artması durumunda mekanik özelliklerin sınırlanabileceğine işaret etmektedir.



a)



b)

Şekil 5. Numuların kırık yüzey görüntüleri a) saf vinilester b) %5 kestane dolgulu kompozit

## SONUÇLAR

Bu çalışmada kestane kabuğu dolgulu vinilester esaslı kompozitlerin mekanik özellikleri dolgu oranına bağlı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, düşük oranlı dolgu kullanımının sistem üzerinde olumlu bir takviye etkisi oluşturduğunu göstermiştir. Özellikle %5 oranında kestane

kabuğu içeren numunenin, saf reçineye ve daha yüksek dolgu oranlarına kıyasla daha yüksek sertlik ve çekme mukavemeti değerleri sergilediği, darbe mukavemetinin ise tolere edilebilir seviyede düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum, düşük dolgu içeriğinde parçacıkların matris içerisinde daha homojen dağıldığını ve iyi arayüzey özellikler gösterdiğini ifade eder.

Buna karşılık dolgu oranının artırılmasıyla birlikte mekanik özelliklerde düşüş gözlenmiş olup, bu durum yüksek dolgu miktarının reçine sürekliliğini bozması, parçacık aglomerasyonu oluşturması ve arayüzey bağlanmasının zayıflaması ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca kestane kabuğu, tanen ve çeşitli fenolik bileşikler açısından zengin bir yapıya sahip olmasıyla radikal tutucu özellik göstererek serbest radikallerle reaksiyona girmekte ve polimerizasyonu olumsuz etkilemektedir. Özellikle yüksek dolgu oranlarında bu etki daha belirgin hale gelmekte ve radikal üretim hızı ile radikal tüketim hızı arasındaki denge bozulmaktadır. Sonuç olarak çapraz bağ yoğunluğu düşmekte ve tam kurlenme sağlanamamaktadır. Yine kestane kabuğunun hafif asidik karakteri, kobalt hızlandırıcı içeren vinilester sistemlerinde reaksiyon kinetiğini olumsuz etkileyebilmektedir.

Sonuç olarak, kestane kabuğunun düşük oranlarda kullanımı vinilester matris için mekanik açıdan avantaj sağlamakta; ancak optimum dolgu oranının aşılması durumunda takviye etkisi zayıflamaktadır. Bu bulgular, kestane kabuğu dolgusu gibi sürdürülebilir organik atık dolguların polimer kompozitlerde etkin biçimde kullanılabilmesi için dolgu oranı optimizasyonunun önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

## KAYNAKÇA

1. FAO. (2024). FAOSTAT. Crops and Livestock Products: Chestnut Production. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <https://www.fao.org/faostat/>
2. FAO. (2024). *World chestnut production statistics*. FAOSTAT Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/>
3. AtlasBig. (2023). *Chestnut production by country*. <https://www.atlasbig.com/en-us/countries-by-chestnut-production>
4. Giovanni Bounous. (2002). *Present and future of chestnut production in Mediterranean countries*. Acta Horticulturae, 693. International Society for Horticultural Science. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.693.1>
5. Alejandro Vázquez, María A. Ricciari, & Tomás Carvalho. (2007). *Agricultural waste as raw material for sustainable composites*. Journal of Cleaner Production, 15(1), 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.10.003>
6. TÜİK.(2024). *Bitkisel üretim istatistikleri: Kestane üretimi*. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr>

7. Aydın Ticaret Borsası. (2024). *Türkiye kestane sektör raporu*. <https://www.aytob.org.tr>
8. Roger M. Rowell. (2012). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites* (2nd ed.). CRC Press.
9. Oksman Faruk, Andrzej K. Bledzki, Hans-Peter Fink, & Mohini Sain. (2012). *Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010*. *Progress in Polymer Science*, 37(11), 1552–1596. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>
10. Kim L. Pickering (Ed.). (2008). *Properties and Performance of Natural-Fibre Composites*. Woodhead Publishing.

## **CAUSAL ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY OF SHIP FRESHWATER GENERATORS USING THE DEMATEL METHOD**

**Burak AY**

Sakarya University of Applied Sciences, 25500909054@subu.edu.tr, 0009-0004-0498-0429

**Asst. Prof. Dr. Seyid Mahmud Esad DEMIRCI**

Sakarya University of Applied Sciences, smedemirci@subu.edu.tr, 0000-0002-9162-1122

### **ABSTRACT**

Freshwater generators (FWGs) are critical auxiliary systems on board ships, as they supply the freshwater required for both crew consumption and essential machinery operations. Their efficient and reliable performance is vital for maintaining operational continuity, energy efficiency, and cost control, particularly during long voyages where external water supply is not available. In practice, however, FWG systems are frequently subject to performance losses caused by the interaction of multiple environmental, technical, and operational factors. This study investigates the factors affecting the efficiency of vacuum-type freshwater generators and examines the causal relationships among these factors using the DEMATEL method. The evaluation criteria were identified through a combination of literature review, field experience, and expert opinions, and were grouped under seawater system parameters, hot water system parameters, and operational and maintenance-related factors. The DEMATEL approach was applied to determine both the level of influence among these factors and their cause–effect relationships. The results indicate that operational and maintenance-related factors, such as low ejector pump pressure, system leaks, and fouling on heat transfer surfaces, are the primary root causes of efficiency loss. In contrast, parameters such as vacuum level and feed water flow rate were identified as effect factors, showing that they are outcomes of underlying system issues rather than direct causes. The findings emphasize the importance of focusing on root causes instead of observable symptoms and provide a structured decision-support framework for improving the performance and reliability of FWG systems in marine applications.

**Anahtar Kelimeler:** Freshwater generator, Seawater desalination, Marine auxiliary systems, Water production efficiency, DEMATEL method, Cause–effect analysis

## 1. INTRODUCTION

Freshwater is one of the most essential resources for both human life and industrial processes. On board ships, its importance is even more pronounced due to the isolated nature of maritime operations. Freshwater is required not only for basic crew needs such as drinking, cooking, and hygiene, but also for critical engineering applications. These include jacket water cooling systems, boiler feed water, and various auxiliary processes where water quality directly affects system performance, efficiency, and equipment lifespan [1]. Given that ships operate far from shore-based supply systems for extended periods, the continuous production of freshwater becomes a necessity rather than an option. For this reason, freshwater generators (FWGs) have become standard equipment in modern vessels. These systems enable ships to produce freshwater from seawater, ensuring operational independence and reducing reliance on stored water. Any failure or inefficiency in FWG operation can therefore lead to serious operational constraints, increased costs, and potential safety risks [2]. Therefore, the reliable and efficient operation of FWGs is a fundamental requirement for sustainable ship operations. In practice, FWG systems often suffer from performance losses. These losses appear as reduced water production, higher energy consumption, and increased maintenance needs. In most cases, such problems do not result from a single failure. Instead, they arise from the interaction of multiple factors. These include the seawater (SW) system, the hot water (HW) system, and operational or maintenance-related conditions. For example, a reduction in seawater flow can disturb the vacuum level [3]. This directly affects evaporation and reduces freshwater production. Similarly, low temperature or insufficient flow in the hot water system limits heat transfer [4]. Ultimately, the evaporation process becomes less efficient. Water quality is another important issue [1], [5]. High salinity or mineral content can lead to scaling and corrosion. Over time, this damages heat transfer surfaces and reduces system performance.

Various desalination technologies are available for marine applications, including multi-effect evaporation, reverse osmosis, multistage flash evaporation, and conventional evaporators [4]. Among these, low-temperature, vacuum-type single-stage freshwater generators are the most widely used due to their simple design, compact structure, and compatibility with limited waste heat sources [6]. Numerous studies in the literature have focused on improving the thermodynamic performance of desalination systems. For example, Al-Juwayhel et al. (1997) highlighted the efficiency potential of vapor compression systems, while Aly and El-Figi (2003) analyzed the effects of operational parameters such as flow rate and temperature on system performance [7], [8]. Similarly, Shih and Shih (2007) identified multiple-effect distillation with thermal vapor compression as a highly efficient configuration [9]. Other studies have explored alternative heat sources [10], design parameter impacts [11], and thermo-economic optimization approaches [12], [13], [14]. These studies demonstrate that system performance is strongly influenced by thermodynamic, structural, and operational parameters. Previous studies mainly focus on thermodynamic performance and system design. Energy efficiency is also a common topic in the literature. However, the relationships between operational errors, maintenance issues, and system performance are not well explored. In particular, studies that analyze these relationships using multi-criteria decision-making methods are limited [15].

This study aims to address this gap. The DEMATEL method is used to examine the relationships between the factors affecting FWG efficiency. The focus is not only on identifying important factors, but also on understanding how they influence each other. In this way, root causes and resulting effects can be distinguished. The findings are expected to support decision-making in maintenance planning and system operation.

## 2. MATERIALS AND METHOD

### 2.1. System Description

This study focuses on vacuum-type freshwater generators commonly used on ships. These systems produce freshwater by evaporating seawater under low pressure conditions. The operating temperature is generally between 40 and 60°C. The required heat is obtained from the waste heat of the main engine jacket cooling water. The system mainly consists of an evaporator, condenser, ejector system, and distillate pump. The vacuum level is one of the most critical parameters in the system. Any reduction in vacuum increases the boiling temperature and directly reduces freshwater production. Therefore, stable vacuum conditions are essential for efficient operation.

### 2.2. Determination of Criteria

The criteria affecting FWG performance were determined based on literature review, onboard observations, and expert opinions. These criteria were grouped into three main categories: seawater system, hot water system, and operational and maintenance factors. The seawater system includes parameters such as seawater temperature, salinity, flow rate, ejector pump pressure, and vacuum level. The hot water system includes temperature and flow rate, which directly affect heat transfer. Operational and maintenance-related factors include issues such as fouling, clogging, leakage, and ejector performance. These criteria were selected to represent both environmental conditions and system-related factors that influence FWG efficiency. Criteria determined for fresh water generator efficiency were presented in Table 1.

**Table 1. Criteria affecting FWG efficiency**

Category	Code	Criterion
Seawater System (SW)	S1	Seawater Temperature
	S2	Seawater Salinity
	S3	Feed Water Flow Rate
	S4	Ejector Pump Outlet Pressure
	S5	Vacuum Rate
Hot Water System (HW)	H1	Hot Water Temperature
	H2	Hot Water Flow Rate
Operational & Maintenance (T)	T1	Partially Clogged Feed Water Orifice
	T2	Residue/Dirt on Hot Water Side
	T3	Fouling on Seawater Side
	T4	Blockage of Inlet Channels
	T5	Low Ejector Pump Pressure
	T6	Leaks
	T7	Foreign Bodies in Ejector Nozzles
	T8	High Back Pressure
	T9	Excessive Hot Water Temperature

### 2.3 DEMATEL Method

The DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) method was used in this study to analyze the interrelationships among the factors affecting the efficiency of ship freshwater generators. This method is suitable for complex systems in which criteria influence each other directly and indirectly [16]. In addition to determining the importance of each criterion, DEMATEL also reveals the cause–effect structure within the system.

In the first step, expert judgments were collected to evaluate the degree of influence of one criterion on another. A scale ranging from 0 to 4 was used, where 0 represents no influence and 4 represents very high influence. Based on these evaluations, the initial direct relation matrix was formed as:

$$A = [a_{ij}]_{n \times n}$$

where  $a_{ij}$  represents the direct influence of criterion  $i$  on criterion  $j$ . The direct relation matrix was then normalized in order to ensure comparability among the values. The normalization factor was calculated using the maximum row sum:

$$s = \max_{0 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

$$M = \frac{A}{s}$$

where  $M$  is the normalized direct relation matrix. After normalization, the total relation matrix was obtained to determine both direct and indirect effects among the criteria. The total relation matrix was calculated as:

$$T = M(I - M)^{-1}$$

where  $I$  is the identity matrix and  $T$  is the total relation matrix. To determine the role of each criterion in the system, the sums of rows and columns of the total relation matrix were calculated. The row sum gives the total influence exerted by a criterion on the others, while the column sum represents the total influence received from the other criteria:

$$D_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}$$

$$R_j = \sum_{i=1}^n t_{ij}$$

Using these values, the prominence and relation measures were obtained. The prominence value is defined as  $D_i + R_i$  and shows the overall importance of a criterion within the system. The

relation value is defined as  $D_i - R_i$ . A positive D–R value indicates that the criterion belongs to the cause group, whereas a negative value shows that it belongs to the effect group.

To visualize the system structure more clearly, a threshold value was applied to the total relation matrix. The purpose of the threshold is to remove weak and less meaningful relationships and to retain only the most critical interactions among the criteria. In many DEMATEL applications, the threshold value is determined using the average of the total relation matrix elements [17]. However, in this study, a stricter approach was adopted in order to identify only the strongest and most significant relationships. The threshold value was therefore calculated by adding two standard deviations to the mean of the total relation matrix values,

$$a = \bar{T} + 2\sigma$$

where  $\bar{T}$  is the arithmetic mean of all elements in the total relation matrix and  $\sigma$  is the standard deviation of these elements. This approach makes the filtering process more selective and allows the analysis to focus on the dominant causal links within the system. As a result, the DEMATEL diagram highlights only the most critical interactions, making the interpretation of the cause–effect structure clearer and more meaningful.

In addition to the cause–effect analysis, the relative weights of the criteria were also calculated. For this purpose, a composite measure was obtained by combining the prominence and relation values of each criterion. First, the squared values of

$$W_i^* = \sqrt{(D_i + R_i)^2 + (D_i - R_i)^2}$$

$W_i^*$  represents the unnormalized weight of criterion  $i$ . In the final step, these values were normalized to obtain the relative criterion weights.

This weighting procedure makes it possible to evaluate each criterion not only according to its total involvement in the system, but also according to its causal role. As a result, the obtained weights provide a more comprehensive basis for ranking the criteria and prioritizing maintenance and operational decisions.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 DEMATEL Results and Cause-Effect Analysis

The total relation matrix heatmap and results obtained from the DEMATEL analysis are presented in Figure 1 and Table 2, respectively.

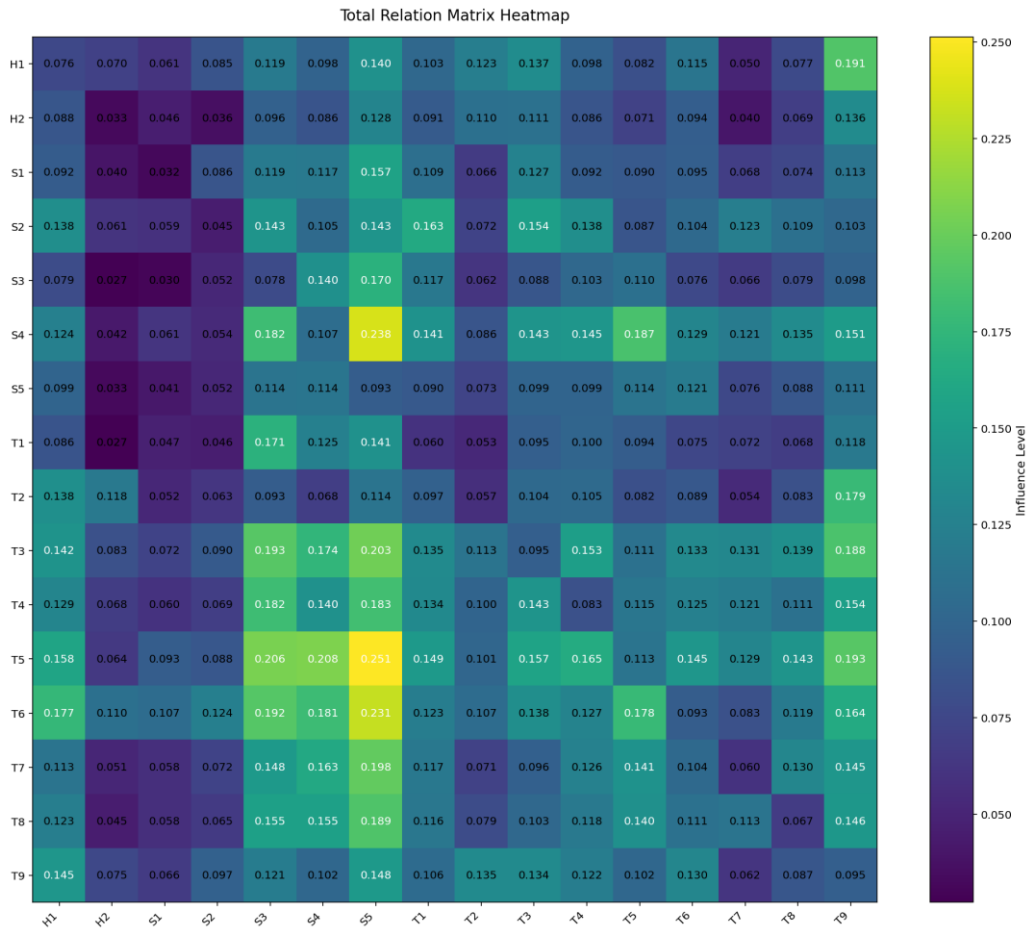
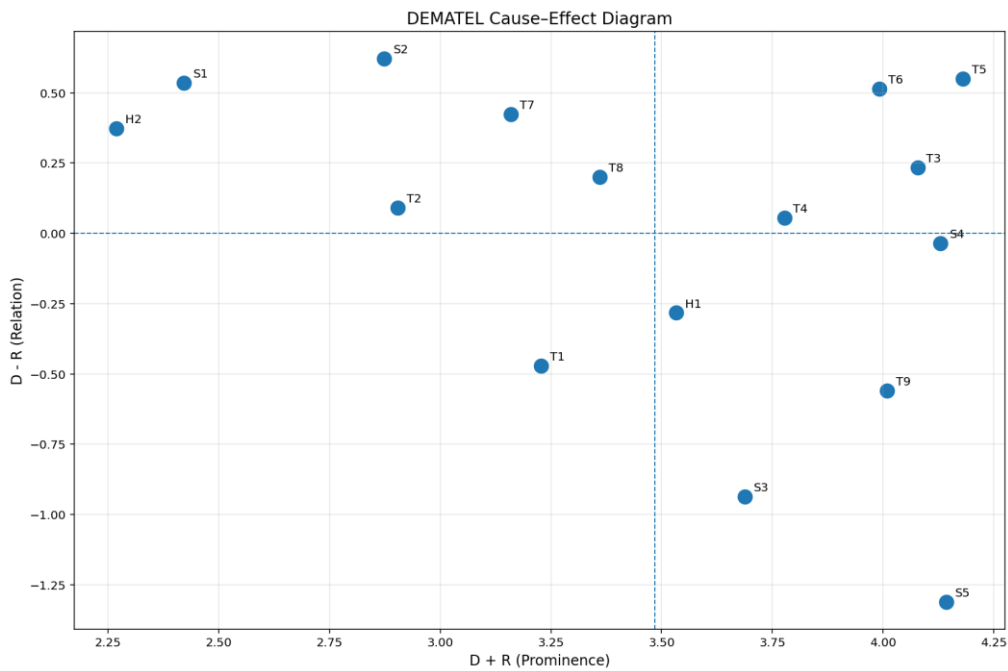


Figure 1. Total relation matrix heatmap

Table 2. DEMATEL analysis results

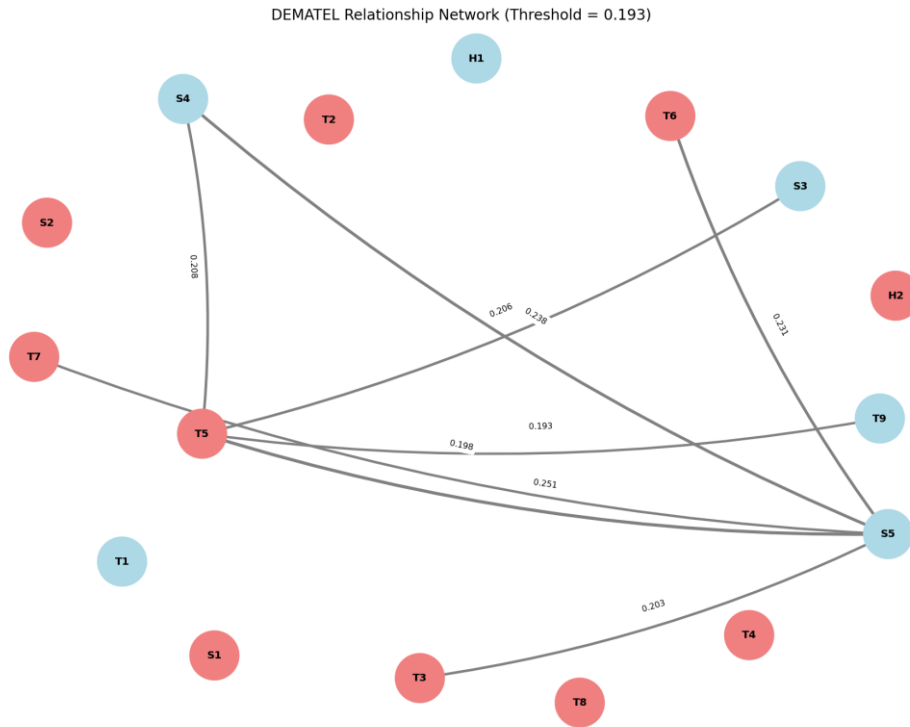
Criteria	D	R	D + R (Prominence)	D – R (Relation)
H1	1.625	1.908	3.533	-0.283
H2	1.321	0.948	2.269	0.373
S1	1.479	0.943	2.423	0.536
S2	1.748	1.126	2.874	0.622
S3	1.376	2.312	3.688	-0.937
S4	2.047	2.083	4.130	-0.036
S5	1.416	2.727	4.143	-1.311
T1	1.378	1.850	3.227	-0.472
T2	1.497	1.407	2.904	0.090
T3	2.156	1.922	4.078	0.234
T4	1.916	1.861	3.778	0.055
T5	2.365	1.815	4.180	0.550
T6	2.253	1.739	3.993	0.514
T7	1.792	1.368	3.160	0.424
T8	1.781	1.580	3.360	0.201
T9	1.725	2.284	4.009	-0.559

To better visualize the relationships among the criteria, a cause–effect diagram based on the DEMATEL results is presented in Figure 2. The diagram clearly illustrates the interaction structure and the distribution of cause and effect factors within the system.



**Figure 2. DEMATEL diagram**

Based on the calculated total relation matrix, the mean value was found as  $\bar{T} = 0.109$  and the standard deviation was calculated as  $\sigma = 0.042$ . Accordingly, the threshold value was obtained as  $\alpha = 0.193$ . Thus, only the relationships with values greater than 0.193 were considered significant in the DEMATEL diagram. Therefore, relationship network is presented in Figure 3. This approach allowed the analysis to focus on the strongest and most meaningful interactions among the criteria while filtering out weaker connections.

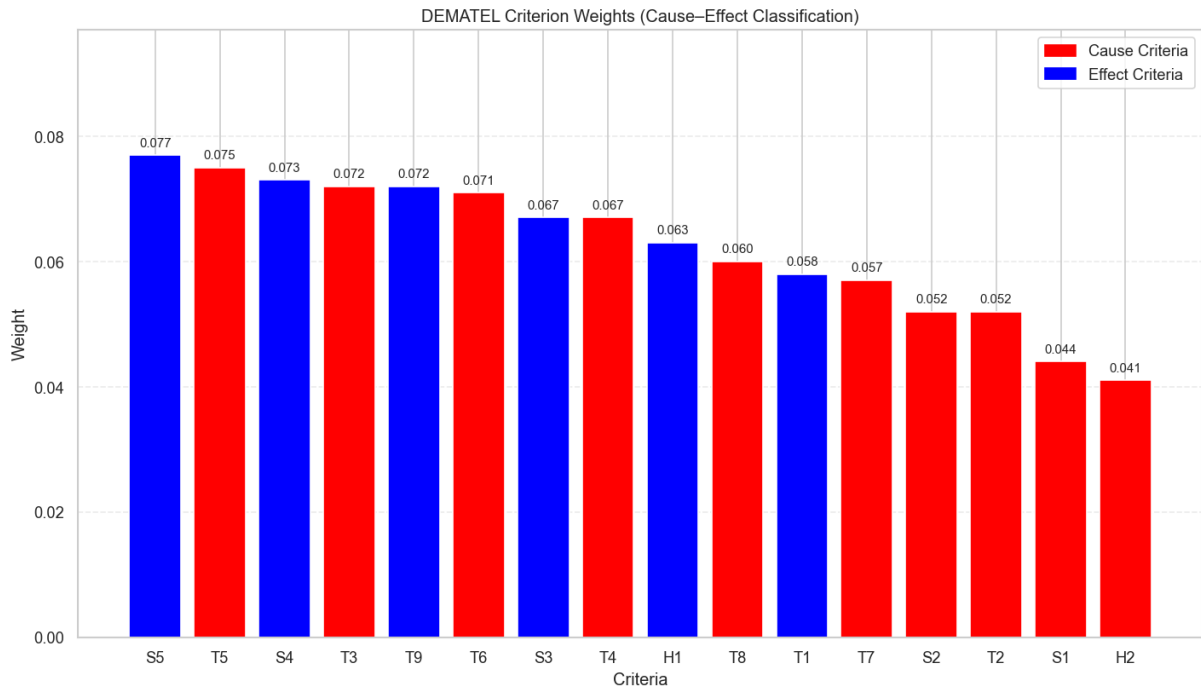


**Figure 3. Critical Relationship Network**

The findings indicate that several operational and maintenance-related factors act as dominant cause factors. In particular, low ejector pump pressure (T5), system leaks (T6), and seawater salinity (S2) have positive (D–R) values, indicating their strong influence on other parameters. Among these, T5 and T6 show the highest causal impact, suggesting that deficiencies in the ejector system and system tightness play a critical role in initiating performance losses. In contrast, vacuum rate (S5) and feed water flow rate (S3) have negative (D–R) values and are classified as effect factors. This result shows that vacuum degradation is not a root cause, but rather a consequence of underlying system issues. Therefore, corrective actions focusing only on vacuum recovery may not provide a permanent solution.

### 3.2 Criteria Importance and Weighting Analysis

The relative importance of each criterion was evaluated. The results are presented in the weighting analysis graph in Figure 4. According to the findings, vacuum rate (S5), low ejector pump pressure (T5), and ejector pump outlet pressure (S4) have the highest importance values. This indicates that the vacuum generation system is central to FWG performance. Although vacuum rate is classified as an effect factor, its high importance value suggests that it should be considered a key performance indicator. This highlights the dual role of vacuum as both a result parameter and a critical indicator of system health.



**Figure 4. Criterion weights classified into cause and effect groups based on DEMATEL analysis**

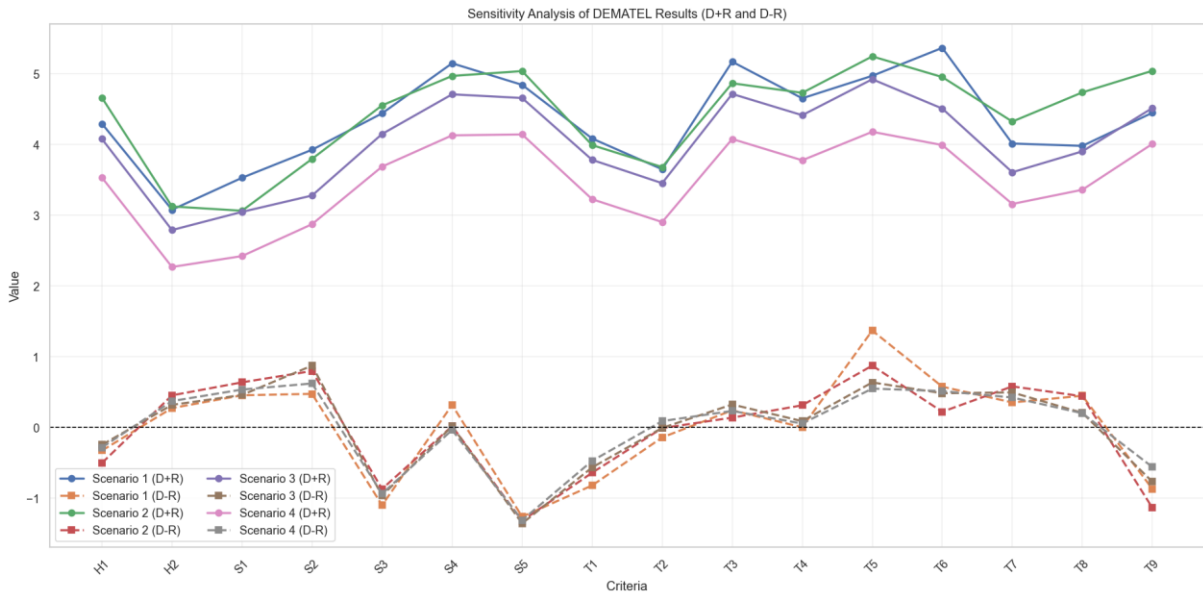
### 3.3. Sensitivity Analysis and Scenario Evaluation

To test the robustness of the results, a sensitivity analysis was conducted using different weighting scenarios for expert evaluations. The weighting distributions applied to the experts are presented in Table 3.

**Table 3. Weighting for expert judgement for various scenarios**

Scenarios	Weights of Expert 1	Weights of Expert 2	Weights of Expert 3	Weights of Expert 4
Scenario 1	0.10	0.30	0.30	0.30
Scenario 2	0.30	0.10	0.30	0.30
Scenario 3	0.30	0.30	0.10	0.30
Scenario 4	0.30	0.30	0.30	0.10

Based on these scenarios, the DEMATEL analysis was repeated, and the results were compared in terms of importance (D+R) and causality (D–R) values. The scenario-based results are presented in Figure 5.



**Figure 5. Sensitivity analysis results showing D+R and D–R values for all scenarios**

The results show that the overall structure of the system remains stable across different scenarios. Factors identified as cause or effect in the base analysis largely maintain their positions. This confirms the robustness and reliability of the DEMATEL model. Some variations in ranking are observed; however, these changes are limited and do not significantly affect the general interpretation. Operational and maintenance-related factors consistently remain dominant across all scenarios.

### 3.4. Discussion

The results reveal that FWG performance is governed by a complex and interconnected structure. Efficiency losses do not arise from isolated failures, but from the interaction of multiple factors. One of the most important findings is the clear distinction between cause and effect factors. Parameters such as ejector performance, leakage, and fouling are identified as root causes. In contrast, commonly observed parameters such as vacuum loss are shown to be results. This has direct practical implications. Maintenance approaches that focus only on visible symptoms may provide short-term improvements but fail to address the actual problem. A more effective strategy is to identify and eliminate root causes. Overall, the findings demonstrate that the DEMATEL method is a useful tool for analyzing complex systems such as FWGs. It provides a structured approach for understanding system behavior and supports more effective decision-making in maintenance and operation.

## 4. CONCLUSION

This study examined the factors affecting the efficiency of ship freshwater generators using the DEMATEL method. The analysis showed that performance losses are not caused by a single factor but arise from the interaction of multiple system, environmental, and operational parameters. The results clearly indicate that operational and maintenance-related factors have a dominant role in the system. In particular, low ejector pump pressure, system leakage, and

fouling were identified as the main cause factors. These parameters directly influence other variables and initiate a chain of performance degradation within the system. On the other hand, parameters such as vacuum level and feed water flow rate were found to be effect factors. This finding is important from an operational perspective. It shows that commonly observed issues, such as vacuum loss, are not the root cause of the problem but rather the result of underlying failures. Therefore, maintenance actions focusing only on restoring these parameters may provide short-term improvement but cannot ensure long-term system stability.

The weighting analysis further supports these findings. Although vacuum-related parameters were classified as effect factors, they were found to have high importance values. This indicates that vacuum level should be considered as a key performance indicator for monitoring system health. The sensitivity analysis confirmed that the overall cause–effect structure remains stable under different expert evaluation scenarios. This result increases the reliability of the model and shows that the identified critical factors are robust. Improving FWG performance requires a shift from symptom-based interventions to root-cause-oriented maintenance strategies. The findings of this study provide a structured basis for prioritizing maintenance actions and improving operational efficiency in marine applications.

## ACKNOWLEDGEMENT

This study was produced from the master’s thesis entitled “Investigation of Factors and Problems Affecting the Efficiency of Ship Fresh Water Generators Using the DEMATEL Method” conducted at Sakarya University of Applied Sciences.

## REFERENCES

- [1] Y. Shin, J.-W. Koo, J. Lee, S.-H. Nam, E. Kim, and T.-M. Hwang, “Maritime Network Analysis Based on Geographic Information System for Water Supply Using Shipboard Seawater Desalination System,” *Sustainability*, vol. 15, no. 22, 2023, doi: 10.3390/su152215746.
- [2] L. Chen, H. Wang, S. Kuravi, K. Kota, Y.-H. Park, and P. Xu, “Low-cost and reusable carbon black based solar evaporator for effective water desalination,” *Desalination*, vol. 483, 2020, doi: 10.1016/j.desal.2020.114412.
- [3] J. Jin and Z. T. Wang, “Design of Simulating Control System on Fresh Water Generator,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 1008–1009, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.1008-1009.1154.
- [4] O. Yuksel, Y. Gulmez, O. Konur, S. A. Korkmaz, A. Erdogan, and C. O. Colpan, “Performance assessment of a marine freshwater generator through exergetic

- optimization,” *J. Clean. Prod.*, vol. 219, pp. 326–335, May 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.083.
- [5] A. K. T. Alkaisi, R. Mossad, and A. Sharifian-Barforoush, “A Review of the Water Desalination Systems Integrated with Renewable Energy,” *Energy Procedia*, vol. 110, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.138.
- [6] G. Micale, L. Rizzuti, and A. Cipollina, *Seawater Desalination: Conventional and Renewable Energy Processes*. 2009. doi: 10.1007/978-3-642-01150-4.
- [7] F. Al-Juwayhel, H. El-Dessouky, and H. Ettouney, “Analysis of single-effect evaporator desalination systems combined with vapor compression heat pumps,” *Desalination*, vol. 114, no. 3, pp. 253–275, Dec. 1997, doi: 10.1016/S0011-9164(98)00017-4.
- [8] N. H. Aly and A. K. El-Figi, “Thermal performance of seawater desalination systems,” *Desalination*, vol. 158, no. 1, pp. 127–142, Aug. 2003, doi: 10.1016/S0011-9164(03)00443-0.
- [9] H. Shih and T. Shih, “Utilization of waste heat in the desalination process,” *Desalination*, vol. 204, no. 1, pp. 464–470, Feb. 2007, doi: 10.1016/j.desal.2006.02.044.
- [10] H. Othman and M. Elgohary, “Improving Green Fresh Water Supply in Passengers Ships Using Waste Energy Recovery,” *J. King Abdulaziz Univ.-Mar. Sci.*, vol. 21, pp. 127–143, Jan. 2010, doi: 10.4197/Mar.21-2.9.
- [11] S. Zhou, Y. Guo, X. Mu, and S. Shen, “Effect of design parameters on thermodynamic losses of the heat transfer process in LT-MEE desalination plant,” *Desalination*, vol. 375, pp. 40–47, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.desal.2015.07.015.
- [12] S. Shen, Y. Guo, and L. Gong, “Analysis of heat transfer critical point in LT-MEE desalination plant,” *Desalination*, vol. 432, pp. 64–71, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.desal.2017.12.059.
- [13] S. Salehi, S. M. S. Mahmoudi, M. Yari, and M. A. Rosen, “Multi-objective optimization of two double-flash geothermal power plants integrated with absorption heat transformation and water desalination,” *J. Clean. Prod.*, vol. 195, pp. 796–809, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.234.
- [14] A. Ghasemi, P. Heidarnejad, and A. Noorpoor, “A novel solar-biomass based multi-generation energy system including water desalination and liquefaction of natural gas system: Thermodynamic and thermoeconomic optimization,” *J. Clean. Prod.*, vol. 196, pp. 424–437, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.160.

- [15] H. Chebli, N. Bellantuono, P. A. Davies, and F. Fornarelli, “Application of multi-criteria decision-making for seawater desalination: A review,” *Desalination*, vol. 617, p. 119443, Jan. 2026, doi: 10.1016/j.desal.2025.119443.
- [16] E. Fontela and A. Gabus, “The DEMATEL observer, DEMATEL 1976 report,” Battelle Geneva Research Center, Switzerland Geneva, 1976.
- [17] X. Xia, K. Govindan, and Q. Zhu, “Analyzing internal barriers for automotive parts remanufacturers in China using grey-DEMATEL approach,” *J. Clean. Prod.*, vol. 87, no. 1, pp. 811–825, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.09.044.

## MEKANİK VENTİLATÖR PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ AMACIYLA AKIŞ ANALİZÖRÜ TASARIMI

**Alperen YILMAZ**

İzmir Bakırçay Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği,

[yilmaz\\_alprn@outlook.com](mailto:yilmaz_alprn@outlook.com) - 0009-0008-7044-0390

**Prof. Dr. Akil Birkan SELÇUK**

İzmir Bakırçay Üniversitesi, [birkan.selcuk@bakircay.edu.tr](mailto:birkan.selcuk@bakircay.edu.tr) - 0000-0002-8632-3972

### ÖZET

Mekanik ventilatörler solunum yetmezliği yaşayan yoğun bakım hastalarının solunumlarını desteklemek amacıyla tasarlanmış tıbbi cihazlardır. Mekanik ventilatörlerin güvenli kullanımı, tidal hacim, hava yolu basıncı, akış ve oksijen konsantrasyonu gibi temel parametrelerin doğru ölçülerek hastaya uygulanmasına bağlıdır. Bu çalışmada, ventilatör performansının değerlendirilmesi amacıyla düşük maliyetli ve taşınabilir bir akış analizörü prototipi geliştirilmiştir. Sistem, akış ve basınç sensörlerinden alınan verileri mikrodenetleyici üzerinde işleyerek VTI, VTE,  $T_i$ ,  $T_e$ , I:E, BPM, PIP, PEEP ve Pmean parametrelerini solunum döngüsü bazlı hesaplamakta, oksijen ölçüm kanalı ise  $O_2$  sensörü ve analog-sayısal dönüştürücü üzerinden  $FiO_2$  değerini belirlemektedir. Hacim doğrulama testlerinde VTI için  $R^2=0,9995$  ve  $MAPE=0,83$ , VTE için  $R^2=0,9996$  ve  $MAPE=0,76$  bulunmuştur. Basınç doğrulama testlerinde PIP için  $R^2=0,9999$ ,  $MAPE=0,4534$  ve maksimum mutlak hata 0,20 mbar, PEEP için  $R^2=0,9998$ ,  $MAPE=1,0915$  ve maksimum mutlak hata 0,10 mbar olarak hesaplanmıştır. Pmean için  $R^2=0,9955$  ve  $MAPE=1,5866$  elde edilmiştir.  $FiO_2$  değerleri  $R^2=0,9998$ ,  $MAE=0,4667$  ve  $MAPE=1,0324$  bulunmuştur. Bulgular, geliştirilen prototipin ön deneysel koşullarda ventilatör performans parametrelerini referans cihazla yüksek uyum içinde ölçebildiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Mekanik ventilasyon, ventilatör kalibrasyonu, akış analizörü tasarımı

### DESIGN OF A FLOW ANALYZER FOR EVALUATION OF MECHANICAL VENTILATOR PERFORMANCE

### ABSTRACT

Mechanical ventilators are medical devices designed to support breathing in intensive care patients with respiratory failure. The safe use of mechanical ventilators depends on the accurate measurement and delivery of key parameters such as tidal volume, airway pressure, flow, and oxygen concentration. In this study, a low-cost and portable flow analyzer prototype was developed to evaluate ventilator performance. The system processes data obtained from flow and pressure sensors on a microcontroller and calculates breath-by-breath parameters including VTI, VTE,  $T_i$ ,  $T_e$ , I:E, BPM, PIP, PEEP, and Pmean. The oxygen measurement channel determines the  $FiO_2$  value using an  $O_2$  sensor and an analog-to-digital converter. In volume

validation tests,  $R^2=0.9995$  and  $MAPE=0.83\%$  were obtained for VTI, while  $R^2=0.9996$  and  $MAPE=0.76\%$  were obtained for VTE. In pressure validation tests,  $R^2=0.9999$ ,  $MAPE=0.4534\%$ , and a maximum absolute error of 0.20 mbar were calculated for PIP; for PEEP,  $R^2=0.9998$ ,  $MAPE=1.0915\%$ , and a maximum absolute error of 0.10 mbar were obtained. For  $P_{mean}$ ,  $R^2=0.9955$  and  $MAPE=1.5866\%$  were found. For  $FiO_2$  measurements,  $R^2=0.9998$ ,  $MAE=0.4667$ , and  $MAPE=1.0324\%$  were obtained. The findings indicate that the developed prototype can measure ventilator performance parameters in strong agreement with the reference device under preliminary experimental conditions.

**Keywords:** Mechanical ventilation, ventilator calibration, flow analyzer design,  $FiO_2$  measurement

## 1. GİRİŞ

Mekanik ventilasyon, solunum yetmezliği gelişen hastalarda solunum desteği sağlayan temel yaşam destek yöntemlerinden biridir. Mekanik ventilatörler ise solunum desteği sağlayan cihazlardır. Ağırıklı olarak yoğun bakım ortamında kullanılan ventilatörlerin güvenli çalışması hastaya iletilen tidal hacim, hava yolu basıncı, akış hızı ve verilen gaz karışımındaki oksijen oranının hedeflenen sınırlar içinde kalmasına bağlıdır [1].

Ventilatör parametrelerindeki sapmalar klinik açıdan önemli sonuçlara yol açabilir. Literatürde akciğerlere kapasitesinden fazla hava verilmesinin, aşırı basınç uygulanmasının dokulara zarar verdiği ve akciğerdeki küçük hava keseciklerinin (alveol) sürekli olarak sönüp tekrar açılması da organın ciddi şekilde yıpranmasına yol açabildiği belirtilmiştir [2]-[3]. Bu nedenle ventilatör performansının düzenli olarak test edilmesi, hasta güvenliği ve teknik servis süreçleri açısından önem arz etmektedir.

Uluslararası düzeyde IEC 80601-2-12 standardı ventilatörlerin performans gerekliliklerini tanımlamakta, Türkiye’de ise Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu (TİTCK) düzenlemeleri solunum sistemleri yetki grubunda yer alan mekanik ventilatörlerin test, kontrol ve kalibrasyon süreçlerini çerçevelemektedir [4]. Ticari gaz akış analizörleri bu doğrulama işlemlerinde yaygın olarak kullanılsa da yüksek maliyetleri sebebiyle kaynağı kısıtlı olan kurum ve kuruluşlarda erişilebilirliği sınırlı olmaktadır. Bu çalışmada, temel ventilatör performans parametrelerini izleyebilen düşük maliyetli bir akış analizörü prototipinin tasarımı ve ön deneysel doğrulaması sunulmuştur.

## 2. ARKA PLAN VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Mekanik ventilasyon parametreleri

Mekanik ventilasyon sırasında izlenen başlıca parametreler hacim, basınç, akış ve oksijen konsantrasyonu başlıkları altında değerlendirilebilir. Tidal hacim (VT), tek bir solunum döngüsünde akciğerlere giren (inspirasyon, VTI) veya çıkan (ekspirasyon, VTE) gaz hacmini ifade eder ve klinik uygulamada hastanın ideal vücut ağırlığına göre ayarlanır [5]-[7]. Tepe inspiratuar basınç (PIP) inspirasyon sırasında ulaşılan maksimum hava yolu basıncını, ekspirasyon sonu pozitif basınç (PEEP) ekspirasyon sonunda korunan pozitif basıncı, ortalama havayolu basıncı ( $P_{mean}$ ) ise solunum döngüsü boyunca ortalama hava yolu basıncını gösterir [8], [9]. Hastanın soluduğu gaz karışımındaki oksijen oranı  $FiO_2$  olarak ifade edilir [10].

## 2.2. Literatür çalışmaları

Ticari ventilatör analizörü pazarında Fluke Biomedical, IMT Analytics ve TSI gibi üreticiler öne çıkmaktadır. Bu sistemler yüksek doğruluk, geniş ölçüm aralığı ve portatiflik gibi avantajlar sunmakla birlikte, edinim maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle düşük maddi kaynağa sahip kurum ve kuruluşlarda yaygın kullanımı sınırlı olmaktadır.

COVID-19 pandemisi döneminde ventilatör cihazlarına duyulan ihtiyacın artması, düşük maliyetli ve açık kaynak altyapısına sahip ventilatör tasarım girişimlerini hızlandırmıştır. Bu cihazların üretim ve doğrulama aşamalarında performans testlerine tabi tutulma gerekliliği ise ventilatör test analizörlerine yönelik çalışmaların artmasına zemin hazırlamıştır. Bu dönemde geliştirilen sistemler temel olarak ticari analizörlere göre daha erişilebilir olmayı hedeflemiştir.

Portable Ventilator Tester çalışmasında değerlendirilen temel parametrelerde hata oranları tidal hacim için %6,19, PIP için %0,97 ve PEEP için %2,54 olarak verilmiştir. Bu sonuçlar, sistemin özellikle basınç parametrelerinde düşük hata düzeyine ulaştığını ancak hacim parametresinde hata oranının kabul edilebilir sınırdan çok uzak olduğunu göstermektedir [11].

VentMon çalışmasında yapılan 500 mL şırınga testinde hacim ve akış ölçümünü %2'den daha iyi doğrulukla ölçebildiği, oksijen sensörünün teknik olarak FiO<sub>2</sub> için yaklaşık %1 doğruluk sunduğu ve diferansiyel basınç sensörlerinin 0,5 cmH<sub>2</sub>O çözünürlüğe sahip olduğu bildirilmiştir [12].

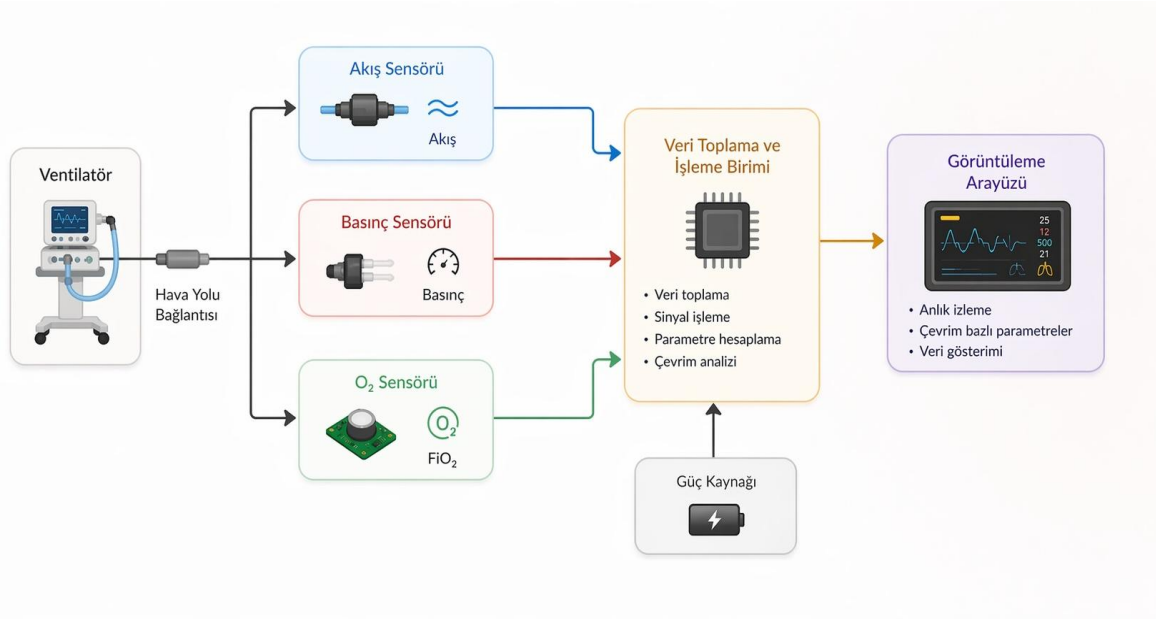
COVENT-Tester, tidal hacim, PIP ve oksijen konsantrasyonunu ölçebilen düşük maliyetli açık kaynaklı bir sistem olarak sunulmuştur. Referans cihaz ile yapılan karşılaştırmada ortalama mutlak yüzde hata(MAPE) değerleri tidal hacim için %1,52, PIP için %1,13 ve oksijen konsantrasyonu için %0,79 olarak bildirilmiştir. Ayrıca en yüksek PIP hatasının yaklaşık %5 düzeyinde, en yüksek tidal hacim hatasının ise yaklaşık %2,85 düzeyinde olduğu belirtilmiş, tüm parametrelerde ortalama mutlak hatanın %2'nin altında kaldığı vurgulanmıştır [13].

PytuTester çalışması, Raspberry Pi tabanlı yapısı ve 200 örnek/s üzerindeki veri toplama hızıyla ticari analizörlere daha yakın bir tasarım ortaya koymuştur. Çalışmada gerçek örnekleme hızının üç değişken ölçülürken yaklaşık 221 örnek/s düzeyine ulaşabildiği, doğrulama testlerinde tidal hacim hatasının yaklaşık -4 ile 7 mL aralığında, PEEP hatasının -0,400 ile -0,289 cmH<sub>2</sub>O aralığında, PIP hatasının -0,460 ile -0,117 cmH<sub>2</sub>O aralığında değiştiği belirtilmiştir. FiO<sub>2</sub> ölçümünde ise sensörün yaklaşık %1,76-%3,52 aralığında düşük okuma eğilimi gösterdiği rapor edilmiştir [14]. Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, düşük maliyetli ventilatör test sistemlerinde ölçüm parametreleri için yapılacak yazılım iyileştirmeleri ve kalibrasyon düzenlemeleriyle, referans ticari cihazlara yakın hata oranlarına sahip sistemlerin tasarlanabileceği görülmektedir.

## 3. MATERYAL VE YÖNTEM

### 3.1. Sistem tasarımı

Geliştirilen prototip, akış sensörü, basınç sensörü, oksijen ölçüm birimi, ana veri işleme birimi, görüntüleme arayüzü ve güç besleme birimlerinden oluşturulmuştur. Akış ve basınç verileri ana mikrodenetleyici tarafından okunmuş, solunum döngüsü bazlı parametreler bu birimde hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler seri haberleşme ile görüntüleme birimine aktarılmıştır. Oksijen sensörünün düşük seviyeli gerilimi ADS1115 üzerinden diferansiyel olarak okunmuş ve FiO<sub>2</sub> değeri görüntüleme biriminde hesaplanmıştır.



Görsel 1. Geliştirilen akış analizörü prototipinin genel sistem mimarisini.

### 3.2. Veri toplama ve parametre hesaplama

Akış ve basınç verileri I<sup>2</sup>C haberleşmesiyle okunmuştur. Akış sensörü ham değeri, Denklem (1) ile L/dk birimine dönüştürülmüştür. Basınç sensöründen alınan ham değerler kalibrasyon tablosu yardımıyla mbar birimine çevrilmiştir. Veri toplama döngüsünde örnekleme periyodu 4000 µs olarak belirlenmiş, böylece yaklaşık 250 örnek/s düzeyinde zaman çözünürlüğü elde edilmiştir.

$$Q (L/dk) = (Raw - 32768) / 120 \quad (1)$$

Solunum döngüsü, bekleme, inspirasyon ve ekspirasyon durumlarından oluşan bir yazılım akışıyla izlenmiştir. İnspirasyon pozitif akış eşliğinin aşılmasıyla, ekspirasyon ise negatif akış eşliğinin ardışık örneklerde doğrulanmasıyla belirlenmiştir. VTI ve VTE, akış sinyalinin zamana göre sayısal entegrasyonu ile hesaplanmıştır. Hacim hesabı Denklem (2) ile ifade edilmiştir.

$$V (mL) = \Sigma [ Q_i (L/dk) \times \Delta t_i (s) \times 1000 / 60 ] \quad (2)$$

Solunum frekansı ve inspirasyon zamanının ekspirasyon zamanına oranı (I:E), döngü zamanlarından elde edilmiştir. Bu hesaplamada toplam döngü süresi T<sub>tot</sub>, inspirasyon süresi T<sub>i</sub> ve ekspirasyon süresi T<sub>e</sub> kullanılmıştır.

$$BPM = 60 / T_{tot} \quad \text{ve} \quad I:E = T_i / T_e \quad (3)$$

PIP, inspirasyon süresince elde edilen en yüksek basınç örneklerinden, PEEP, ekspirasyon sonu ölçüm penceresinden, Pmean ise döngü boyunca basınç-zaman ortalamasından elde edilmiştir. Pmean hesabı Denklem (4) ile gösterilmiştir.

$$P_{mean} = \Sigma [ P_{aw,i} \times \Delta t_i ] / T_{tot} \quad (4)$$

FiO<sub>2</sub> ölçümünde ortam havasındaki %20,9 oksijen düzeyi referans alınmış, oksijen sensöründen elde edilen gerilim bu referans değere oranlanmıştır.

$$FiO_2 (\%) = ( VO_2 / V_{hava} ) \times 20,9 \quad (5)$$

## 4. BULGULAR

### 4.1. Hacim ölçüm sonuçları

180-770 mL aralığındaki hacimlerde alınan VTI ve VTE ölçümleri referans analizör değerleriyle yüksek uyum göstermiştir. VTI için determinasyon katsayısı (R<sup>2</sup>)=0,9995, ortalama mutlak hata (MAE)=4,23 mL ve ortalama mutlak yüzdesel hata (MAPE)=%0,83, VTE için R<sup>2</sup>=0,9996, MAE=3,46 mL ve MAPE=%0,76 elde edilmiştir. Her iki parametrede de regresyon eğimi 1'e yakın bulunmuş, maksimum mutlak hata VTI için 8 mL, VTE için 7 mL düzeyinde kalmıştır.

Metrik	VTI	VTE
n	13	13
R <sup>2</sup>	0,9995	0,9996
MAE (mL)	4,23	3,46
Ortalama hata (mL)	3,00	1,92
Maks. mutlak hata (mL)	8	7
MAPE (%)	0,83	0,76
Regresyon	y = 1,0039x + 1,19	y = 0,9988x + 2,46

Çizelge 1. Hacim ölçümlerine ait özet istatistik çizelgesi.

#### 4.2. Basınç ölçüm sonuçları

Basınç doğrulama testlerinde PIP ve PEEP parametreleri 10 ölçüm noktası üzerinden, Pmean parametresi ise üç ölçüm noktası üzerinden değerlendirilmiştir. PIP ölçümlerinde  $R^2=0,9999$ , MAE=0,0880 mbar ve MAPE=%0,4534 olarak hesaplanmıştır. PEEP ölçümlerinde  $R^2=0,9998$ , MAE=0,0600 mbar ve MAPE=%1,0915 bulunmuştur. Pmean için  $R^2=0,9955$ , MAE=0,2033 mbar ve MAPE=%1,5866 elde edilmiştir.

Ölçüm Noktası	Ref. PIP (mbar)	Ölçülen PIP (mbar)	Ref. PEEP (mbar)	Ölçülen PEEP (mbar)
1	16,8	16,7	2,0	1,9
2	17,4	17,3	3,1	3,1
3	17,8	17,7	4,1	4,1
4	18,2	18,1	5,1	5,0
5	19,2	19,3	7,4	7,5
6	20,2	20,4	10,1	10,0
7	21,6	21,5	14,4	14,3
8	22,55	22,5	5,01	5,0
9	45,8	45,8	10,06	10,1
10	52,57	52,6	15,55	15,6

Çizelge 2. PIP ve PEEP veri çizelgesi.

Ölçüm Noktası	Ref. Pmean (mbar)	Ölçülen Pmean (mbar)
1	10,52	10,3
2	14,07	14,4
3	18,56	18,5

Çizelge 3. Pmean veri çizelgesi.

Metrik	PIP	PEEP	Pmean
n	10	10	3
$R^2$	0,9999	0,9998	0,9955
MAE (mbar)	0,0880	0,0600	0,2033
Ortalama hata (mbar)	-0,0220	-0,0220	0,0167
Maks. mutlak hata (mbar)	0,20	0,10	0,33
MAPE (%)	0,4534	1,0915	1,5866
Regresyon	$y = 1,0019x - 0,069$	$y = 1,0020x - 0,037$	$y = 1,0153x - 0,203$

Çizelge 4. Basınç ölçümlerine ait özet istatistik çizelgesi.

#### 4.3. FiO<sub>2</sub> ölçüm sonuçları

FiO<sub>2</sub> ölçüm performansı, referans analizörün oksijen düzeyleri ile prototip tarafından ölçülen değerlerin karşılaştırılmasıyla değerlendirilmiştir. Bu karşılaştırmada FiO<sub>2</sub> için  $R^2=0,9998$ , MAE=0,4667 FiO<sub>2</sub> puanı ve MAPE=%1,0324 olarak hesaplanmıştır. Maksimum mutlak fark 1,0000 FiO<sub>2</sub> puanı, maksimum bağıl hata ise %1,98 düzeyinde bulunmuştur. Bu sonuçlar,

oksijen ölçüm kanalının referans değerlerle yüksek doğrusal uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Ölçüm Noktası	Referans FiO <sub>2</sub> (%)	Ölçülen FiO <sub>2</sub> (%)	Hata (FiO <sub>2</sub> puanı)	Bağlı Hata (%)
1	21,8	22,0	+0,2	0,92
2	50,5	51,5	+1,0	1,98
3	100,2	100,0	-0,2	0,20

Çizelge 5. FiO<sub>2</sub> veri çizelgesi.

Metrik	FiO <sub>2</sub>
n	3
R <sup>2</sup>	0,9998
MAE (FiO <sub>2</sub> puanı)	0,4667
Ortalama hata (FiO <sub>2</sub> puanı)	+0,3333
Maks. mutlak fark (FiO <sub>2</sub> puanı)	1,0000
Maks. bağlı hata (%)	1,98
MAPE (%)	1,0324
Regresyon	$y = 0,9928x + 0,748$

Çizelge 6. FiO<sub>2</sub> ölçümlerine ait özet istatistik çizelgesi.

Parametre	n	R <sup>2</sup>	MAE	Maks. mutlak hata	MAPE (%)
VTI	13	0,9995	4,23 mL	8 mL	0,83
VTE	13	0,9996	3,46 mL	7 mL	0,76
PIP	10	0,9999	0,0880 mbar	0,20 mbar	0,4534
PEEP	10	0,9998	0,0600 mbar	0,10 mbar	1,0915
Pmean	3	0,9955	0,2033 mbar	0,33 mbar	1,5866
FiO <sub>2</sub>	3	0,9998	0,4667 FiO <sub>2</sub> puanı	1,0000 FiO <sub>2</sub> puanı	1,0324

Çizelge 7. Hacim, basınç ve FiO<sub>2</sub> doğrulama sonuçlarının özeti.

## 5. TARTIŞMA

Elde edilen sonuçlar, geliştirilen prototipin hacim, temel basınç parametreleri ve FiO<sub>2</sub> ölçümünde referans değerlerle yüksek uyum içinde çalışabildiğini göstermektedir. VTI ve VTE için %1'in altında kalan MAPE değerleri, akış sinyalinin entegrasyonuna dayalı hacim hesabının deneysel koşullarda başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Regresyon eğimlerinin 1'e yakın olması belirgin bir ölçkleme hatasının bulunmadığını düşündürmektedir.

Basınç veri seti, PIP ve PEEP ölçümlerinin referans analizörle yüksek düzeyde uyumlu olduğunu göstermektedir. PIP için  $R^2=0,9999$  ve PEEP için  $R^2=0,9998$  olarak hesaplanması, her iki parametrede de güçlü doğrusal ilişki bulunduğunu ortaya koymaktadır. Pmean değerindeki sapmanın PIP ve PEEP'e göre daha yüksek olması, bu parametrenin tüm solunum döngüsü boyunca basınç-zaman ortalamasına bağlı olarak hesaplanmasıyla ilişkilidir. Bununla birlikte yapılacak yazılım iyileştirmeleriyle özellikle döngü sınırı belirleme, filtreleme ve basınç entegrasyonu adımlarında Pmean sapmasının daha da azaltılabileceği değerlendirilmektedir.

$FiO_2$  ölçümlerinde üç farklı referans oksijen düzeyi üzerinden yüksek doğrusal uyum elde edilmiştir. En yüksek mutlak fark 1,0000  $FiO_2$  puanı ile %50,5 referans noktasında görülmüş, bu noktanın bağıl hatası %1,98 olarak hesaplanmıştır. MAPE'nin %1,0324 düzeyinde kalması, oksijen ölçüm kanalının ön doğrulama koşullarında referans cihazla uyumlu çalıştığını göstermektedir. Bununla birlikte  $O_2$  sensörünün elektrokimyasal yapısı ve tepki süresi nedeniyle  $FiO_2$  kanalı, döngü bazlı hızlı oksijen değişimlerinin izlenmesinden çok genel oksijen konsantrasyonunun değerlendirilmesi için uygundur.

Çalışmanın sınırlılıkları, sistemin farklı ventilasyon modları, değişken akış profilleri ve uzun süreli kullanım koşullarında henüz detaylı olarak test edilmemiş olmasıdır. Bu nedenle prototipin performansının daha net değerlendirilebilmesi için aynı koşullarda tekrarlı ölçümler yapılması gerekmektedir. Böylece elde edilen sonuçların birbirine yakınlığı görülerek sistemin ölçüm kararlılığı ve tekrarlanabilirliği daha sağlıklı şekilde değerlendirilebilir.

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada mekanik ventilatörlerin temel performans parametrelerinin değerlendirilmesine yönelik düşük maliyetli ve taşınabilir bir akış analizörü prototipi geliştirilmiştir. Prototip, VTI, VTE,  $T_i$ ,  $T_e$ , I:E, BPM, PIP, PEEP, Pmean ve  $FiO_2$  parametrelerini görüntüleyebilecek şekilde tasarlanmıştır. Ön doğrulama sonuçlarında VTI için  $R^2=0,9995$  ve MAPE=%0,83; VTE için  $R^2=0,9996$  ve MAPE=%0,76 elde edilmiştir. Genişletilmiş basınç veri setinde PIP için  $R^2=0,9999$  ve PEEP için  $R^2=0,9998$  bulunmuş, maksimum mutlak hata sırasıyla 0,20 mbar ve 0,10 mbar düzeyinde kalmıştır. Pmean için  $R^2=0,9955$  ve MAPE=%1,5866 hesaplanmış olup bu parametredeki sapmanın yazılım iyileştirmeleriyle azaltılabileceği değerlendirilmiştir.  $FiO_2$  doğrulamasında ise üç ölçüm noktası üzerinden  $R^2=0,9998$ , MAE=0,4667  $FiO_2$  puanı, maksimum mutlak fark 1,0000  $FiO_2$  puanı ve MAPE=%1,0324 elde edilmiştir.

Sonuçlar, geliştirilen sistemin ön deneysel koşullarda hacim, basınç ve  $FiO_2$  ölçümlerinde referans değerlerle yüksek uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalarda Pmean ve  $FiO_2$  parametreleri için daha geniş örneklemler, farklı oksijen konsantrasyonlarında doğrulama, örnekleme hızı analizi ve uzun süreli kararlılık değerlendirmeleri ile sistemin teknik kullanım alanlarındaki uygulanabilirliği daha kapsamlı biçimde incelenmelidir.

## KAYNAKÇA

[1] H. Güler, İ. Türkoğlu ve F. Ata, "Mekanik ventilatör tasarım metotları," Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, c. 19, s. 4, ss. 401-408, 2004.

- [2] A. S. Slutsky and V. M. Ranieri, “Ventilator-induced lung injury,” *New England Journal of Medicine*, vol. 369, no. 22, pp. 2126-2136, 2013.
- [3] M. B. P. Amato et al., “Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome,” *New England Journal of Medicine*, vol. 372, no. 8, pp. 747-755, 2015.
- [4] Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu, “Duyuru.” <https://www.titck.gov.tr/duyuru/5024> [Erişim tarihi: 11.03.2026].
- [5] A. C. Guyton and J. E. Hall, *Textbook of Medical Physiology*, 13th ed. Philadelphia, PA, USA: Elsevier, 2016.
- [6] J. E. Hall and M. E. Hall, *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*, 14th ed. Philadelphia, PA, USA: Elsevier, 2020.
- [7] S. Hallett Reid, F. Toro ve J. V. Ashurst, “Physiology, tidal volume,” in *StatPearls*. StatPearls Publishing, 2023.
- [8] G. Kalkan ve E. Akkuzu, “Basic Mechanical Ventilation in Children,” *Türkiye Çocuk Hastalıkları Dergisi*, vol. 11, no. 4, pp. 289-298, 2017.
- [9] P. L. Silva and P. R. M. Rocco, “The basics of respiratory mechanics: ventilator-derived parameters,” *Annals of Translational Medicine*, vol. 6, no. 19, p. 379, 2018.
- [10] S. Fuentes and Y. S. Chowdhury, “Fraction of Inspired Oxygen,” in *StatPearls*. StatPearls Publishing, 2022.
- [11] J. Prinyakupt and K. Rungprasert, “The Portable Ventilator Tester,” *International Journal of Applied Biomedical Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 37-43, 2021.
- [12] R. L. Read, L. Clarke and G. Mulligan, “VentMon: An open source inline ventilator tester and monitor,” *HardwareX*, vol. 9, e00195, 2021.
- [13] T. Abuzairi, A. Irfan and Basari, “COVENT-Tester: A low-cost, open source ventilator tester,” *HardwareX*, vol. 9, e00196, 2021.
- [14] F. Morales et al., “PytuTester: RaspberryPi open-source ventilator tester,” *HardwareX*, vol. 12, e00334, 2022.

## ÇİFT CİDARLI BACA SİSTEMLERİNİN ENERJİ ETKİNLİĞİ AÇISINDAN SİMÜLASYON TABANLI İNCELENMESİ: MÜSTAKİL KONUTLAR

**Öğr.Gör. Ahmet KARAHAN<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Yeşilyurt Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon  
Bölümü,44100,Malatya, Türkiye  
**ORCID:** 0000-0002-3954-8685

**Prof.Dr. Figen BALO<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Met.ve Malz Bölümü, 23100, Elazığ, Türkiye  
**ORCID:** 0000-0001-5886-730X

\*Corresponding author e-mail: ahmet.karahan@ozal.edu.tr

### ÖZET

Bu çalışmada, Ankara ilinin iklim koşullarında yer alan iki katlı bir müstakil konutta kullanılan, 160.000 kcal/h kapasiteli sıvı yakıtlı ısıtma cihazına ait çift cidarlı baca sistemlerinin enerji verimliliği ve emisyon performansı analiz edilmiştir. Yalıtımsız durum ile birlikte 30 mm, 35 mm, 40 mm, 45 mm ve 50 mm olmak üzere altı farklı taş yünü yalıtım kalınlığı değerlendirilmiştir. Ayrıca paslanmaz çelik, kaynak yapılmış çelik, ve oluklu çelik olmak üzere üç farklı baca malzemesi kullanılarak dairesel kesitli baca tasarımları oluşturulmuştur. Farklı yalıtım kalınlığı ve malzeme kombinasyonlarından meydana gelen alternatif senaryolar KesaAladin simülasyon programı yardımıyla analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçları, yalıtım kalınlığının artırılmasının baca gazı sıcaklık kayıplarını azalttığını ve sistemin çekiş stabilitesini iyileştirdiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, baca malzemesinin ısıl ve yapısal özelliklerinin emisyon seviyeleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Çalışma, Ankara ili özelinde konut ölçeğinde uygun yalıtım kalınlığı ve baca malzemesi seçiminin enerji verimliliğini artırma ve çevresel etkileri azaltma açısından önemli bir potansiyel sunduğunu göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Konut baca sistemleri, yalıtım kalınlığı, çift cidarlı baca, enerji verimliliği, emisyon performansı, KesaAladin simülasyonu

### 1 GİRİŞ

Binalarda enerji tüketimi, küresel toplamun enerji kullanımının ve sera gazı emisyonlarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Özellikle konut sektörü, ısınma amaçlı enerji tüketimi nedeniyle enerji politikalarının ve sürdürülebilirlik stratejilerinin merkezinde yer almaktadır [1, 2]. Soğuk ve karasal iklim özellikleri gösteren Ankara gibi bölgelerde, ısıtma sistemlerinin verimli çalışması hem enerji maliyetlerinin azaltılması hem de çevresel etkilerin sınırlandırılması açısından önemlidir [3]. Bu nedenle, yalnızca ısı üretim cihazlarının değil, yanma ürünlerinin atmosfere güvenli ve verimli şekilde iletilmesini sağlayan baca sistemlerinin de enerji performansı açısından değerlendirilmesi gerekmektedir.

Baca sistemlerinde enerji kayıpları, büyük ölçüde baca gazı sıcaklığının dış ortama iletilmesiyle ortaya çıkan bir sorundur. Yetersiz yalıtım, baca gazının hızlı soğumasına ve yoğunlaşma riskine neden olarak hem çekiş kuvvetini azaltmakta hem de yanma verimini olumsuz etkilemektedir [4]. Çift cidarlı baca sistemleri, iç ve dış cidar arasına yerleştirilen yalıtım tabakası sayesinde ısı kayıplarını minimize ederek baca gazı sıcaklığının korunmasına katkı

sağlar. Bu durum, doğal çekiş mekanizmasının sürekliliğini destekleyerek yanma sürecinin daha kararlı gerçekleşmesini sağlar [5].

Taş yünü gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı ve düşük ısıl iletkenliğe sahip yalıtım malzemeleri, baca uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Yalıtım kalınlığının artırılması, ısı transfer katsayısını düşürerek enerji kayıplarını azaltmaktadır. Ancak optimum kalınlığın belirlenmesi, maliyet–performans dengesi açısından önemlidir [6-8]. Literatürde, baca gazı sıcaklığının korunmasının yalnızca enerji verimliliğini artırmakla kalmadığı, CO ve NO<sub>x</sub> gibi yanma kaynaklı emisyonların oluşumunu da dolaylı olarak etkileyebildiği rapor edilmiştir [9-13].

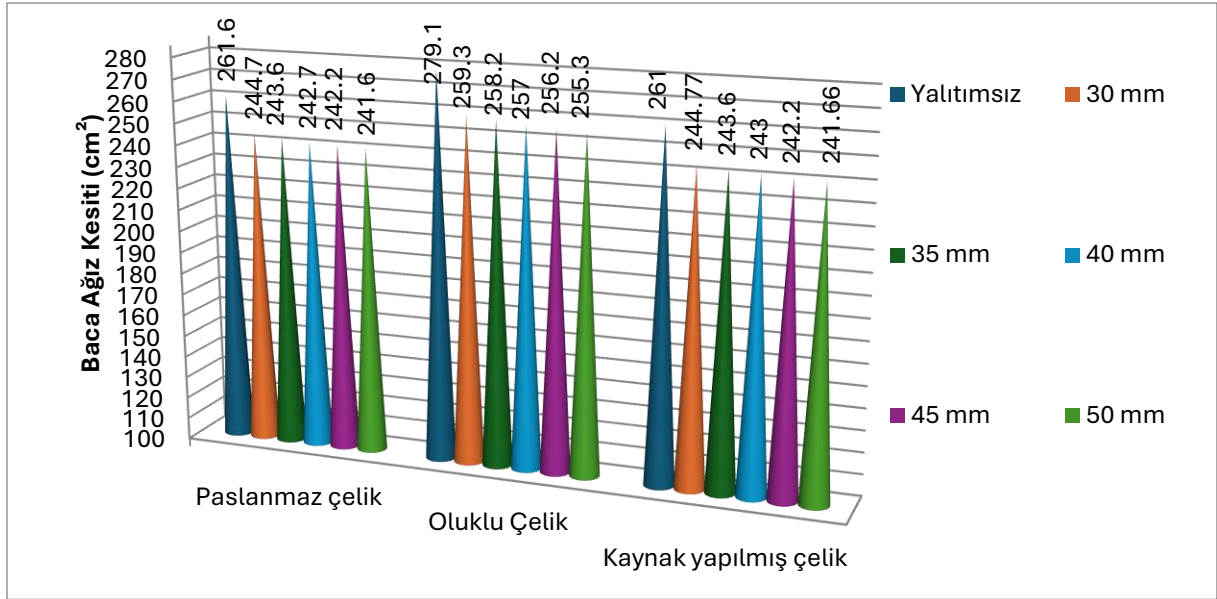
Baca malzemesi seçimi de sistem performansını doğrudan etkileyen bir diğer parametredir. Paslanmaz çelik, yüksek sıcaklık dayanımı ve korozyon direnci nedeniyle uzun ömürlü çözümler sunmaktadır. Kaynaklı veya oluklu çelik sistemler maliyet ve mekanik dayanım açısından farklı avantajlar sağlar [9]. Malzemenin ısıl iletkenliği, yüzey pürüzlülüğü ve yapısal özellikleri, baca gazı akış rejimini, sürtünme kayıplarını ve dolayısıyla çekiş karakteristiğini etkileyebilmektedir. Bu yüzden malzeme ve yalıtım kalınlığının birlikte değerlendirilmesi, bütüncül bir enerji analizi açısından gereklidir.

Son yıllarda enerji sistemlerinin performans analizinde simülasyon tabanlı yöntemler yaygınlaşmıştır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve enerji modelleme yazılımları sayesinde farklı tasarım senaryoları deneysel kurulum gerektirmeden karşılaştırmalı olarak analiz edilebilir [14]. Bu metodlarla, özellikle farklı yalıtım kalınlıklarının ve malzeme alternatiflerinin baca gazı sıcaklığı, ısı kaybı, çekiş stabilitesi ve emisyon parametreleri üzerindeki etkilerini ortaya koymada önemli avantajları bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Ankara ili iklim koşullarında yer alan iki katlı bir müstakil konutta kullanılan sıvı yakıtlı ısıtma sistemine ait çift cidarlı baca tasarımları; farklı taş yünü yalıtım kalınlıkları (yalıtımsız, 30–50 mm aralığı) ve farklı baca malzemeleri (paslanmaz çelik, kaynaklı çelik, oluklu çelik ve çelik katman) açısından simülasyon tabanlı olarak incelenmiştir. Çalışmanın amacı, konut ölçeğinde enerji verimliliğini artıracak ve emisyon performansını iyileştirecek optimum baca tasarım parametrelerinin belirlenmesine bilimsel katkı sağlamaktır.

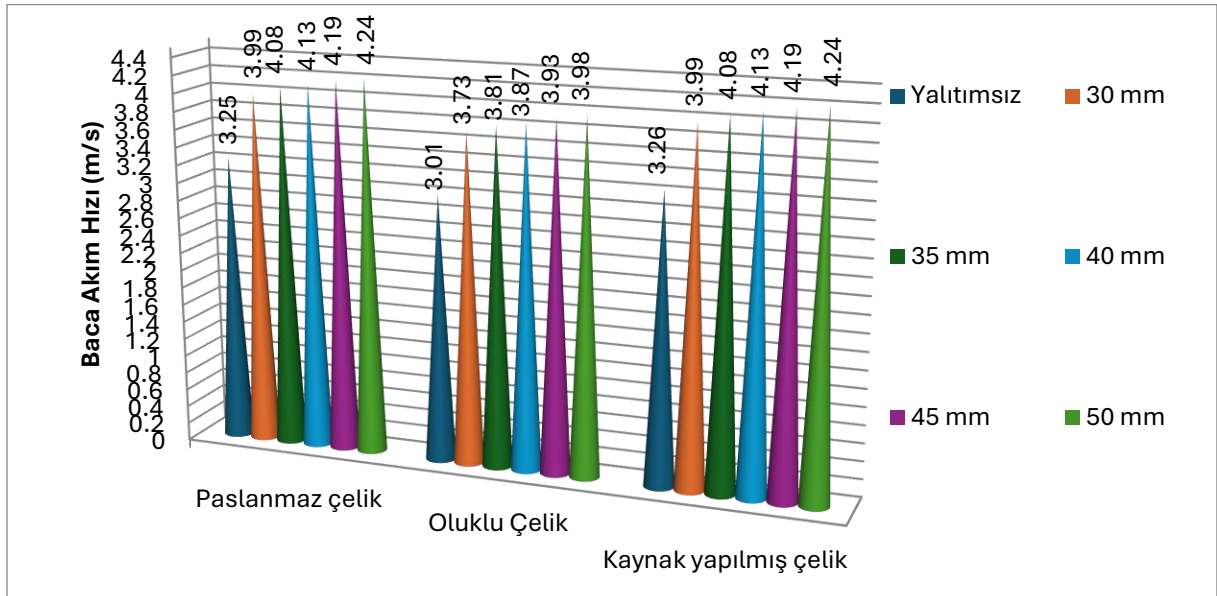
## 2. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde, Ankara ili iklim koşulları altında iki katlı müstakil bir konut için modellenen çift cidarlı baca sistemlerine ait simülasyon sonuçları, farklı malzeme türleri, kesit geometrileri ve yalıtım kalınlıkları dikkate alınarak çok yönlü biçimde analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında paslanmaz çelik, kaynak yapılmış çelik, oluklu çelik ile galvanizli ve alüminyum kaplamalı baca sistemleri; dairesel ve oval kesit alternatifleriyle birlikte değerlendirilmiş, ayrıca yalıtımsız durum ile 30–50 mm aralığındaki yalıtım kalınlıklarının sistem performansına etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Analizlerde; akım hızı, atık gaz yoğunluğu, akım sesi, durgun ve azami negatif basınç değerleri ile birlikte baca içi ve dışı sıcaklık dağılımları temel performans göstergeleri olarak ele alınmıştır. Elde edilen veriler yalnızca mutlak değerler üzerinden değil, aynı zamanda yüzdesel değişimler ve eğilimler doğrultusunda da yorumlanarak, her bir parametrenin baca çekışı, enerji verimliliği ve sistem kararlılığı üzerindeki etkisi bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, farklı senaryolar arasındaki performans farkları ortaya konulmuş, özellikle yalıtım kalınlığı ile kesit geometrisinin birlikte etkilediği akış ve ısı transfer mekanizmaları detaylı olarak irdelenmiştir.



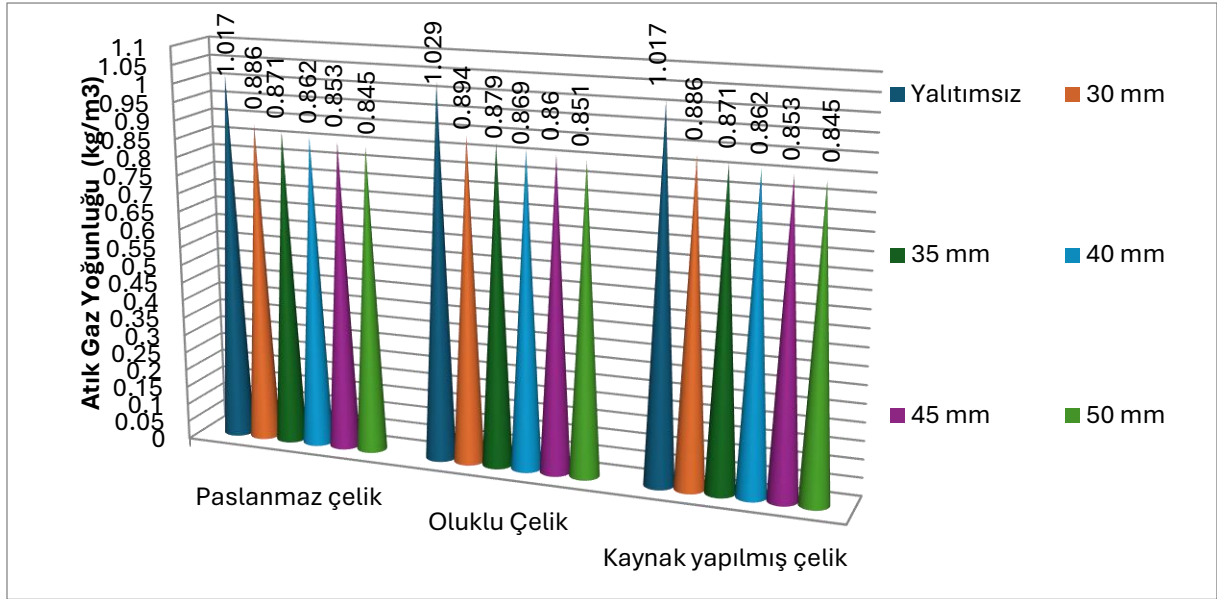
Şekil 1. Baca Ağız Kesitinin Yalıtım Kalınlığına ve Malzeme Türüne Bağlı Değişimi

Şekil incelendiğinde, tüm malzeme türleri için yalıtım kalınlığının artmasıyla baca ağız kesitinde kademeli bir azalma gözlenmektedir. Bu durum, artan yalıtım kalınlığına bağlı olarak baca iç sıcaklığının yükselmesi ve gaz yoğunluğunun azalmasıyla ilişkili olup, akışın daha kompakt bir kesitte gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. Oluklu çelik bacalarda kesit değerlerinin diğer malzemelere göre daha yüksek olması, yüzey pürüzlülüğünün akış karakteristiğini etkilediğini göstermektedir.



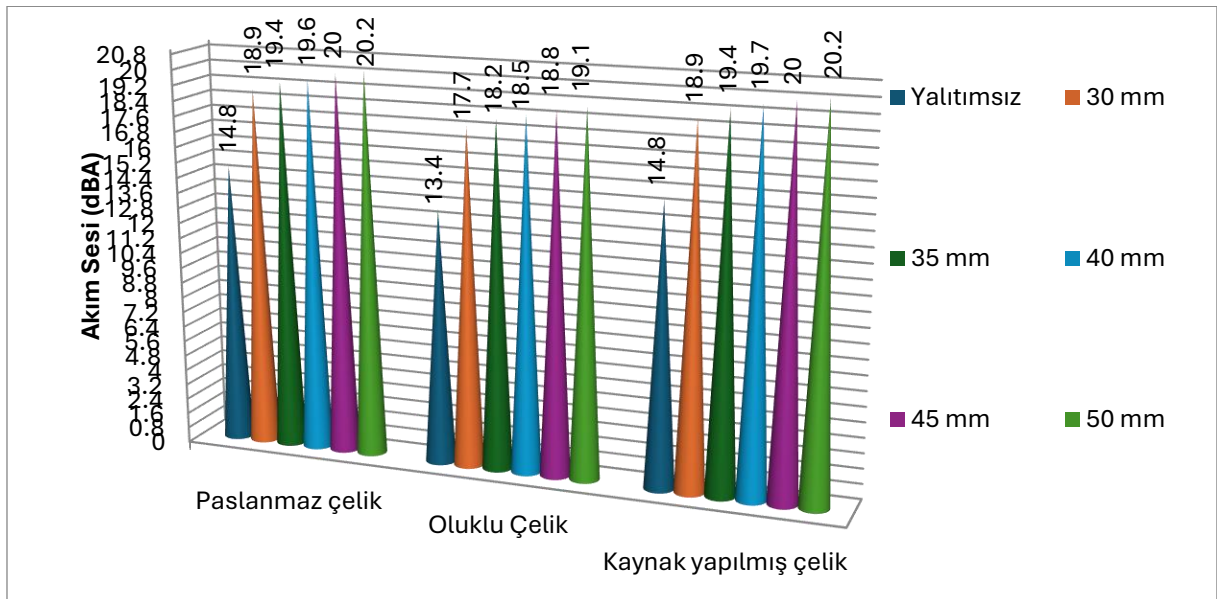
Şekil 2. Akım Hızının Yalıtım Kalınlığı ve Malzemeye Göre Değişimi

Yalıtım kalınlığındaki artışın tüm malzeme türlerinde akım hızını artırdığı görülmektedir. Bu durum, baca içindeki sıcaklık artışına bağlı olarak yoğunluğun azalması ve dolayısıyla akışkanın daha yüksek hızlara ulaşması ile açıklanabilir. Paslanmaz ve kaynaklı çelik bacalar benzer davranış sergilerken, oluklu çelikte daha düşük hız değerleri elde edilmiştir.



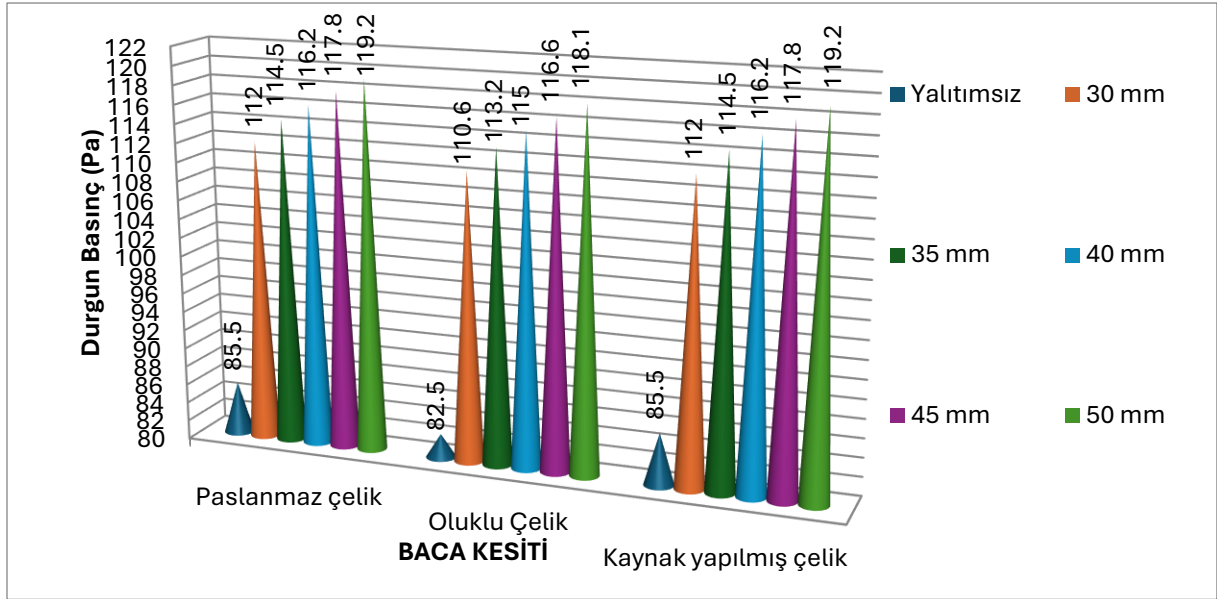
Şekil 3. Atık Gaz Yoğunluğunun Yalıtım Kalınlığına Bağlı Değişimi

Tüm senaryolarda yalıtım kalınlığının artmasıyla atık gaz yoğunluğunun azaldığı belirlenmiştir. Bu durum, baca gazı sıcaklığının artmasıyla doğrudan ilişkilidir. Yoğunluğun azalması, baca çekiş performansını olumlu yönde etkileyerek sistem verimliliğini artırmaktadır.



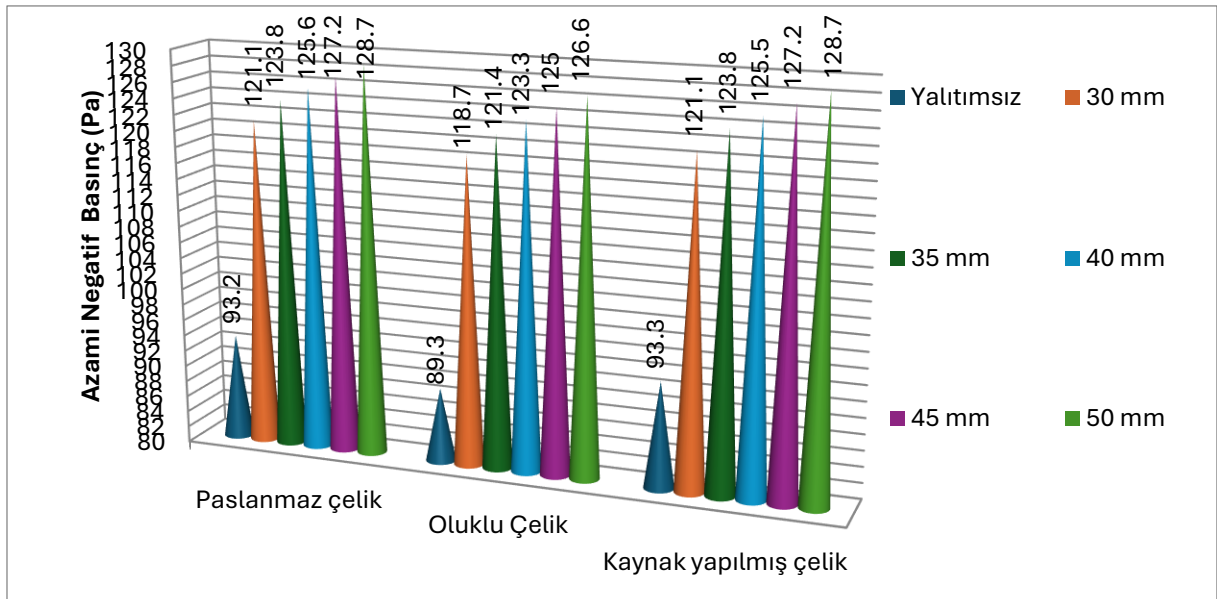
Şekil 4. Akım Ses Seviyesinin Yalıtım Kalınlığı ve Malzemeye Göre Değişimi

Akım hızındaki artışa paralel olarak ses seviyesinde de artış gözlemlenmiştir. Yalıtım kalınlığının artırılmasıyla birlikte oluşan hız artışı, türbülans seviyesini yükselterek akustik emisyonları artırmaktadır. Oluklu çelik bacalarda daha düşük ses seviyeleri elde edilmesi, yüzey geometrisinin akustik davranış üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır.



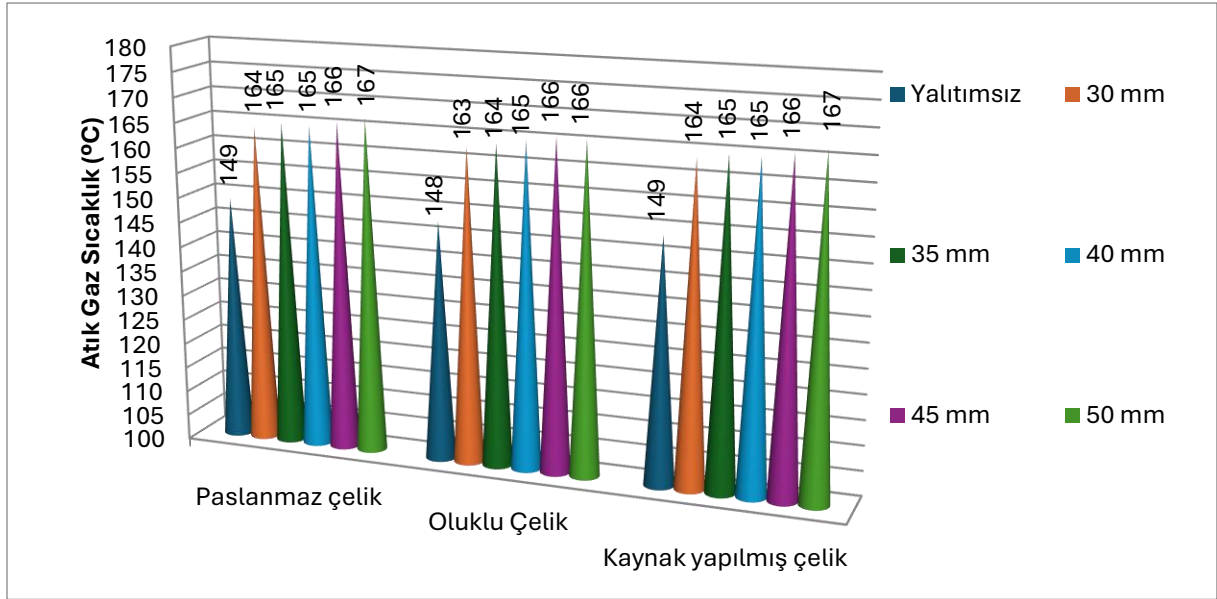
Şekil 5. Durgun Basıncın Yalıtım Kalınlığına Bağlı Değişimi

Yalıtım kalınlığının artmasıyla durgun basınç değerlerinde artış eğilimi görülmektedir. Bu durum, baca içindeki sıcaklık farklarının artması ve buna bağlı olarak çekiş kuvvetinin yükselmesi ile ilişkilidir. Malzemeler arasında önemli bir fark bulunmamakla birlikte oluklu çelikte nispeten daha düşük değerler elde edilmiştir.



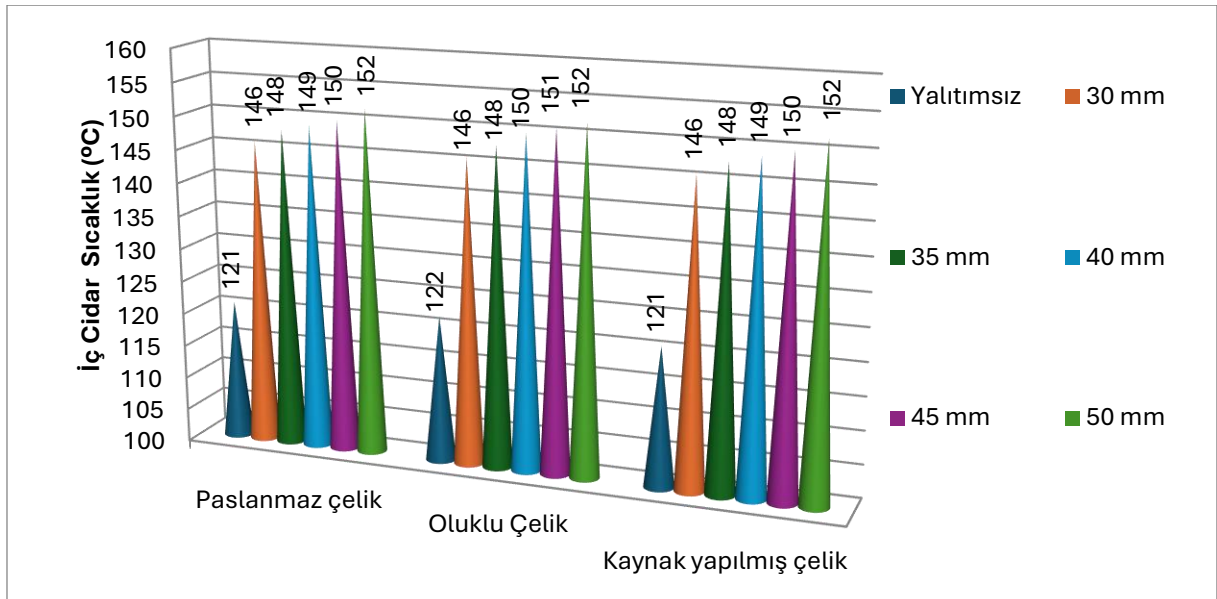
Şekil 6. Azami Negatif Basıncın Yalıtım Kalınlığına Bağlı Değişimi

Azami negatif basınç değerleri, yalıtım kalınlığının artışıyla birlikte yükselmiştir. Bu sonuç, baca çekiş performansının iyileştiğini ve sistemin daha stabil çalıştığını göstermektedir. Paslanmaz ve kaynaklı çelik bacaların benzer performans sergilediği, oluklu çeliğin ise daha düşük değerlerde kaldığı görülmektedir.



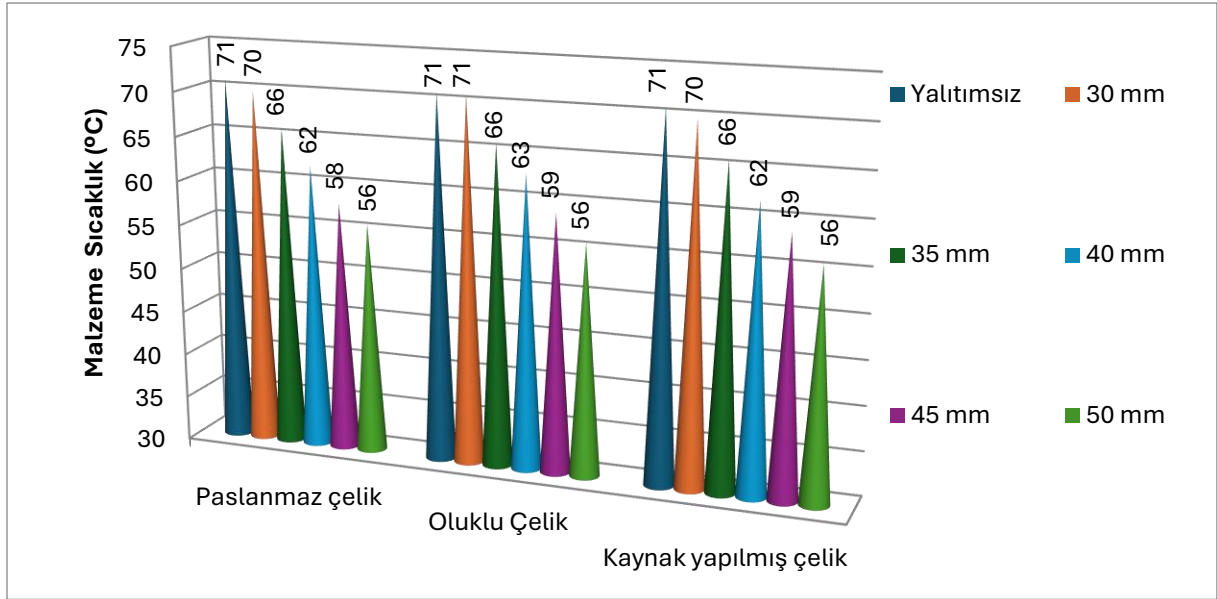
Şekil 7. Atık Gaz Sıcaklığının Yalıtım Kalınlığına Göre Değişimi

Yalıtım kalınlığının artırılmasıyla atık gaz sıcaklığının yükseldiği belirlenmiştir. Bu durum, ısı kayıplarının azalması ve enerjinin baca içinde korunması ile açıklanabilir. Elde edilen sonuçlar, yalıtımın enerji verimliliği üzerindeki olumlu etkisini açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 8. İç Cidar Sıcaklığının Yalıtım Kalınlığına Bağlı Değişimi

İç cidar sıcaklıkları, yalıtım kalınlığı arttıkça belirgin şekilde yükselmiştir. Bu durum, ısı transferinin dış ortama olan kaybının azalmasıyla ilişkilidir. Tüm malzemelerde benzer eğilim gözlenmiş olup, yalıtımın iç yüzey sıcaklığı üzerindeki belirleyici rolü vurgulanmaktadır.



Şekil 9. Malzeme Sıcaklığının Yalıtım Kalınlığına Göre Değişimi

Yalıtım kalınlığının artmasıyla baca dış yüzey (malzeme) sıcaklığının azaldığı görülmektedir. Bu durum, ısı kayıplarının yalıtım tarafından tutulduğunu ve dış yüzeye daha az ısı iletildiğini göstermektedir. Özellikle yüksek yalıtım kalınlıklarında bu etkinin daha belirgin olduğu tespit edilmiştir.

Şekillerde yer alan verilerin yüzdesel karşılaştırması ile, yalıtım kalınlığının artırılmasının enerji verimliliği üzerindeki belirleyici etkisini açık biçimde ortaya koymaktadır. Yalıtımsız durum referans alındığında, 50 mm yalıtım kalınlığına geçişle birlikte tüm malzemelerde akım hızında yaklaşık %30–31 oranında artış (örneğin paslanmaz çelikte 3,25 m/s'den 4,24 m/s'ye  $\approx$ %30,5) gerçekleşirken, atık gaz yoğunluğunda %16–17 seviyesinde azalma (1,017 kg/m<sup>3</sup>'ten 0,845 kg/m<sup>3</sup>'e  $\approx$ %16,9) meydana gelmiştir. Bu durum, baca çekişinin iyileştiğini ve sistemin daha etkin çalıştığını göstermektedir. Aynı koşullarda durgun basınç ve azami negatif basınç değerlerinde sırasıyla yaklaşık %39–40 (85,5 Pa'dan 119,2 Pa'ya) ve %38 oranında artış gözlenmiş olup, bu artışlar çekiş stabilitesinin önemli ölçüde iyileştiğine işaret etmektedir. Termal açıdan değerlendirildiğinde, atık gaz sıcaklığında yaklaşık %12 (149°C'den 167°C'ye) ve iç cidar sıcaklığında %25'e varan artış (121°C'den 152°C'ye) gerçekleşirken, malzeme (dış yüzey) sıcaklığında %21 civarında azalma (71°C'den 56°C'ye) elde edilmiştir. Bu sonuçlar, ısı kayıplarının belirgin şekilde azaldığını ve enerjinin sistem içerisinde tutulduğunu göstermektedir. Buna karşılık akım sesi yaklaşık %36 oranında artarak (14,8 dBA'dan 20,2 dBA'ya) akustik açıdan sınırlı bir olumsuzluk oluşturmaktadır. Malzeme bazlı karşılaştırmada ise oluklu çelik bacaların, aynı yalıtım kalınlıklarında yaklaşık %7–8 daha düşük akım hızı ve %3–4 daha düşük basınç değerleri üretmesi nedeniyle nispeten daha düşük çekiş performansı sergilediği belirlenmiştir. Bu bağlamda, enerji verimliliği açısından en uygun senaryo 50 mm yalıtım kalınlığına sahip paslanmaz veya kaynaklı çelik baca sistemi olarak öne çıkarken, en olumsuz senaryo yalıtımsız ve özellikle oluklu çelik baca sistemi olup; bu durumda düşük akım hızı, yüksek gaz yoğunluğu ve yaklaşık %35–40 daha düşük çekiş basıncı değerleri nedeniyle sistem performansının belirgin şekilde zayıfladığı tespit edilmiştir.

### 3. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, Ankara ili iklim koşullarında iki katlı bir müstakil konutta kullanılan çift cidarlı baca sistemleri; malzeme türü (paslanmaz çelik, kaynak yapılmış çelik ve oluklu çelik) ve yalıtım kalınlığı (yalıtımsız, 30 mm, 35 mm, 40 mm, 45 mm ve 50 mm taş yünü)

parametrelerine bağılı olarak simülasyon temelli değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, yalıtım kalınlığının artırılmasının hem enerji verimliliği hem de baca çekiş performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır.

Analiz sonuçlarına göre, yalıtımsız durumdan 50 mm yalıtım kalınlığına geçişte akım hızında yaklaşık %30'a varan artış gözlenmiş, buna karşılık atık gaz yoğunluğunda yaklaşık %16–17 oranında azalma meydana gelmiştir. Bu değişim, baca gazlarının daha düşük yoğunlukta ve daha yüksek hızda taşınmasını sağlayarak çekiş mekanizmasını güçlendirmektedir. Aynı doğrultuda durgun basınç ve azami negatif basınç değerlerinde yaklaşık %38–40 seviyesinde artış elde edilmesi, sistemin çekiş stabilitesinin önemli ölçüde iyileştiğini göstermektedir.

Isıl performans açısından değerlendirildiğinde, yalıtım kalınlığının artırılmasıyla atık gaz sıcaklığında yaklaşık %12, iç cidar sıcaklığında ise %25'e varan artış gerçekleşmiştir. Buna karşılık baca dış yüzey sıcaklığında yaklaşık %20 seviyesinde azalma tespit edilmiştir. Bu durum, ısı kayıplarının önemli ölçüde azaltıldığını ve sistem içerisinde taşınan enerjinin daha etkin korunduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, yalıtım uygulamasının yalnızca enerji verimliliğini artırmakla kalmayıp aynı zamanda sistem güvenliği ve malzeme dayanımı açısından da olumlu katkı sağladığı değerlendirilmektedir.

Akustik performans açısından ise akım hızındaki artışa bağılı olarak ses seviyesinde yaklaşık %35 civarında bir yükselme gözlenmiştir. Ancak bu artışın mutlak değerler açısından düşük seviyelerde kaldığı ve konut uygulamaları için kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu söylenebilir.

Malzeme türlerinin karşılaştırılması sonucunda, paslanmaz çelik ve kaynak yapılmış çelik baca sistemlerinin neredeyse benzer performans sergilediği; buna karşın oluklu çelik bacaların daha düşük akım hızı (%7–8 daha düşük) ve daha düşük basınç değerleri (%3–5 daha düşük) nedeniyle nispeten daha zayıf çekiş performansı sunduğu belirlenmiştir. Bu farklılık, oluklu yüzey yapısının akış direncini artırmasına bağlanmaktadır.

Sonuç olarak, enerji verimliliği ve sistem performansı açısından en uygun çözümün 50 mm yalıtım kalınlığına sahip paslanmaz çelik veya kaynak yapılmış çelik baca sistemleri olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık yalıtımsız ve özellikle oluklu çelik baca sistemleri, düşük çekiş performansı, yüksek ısı kaybı ve daha düşük termal verimlilik nedeniyle en olumsuz senaryo olarak değerlendirilmiştir. Bu bulgular, konut tipi baca tasarımlarında uygun malzeme seçimi ve optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesinin enerji tasarrufu ve çevresel etkilerin azaltılması açısından kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2020). Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği. Ankara.
- [2] Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method (2nd ed.). Pearson Education.
- [3] EN 1856-1. (2009). Chimneys — Requirements for metal chimneys — Part 1: System chimney products. European Committee for Standardization (CEN).
- [4] Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). Thermodynamics: An Engineering Approach (9th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Education.
- [5] White, F. M. (2016). Fluid Mechanics (8th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Education.
- [6] Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method (2nd ed.). Pearson Education.
- [7] Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications (5th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Education.

- [8] Karahan, A., & Balo, F. (2024). Emisyonlarının Azaltılması İçin Çevresel Baca Tasarımı; Bulanık İlçesi Üzerine Örnek Çalışma. *Bulanık MYO Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(Bulanık Sempozyumu Özel Sayısı), 42-51.
- [9] Karahan, A., & Balo, F. (2024). Bulanık İlçesinde Isıtma Kazanlarındaki Enerji Tüketimini Azaltmak İçin Simülasyon Destekli Baca Tasarımı. *Bulanık MYO Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(Bulanık Sempozyumu Özel Sayısı), 52-63.
- [10] Figen Balo, Ahmet Karahan, Lutfu S. Sua, A simulation supported chimney design application for greener buildings, *Proceedings of Engineering Thrive 2022: Water, Air, Shelter, and Food Symposium*, June 23-24, 2022, University of Windsor, Ontario, CANADA
- [11] Ahmet Karahan, Figen Balo, BIDGE Publishing 2024 Book Series on, Çevre Bilimleri ve Mühendisliğinde Yeni Gelişmeler Işığında Güncel Konular, Chapter 6: Çevre dostu yapılar için simülasyonla baca sistemi analizi, ISBN: 978-625-372-191-6, Page: 134-152, Pages: 237, June 25, 2024
- [12] Ahmet Karahan, Figen Balo, BIDGE Publishing 2024 Book Series on, Çevre Bilimleri ve Mühendisliğinde Yeni Gelişmeler Işığında Güncel Konular, Chapter 5: Enerji verimliliği için kesaaladin simülasyonu ile baca tasarımı, ISBN: 978-625-372-191-6, Page: 112-133, Pages: 237, June 25, 2024
- [12] U Yılmaz, F Balo, LS Sua, Simulation framework for wind energy attributes with WASP, *Procedia Computer Science* 158, 458-465
- [14] Davis, J. R. (Ed.). (2001). *Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys*. Materials Park, OH: ASM International.

## GALVANİZLİ BACA MALZEMELERİNİN TEK VE ÇİFT KATMANLI MEKANİZMALARDA PERFORMANSININ SİMÜLASYON TABANLI DEĞERLENDİRİLMESİ

**Öğr.Gör. Ahmet KARAHAN<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Yeşilyurt Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon  
Bölümü,44100,Malatya, Türkiye  
**ORCID:** 0000-0002-3954-8685

**Prof.Dr. Figen BALO<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Met.ve Malz Bölümü, 23100, Elazığ, Türkiye  
**ORCID:** 0000-0001-5886-730X

\*Corresponding author e-mail: ahmet.karahan@ozal.edu.tr

### ÖZET

Bu çalışmada, Gaziantep ilinin iklim koşullarında faaliyet gösteren bir makarna fabrikasında kullanılan, 160.000 kcal/h kapasiteli sıvı yakıtlı ısıtma cihazına ait baca sistemlerinin enerji etkinlikleri analiz edilmiştir. Araştırma kapsamında, çift katmanlı 40 mm taş yünü yalıtımlı baca sistemi ile tek katmanlı yalıtımsız baca sistemi olmak üzere iki farklı yalıtım yapısı ele alınmıştır. Ayrıca galvanizli ateşe dayanıklı alüminyum kaplamalı kenetlenmiş çelik baca ve galvanizli çelik baca olmak üzere iki farklı baca malzemesi kullanılarak oval ve dairesel kesitli baca tasarımları oluşturulmuştur. Farklı yalıtım ve malzeme kombinasyonlarından meydana gelen alternatif senaryoların performans değerlendirmesi KesaAladin simülasyon programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yalıtımlı baca sistemlerinin baca gazı sıcaklıklarının korunmasında ve ısı kayıplarının azaltılmasında önemli bir avantaj sağladığını göstermektedir. Bununla birlikte, kenetlenmiş alüminyum kaplamalı çelik bacaların çekiş stabilitesi ve emisyon kontrolü açısından daha dengeli bir performans sergilediği belirlenmiştir. Çalışma, Gaziantep ili özelinde gıda sanayisinde enerji verimliliğini destekleyen baca tasarım stratejilerine yönelik uygulanabilir bir örnek sunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Endüstriyel baca sistemleri, taş yünü yalıtım, galvanizli çelik baca, enerji verimliliği, emisyon azaltımı, KesaAladin simülasyonu

### 1 GİRİŞ

Sanayi sektöründe enerji tüketimi ve buna bağlı sera gazı emisyonları, küresel ölçekte sürdürülebilirlik hedeflerinin en kritik bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Özellikle proses ısısına dayalı üretim gerçekleştiren gıda sanayi tesislerinde, kazan ve baca sistemleri toplam enerji tüketiminin ve yanma kaynaklı emisyonların önemli bir bölümünü oluşturmaktadır [1, 2]. Yanma sistemlerinde oluşan baca gazlarının sıcaklık, hız ve kimyasal bileşimi; hem enerji verimliliği hem de çevresel performans açısından belirleyici parametrelerdir [3]. Bu nedenle baca tasarımı, yalnızca bir duman tahliye elemanı değil, aynı zamanda enerji-emisyon optimizasyonunun önemli bir bileşeni olarak ele alınmalıdır.

Endüstriyel baca sistemlerinde ısı kayıpları; baca malzemesinin ısıl iletkenliği, kesit geometrisi, yüzey özellikleri ve yalıtım durumu gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir [4]. Yalıtımsız sistemlerde baca gazı sıcaklığının hızla düşmesi, çekiş gücünün azalmasına ve yoğunlaşma riskinin artmasına neden olabilmektedir. Bu durum, hem yanma verimini hem de sistem ömrünü olumsuz etkilemektedir [5]. Buna karşılık taş yünü gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı ve düşük ısıl iletkenliğe sahip malzemelerle yapılan çift katmanlı baca tasarımlarının

ısı kayıplarını azaltarak baca gazı sıcaklığını koruduğu ve çekiş stabilitesini artırdığı literatürde belirtilmektedir [6, 7].

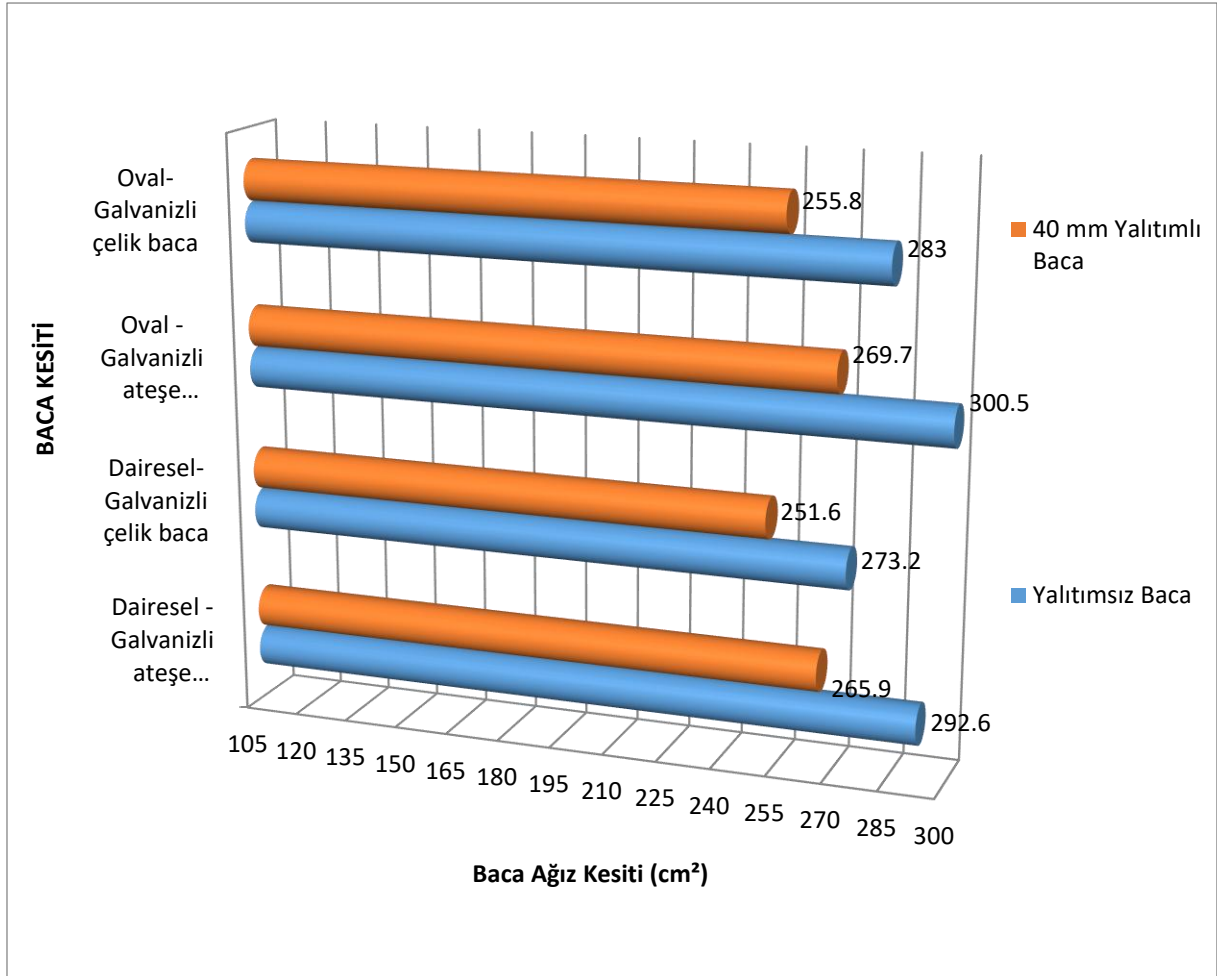
Baca malzemesi seçimi de enerji performansında belirleyici bir faktördür. Galvanizli çelik bacalar yaygın kullanım alanına sahip olmakla birlikte, alüminyum kaplamalı ve kenetlenmiş sistemler yüksek sıcaklık dayanımı ve korozyon direnci açısından avantaj sağlayabilmektedir [8]. Ayrıca baca kesit geometrisi (oval veya dairesel) akış rejimini, sürtünme kayıplarını ve basınç dağılımını etkileyerek sistem performansını doğrudan değiştirmektedir [9]. Bu kapsamda, malzeme–yalıtım–geometri üçlüsünün birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Günümüzde enerji sistemlerinin analizinde simülasyon tabanlı yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve bina/enerji modelleme yazılımları, farklı tasarım senaryolarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır [10]. Simülasyon araçları sayesinde baca gazı sıcaklığı, ısı kaybı, çekiş kuvveti ve emisyon parametreleri deneysel maliyetlere katlanılmadan analiz edilebilmektedir. Bu yaklaşım, özellikle bölgesel iklim koşullarının (örneğin Gaziantep ili gibi sıcak–kurak yaz ve soğuk kış karakterine sahip bölgeler) sistem performansına etkisinin ortaya konulmasında önemli avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Gaziantep ilinde faaliyet gösteren 160.000 kcal/h kapasiteli sıvı yakıtlı bir ısıtma cihazına ait baca sistemleri; malzeme (galvanizli çelik ve galvanizli alüminyum kaplamalı kenetlenmiş çelik), yalıtım (tek katmanlı yalıtımsız ve 40 mm taş yünü yalıtımlı çift katmanlı) ve kesit geometrisi (oval ve dairesel) parametreleri açısından simülasyon tabanlı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, endüstriyel baca sistemlerinde enerji kayıplarını azaltan ve emisyon kontrolünü iyileştiren tasarım stratejilerini literatür çerçevesinde karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktır.

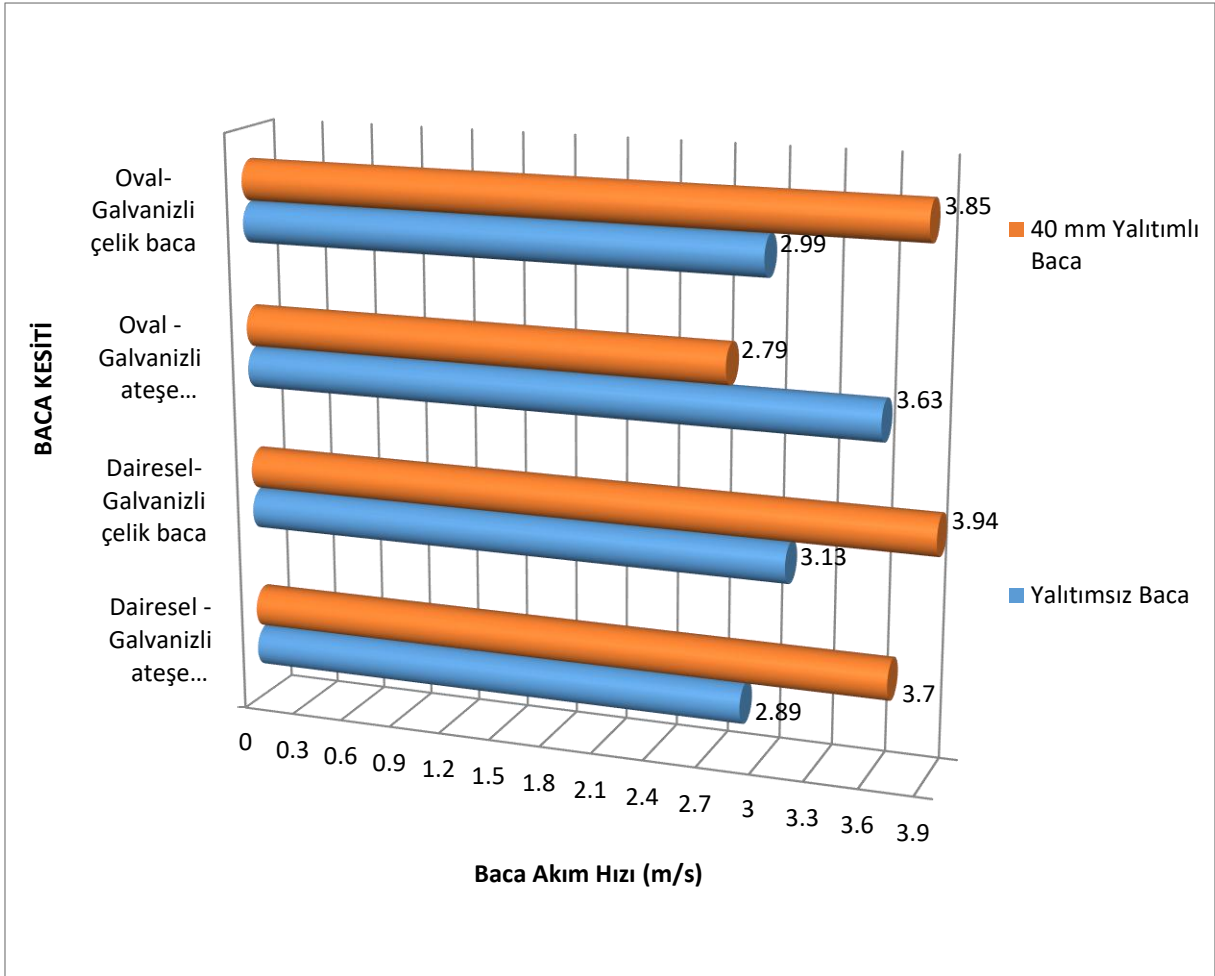
## **2. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER**

Bu bölümde, Gaziantep ili iklim koşullarında faaliyet gösteren bir makarna fabrikasına ait 160.000 kcal/h kapasiteli sıvı yakıtlı ısıtma sistemine entegre baca tasarımlarının performans analiz sonuçları detaylı olarak sunulmakta ve değerlendirilmektedir. Çalışma kapsamında, çift katmanlı 40 mm taş yünü yalıtımlı baca sistemi ile yalıtımsız tek katmanlı baca sistemi; galvanizli ateşe dayanıklı alüminyum kaplamalı kenetlenmiş çelik ve galvanizli çelik malzeme seçenekleriyle birlikte, oval ve dairesel kesit geometrileri dikkate alınarak karşılaştırmalı biçimde incelenmiştir. Simülasyonlar aracılığıyla elde edilen akım hızı, atık gaz yoğunluğu, akım sesi, rüzgâr etkisi altındaki akış davranışı, durgun basınç ve azami negatif basınç gibi temel performans parametreleri hem mutlak değerler hem de yüzdesel değişimler üzerinden analiz edilmiştir. Bu yaklaşım sayesinde, yalıtımın ısı kayıplarını azaltmadaki etkinliği, malzeme ve kesit geometrisinin ise akış karakteristiği ve çekiş stabilitesi üzerindeki rolü bütüncül bir bakış açısıyla ortaya konulmuştur. Ayrıca, farklı senaryolar arasındaki performans farklılıkları enerji verimliliği, sistem güvenliği ve emisyon kontrolü açısından tartışılarak, endüstriyel baca tasarımında optimum çözümün belirlenmesine yönelik kapsamlı bir değerlendirme sunulmuştur.



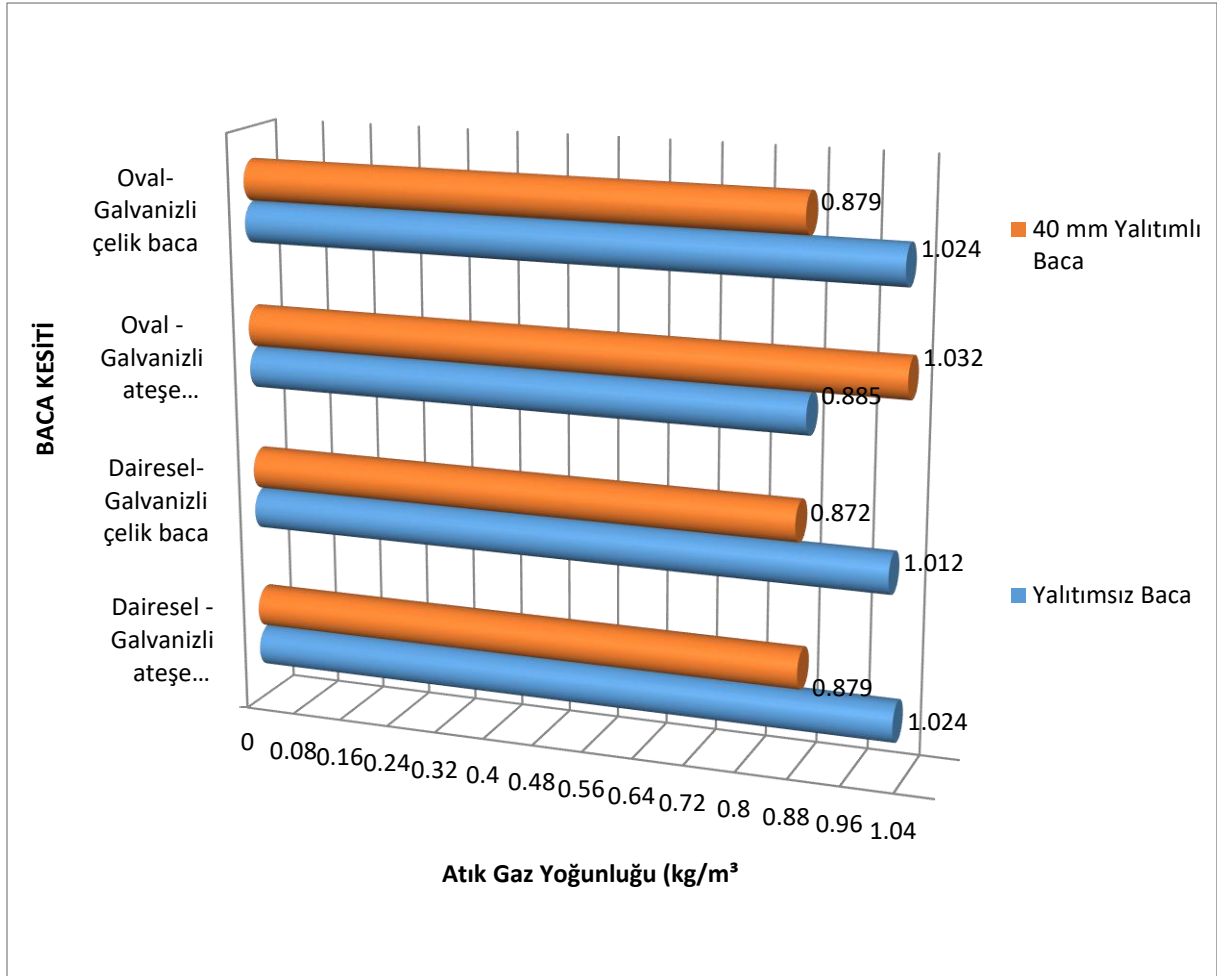
Şekil 1. Baca Ağız Kesitinin Geometri ve Yalıtım Durumuna Göre Değişimi

Şekil incelendiğinde, tüm baca tiplerinde 40 mm yalıtım uygulanmasıyla ağız kesitinde yaklaşık %8–11 oranında azalma meydana geldiği görülmektedir. Bu durum, yalıtımın baca içi sıcaklığı artırarak gaz yoğunluğunu düşürmesi ve daha kompakt bir akış kesiti oluşturması ile açıklanabilir. Oval kesitli bacalarda başlangıç kesit alanlarının daha yüksek olması, geometrinin akış alanı üzerindeki belirleyici rolünü ortaya koymaktadır.



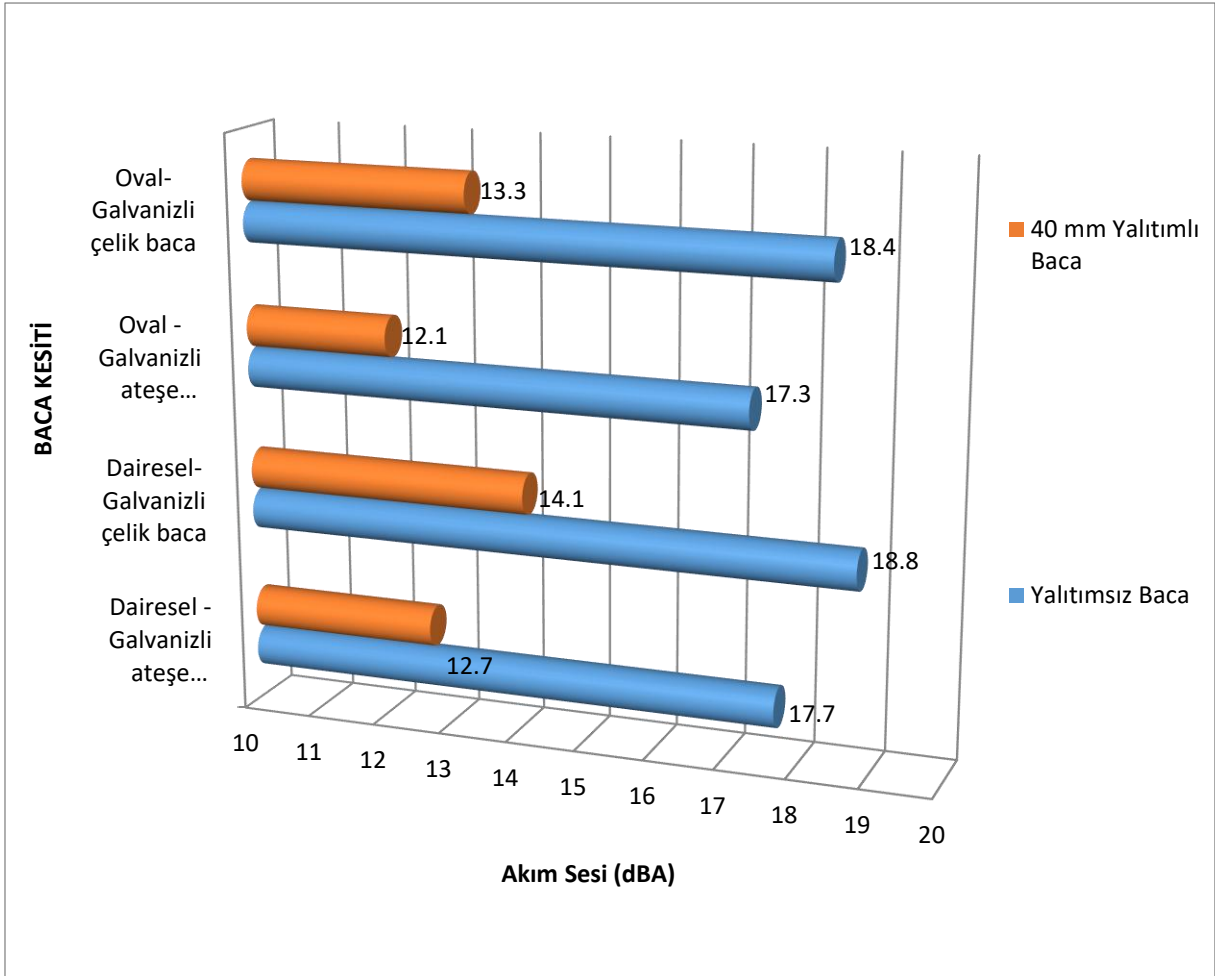
Şekil 2. Akım Hızının Yalıtım ve Baca Geometrisine Bağlı Değişimi

Dairesel ve galvanizli çelik bacalarda yalıtım ile birlikte akım hızında %20–30 oranında artış gözlenirken, oval kesitli alüminyum kaplamalı bacada tersine yaklaşık %23'lük bir azalma meydana gelmiştir. Bu durum, kesit geometrisinin ve yüzey özelliklerinin akış dinamiğini doğrudan etkilediğini göstermektedir. Genel eğilim, yalıtımın çekişi artırdığı yönündedir.



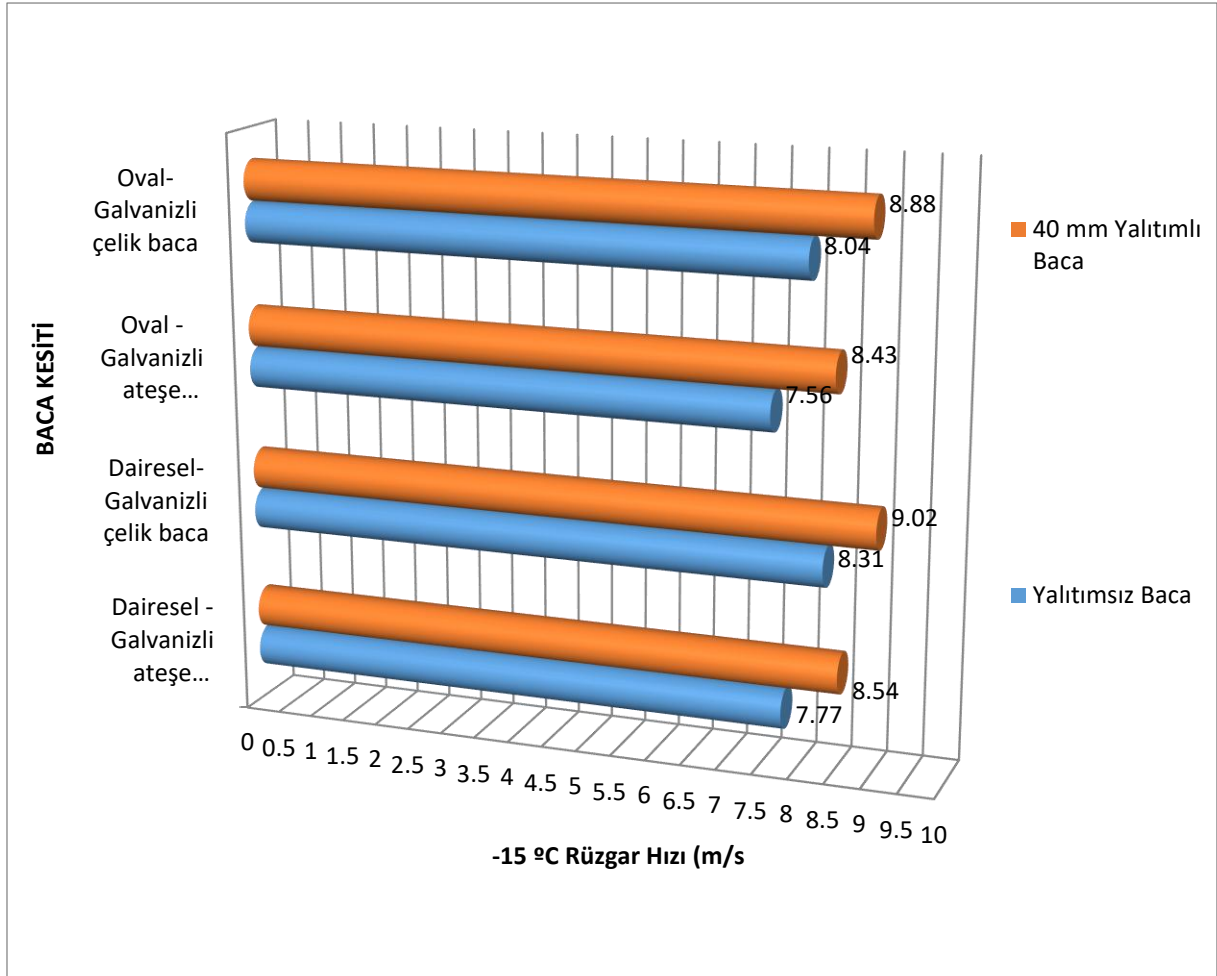
Şekil 3. Atık Gaz Yoğunluğunun Yalıtım Durumuna Göre Değişimi

Yalıtım uygulanan sistemlerde genellikle atık gaz yoğunluğunda %13–15 oranında azalma gözlenmiştir. Bu durum, baca içi sıcaklığın artmasıyla ilişkilidir. Ancak oval kesitli alüminyum kaplamalı bacada yoğunluğun artması (%16 civarında) dikkat çekici olup, bu durumun akış hızındaki düşüş ve ısı transfer karakteristiği ile ilişkili olduğu değerlendirilmektedir.



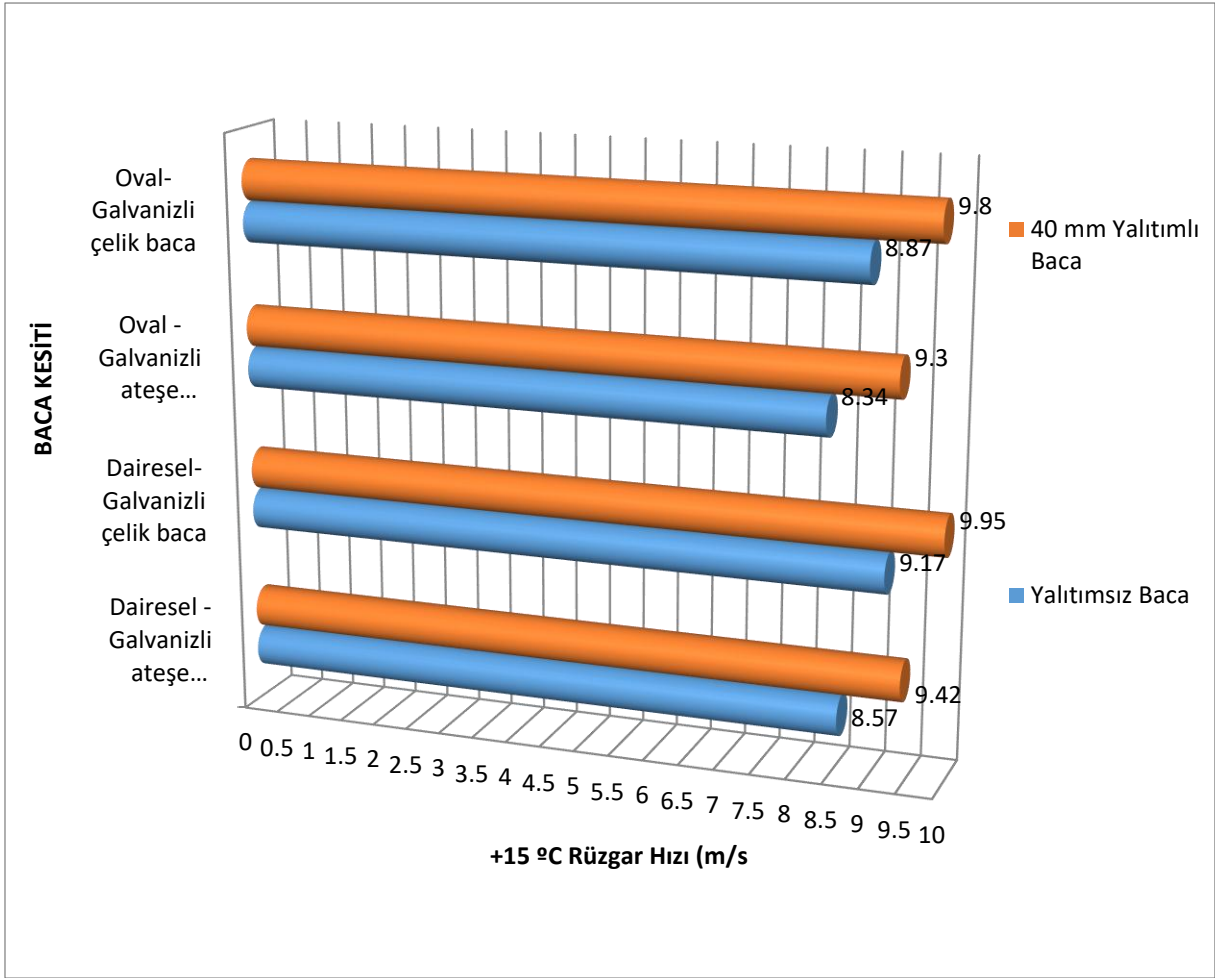
Şekil 4. Akım Ses Seviyesinin Yalıtım ve Geometriye Göre Değişimi

Tüm sistemlerde yalıtım uygulanmasıyla akım sesi seviyesinde %25–35 arasında azalma gözlenmiştir. Bu durum, yalıtımın türbülans etkilerini sönmemesi ve akışın daha düzenli hale gelmesi ile açıklanabilir. Özellikle oval kesitli sistemlerde ses azalmanın daha belirgin olduğu tespit edilmiştir.

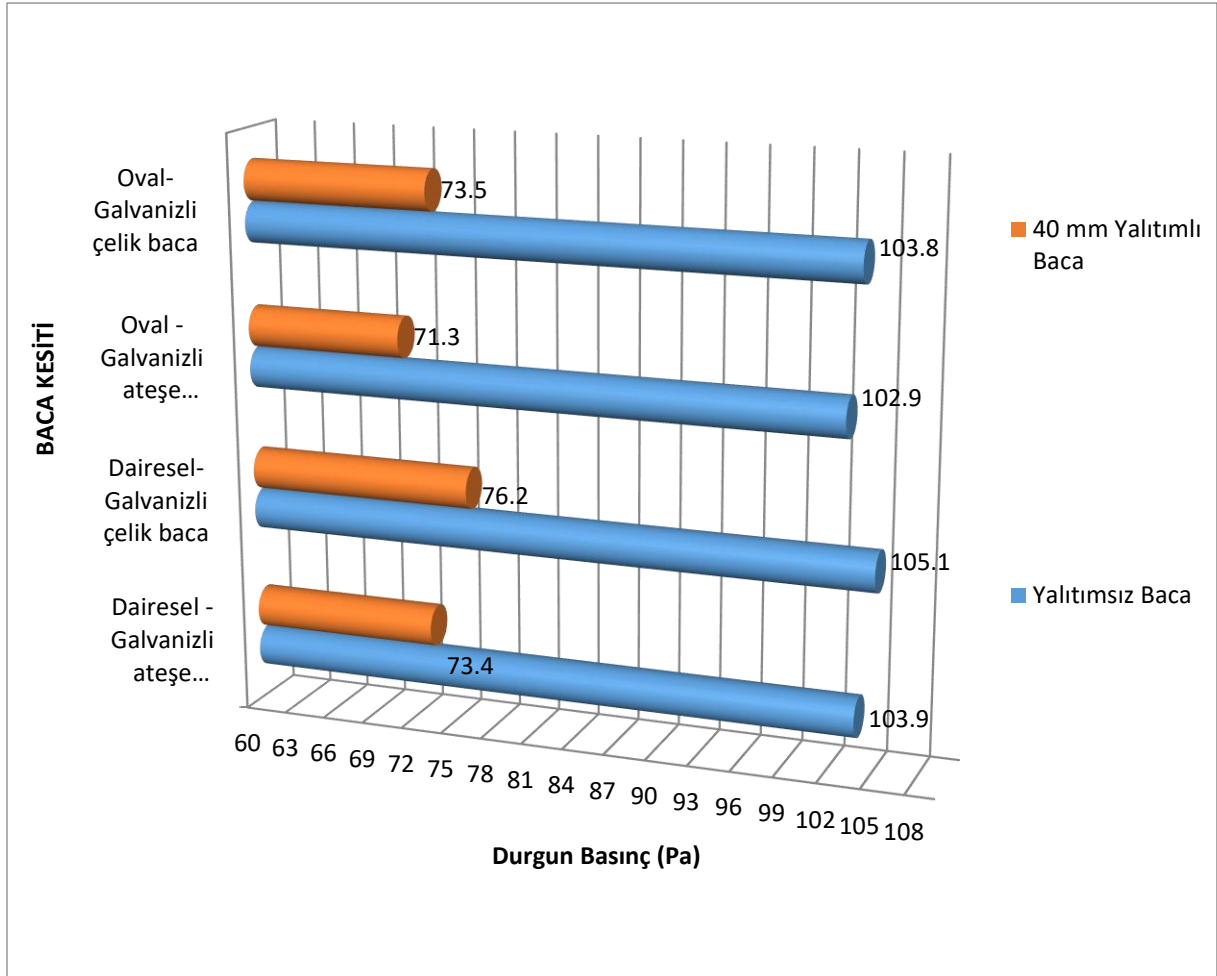


Şekil 5. Farklı Ortam Sıcaklıklarında -15°C Rüzgar Hızının Yalıtım Durumuna Göre Değişimi

Hem -15°C hem de +15°C koşullarında yalıtım uygulaması ile rüzgar hızında yaklaşık %8–12 oranında artış gözlenmiştir. Bu artış, baca içi sıcaklık farklarının artmasına bağlı olarak doğal çekişin güçlenmesi ile ilişkilidir. Sonuçlar, yalıtımın farklı iklim koşullarında sistem performansını olumlu yönde etkilediğini göstermektedir.

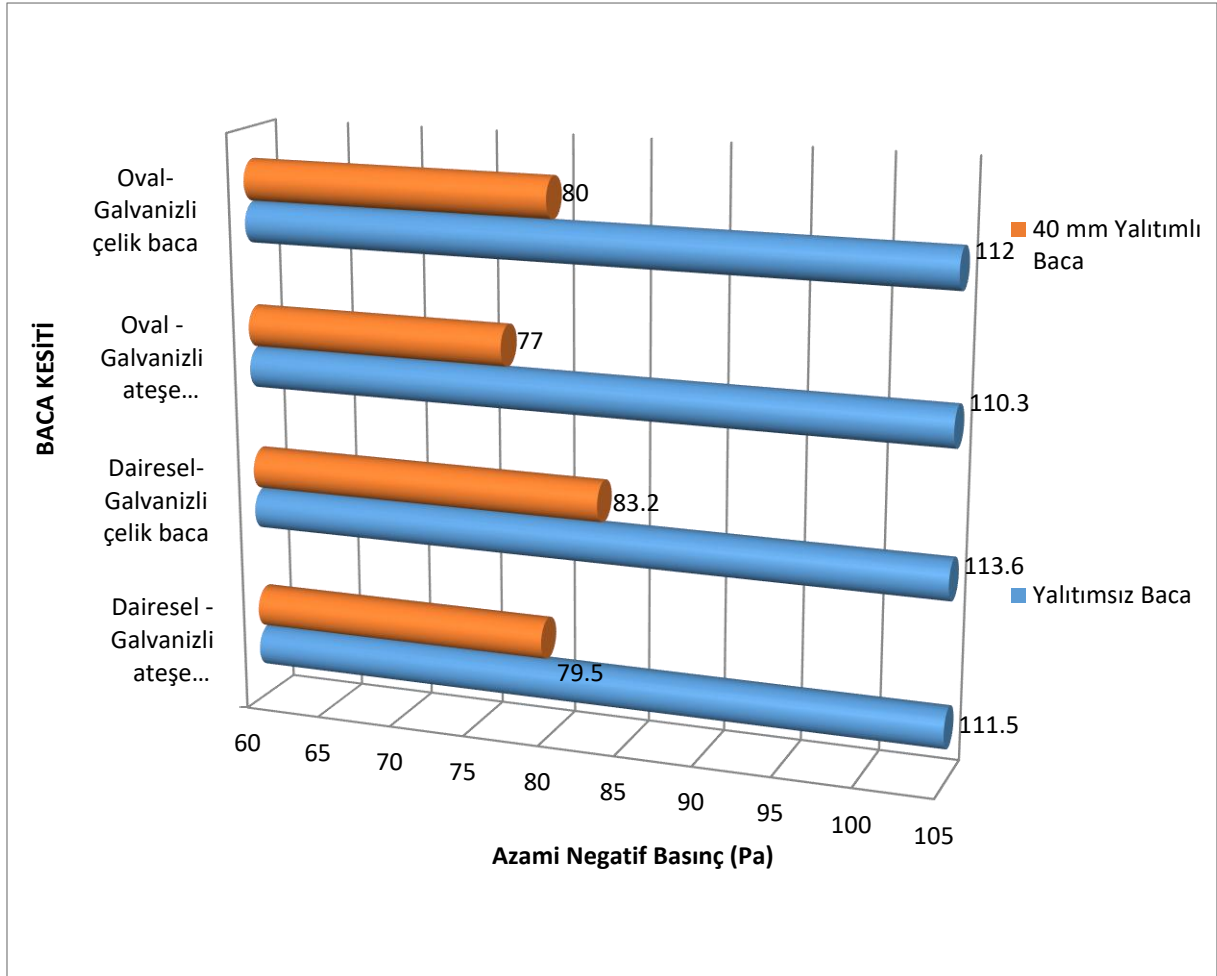


Şekil 5. Farklı Ortam Sıcaklıklarında +15°C Rüzgar Hızının Yalıtım Durumuna Göre Değişimi



Şekil 7. Durgun Basıncın Yalıtım ve Baca Tipine Göre Değişimi

Dairesel kesitli bacalarda yalıtım ile birlikte durgun basınçta yaklaşık %35–40 artış gözlenirken, oval kesitli bacalarda %30 civarında azalma meydana gelmiştir. Bu farklılık, kesit geometrisinin ve akış direncinin basınç dağılımı üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 8. Azami Negatif Basıncın Yalıtım Durumuna Göre Değişimi

Tüm sistemlerde yalıtım uygulanmasıyla azami negatif basınç değerlerinde %25–30 oranında azalma gözlenmiştir. Bu durum, sistemin daha dengeli bir çekiş rejimine ulaştığını ve aşırı negatif basınç oluşumunun önlendiğini göstermektedir. Bu sonuç, özellikle sistem güvenliği ve yanma stabilitesi açısından önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir.

Tablolarda verilen verilerin sayısal ve yüzdesel karşılaştırması, baca geometrisi ve yalıtım uygulamasının sistem performansı üzerindeki etkilerini açık biçimde ortaya koymaktadır. 40 mm yalıtım uygulanmasıyla tüm sistemlerde baca ağız kesitinde yaklaşık %8–11 oranında azalma (örneğin 292,6 mm'den 265,9 mm'ye  $\approx$ %9,1) gerçekleşirken, dairesel galvanizli çelik bacada akım hızında %25,8 (3,13 m/s'den 3,94 m/s'ye) ve oval galvanizli çelik bacada %28,7 (2,99 m/s'den 3,85 m/s'ye) artış gözlenmiştir. Buna karşılık oval alüminyum kaplamalı bacada akım hızının %23,1 oranında azalarak (3,63 m/s'den 2,79 m/s'ye) ters eğilim sergilemesi, kesit geometrisi ve yüzey özelliklerinin akış karakteristiği üzerindeki kritik rolünü göstermektedir. Atık gaz yoğunluğu genel olarak yalıtımlı sistemlerde %13–14 oranında azalırken, söz konusu oval alüminyum kaplamalı bacada %16,6 artış görülmesi dikkat çekicidir. Akustik açıdan değerlendirildiğinde, tüm sistemlerde akım sesi %25–32 aralığında azalmış (örneğin 18,8 dBA'dan 14,1 dBA'ya  $\approx$ %25), bu durum yalıtımın akış düzensizliklerini söndürdüğünü göstermektedir. Rüzgar hızları hem -15°C hem de +15°C koşullarında yaklaşık %8–10 oranında artarak doğal çekişin güçlendiğini ortaya koymuştur. Durgun basınç değerleri dairesel bacalarda %37–42 oranında artış gösterirken (76,2 Pa'dan 105,1 Pa'ya  $\approx$ %37,9), oval kesitli bacalarda yaklaşık %30 azalma eğilimi sergilemiştir. Azami negatif basınç ise tüm sistemlerde %26–30 oranında düşerek daha dengeli bir çekiş rejimi oluşturduğunu göstermektedir. Bu

kapsamda en enerji verimli ve dengeli performansın, akım hızındaki %25'in üzerindeki artış, yoğunluktaki azalma ve basınç kazanımlarıyla birlikte dairesel galvanizli çelik baca + 40 mm yalıtım senaryosunda elde edildiği; buna karşılık en olumsuz senaryonun, akım hızında %23 azalma, yoğunlukta artış ve basınç kaybı ile karakterize edilen oval alüminyum kaplamalı baca + 40 mm yalıtım durumu olduğu belirlenmiştir.

### 3. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular, baca sistemlerinde yalnızca yalıtım kalınlığının değil, aynı zamanda kesit geometrisi ve malzeme özelliklerinin de enerji verimliliği ve akış performansı üzerinde belirleyici olduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır. İlk veri setinde yalıtım kalınlığının kademeli olarak artırılmasıyla akım hızında yaklaşık %30'a varan artış, atık gaz yoğunluğunda %16–17 oranında azalma ve durgun/negatif basınç değerlerinde %40'a yaklaşan iyileşmeler elde edilmesi, yalıtımın klasik baca teorisiyle uyumlu biçimde çekiş mekanizmasını güçlendirdiğini doğrulamaktadır. Buna karşılık ikinci veri setinde, 40 mm yalıtım uygulamasının dairesel kesitli bacalarda benzer şekilde olumlu etkiler yarattığı (akım hızında %25–29 artış, yoğunlukta %13–14 azalma ve durgun basınçta %35–40 artış) görülürken, oval kesitli ve özellikle alüminyum kaplamalı sistemlerde akım hızının %23 oranında azalması ve yoğunluğun %16'nın üzerinde artması, yalıtımın tek başına performans artışı sağlamadığını, geometrik ve yüzeysel akış dirençlerinin belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu durum, oval kesitli yapılarda sınır tabaka gelişiminin ve akış düzensizliklerinin daha belirgin hale gelerek çekiş verimini sınırladığını düşündürmektedir. Öte yandan, tüm sistemlerde akım sesi seviyesinin %25–35 oranında azalması, yalıtımın akustik açıdan da önemli bir iyileştirme sağladığını ortaya koyarken, azami negatif basınçtaki %26–30 oranındaki düşüş, sistemin daha dengeli ve güvenli bir çalışma rejimine ulaştığını göstermektedir. Bu bağlamda, enerji verimliliği ve akış stabilitesi birlikte değerlendirildiğinde, en uygun çözümün dairesel kesitli ve 40–50 mm aralığında yalıtıma sahip çelik baca sistemleri olduğu; buna karşılık oval kesitli ve özellikle yüzey direnci yüksek sistemlerde yalıtım uygulamasının beklenen performans artışını sağlamayabileceği sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlar, konut tipi baca tasarımlarında optimum performans için yalıtım kalınlığının tek başına yeterli bir parametre olmadığını, kesit geometrisi ve malzeme seçimi ile birlikte bütüncül bir tasarım yaklaşımının benimsenmesi gerektiğini güçlü biçimde ortaya koymaktadır.

### KAYNAKLAR

- [1] International Energy Agency (IEA). (2023). Energy Efficiency 2023. Paris: IEA Publications.
- [2] Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). Thermodynamics: An Engineering Approach (9th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Education.
- [3] Kalogirou, S. A. (2014). Solar Energy Engineering: Processes and Systems (2nd ed.). Academic Press.
- [4] Turns, S. R. (2012). An Introduction to Combustion: Concepts and Applications (3rd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- [5] Dincer, I., & Rosen, M. A. (2013). Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development (2nd ed.). Elsevier.
- [6] ASHRAE. (2021). ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [7] Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method (2nd ed.). Pearson Education.
- [8] White, F. M. (2016). Fluid Mechanics (8th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Education.

- [9] Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2017). Fundamentals of Heat and Mass Transfer (8th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
- [10] Karahan, A., & Balo, F. (2024). Bulanık İlçesinde Isıtma Kazanlarındaki Enerji Tüketimini Azaltmak İçin Simülasyon Destekli Baca Tasarımı. Bulanık MYO Sosyal Bilimler Dergisi, 2(Bulanık Sempozyumu Özel Sayısı), 52-63.
- [11] Ahmet Karahan, Figen Balo, BIDGE Publishing 2024 Book Series on, Çevre Bilimleri ve Mühendisliğinde Yeni Gelişmeler Işığında Güncel Konular, Chapter 6: Çevre dostu yapılar için simülasyonla baca sistemi analizi, ISBN: 978-625-372-191-6, Page: 134-152, Pages: 237, June 25, 2024
- [12] U Yılmaz, F Balo, LS Sua, Simulation framework for wind energy attributes with WASP, Procedia Computer Science 158, 458-465
- [13] Ahmet Karahan, Figen Balo, BIDGE Publishing 2024 Book Series on, Çevre Bilimleri ve Mühendisliğinde Yeni Gelişmeler Işığında Güncel Konular, Chapter 5: Enerji verimliliği için kesaaladin simülasyonu ile baca tasarımı, ISBN: 978-625-372-191-6, Page: 112-133, Pages: 237, June 25, 2024
- [14] Figen Balo, Ahmet Karahan, Lutfu S. Sua, A simulation supported chimney design application for greener buildings, Proceedings of Engineering Thrive 2022: Water, Air, Shelter, and Food Symposium, June 23-24, 2022, University of Windsor, Ontario, CANADA
- [15] Karahan, A., & Balo, F. (2024). Emisyonlarının Azaltılması İçin Çevresel Baca Tasarımı; Bulanık İlçesi Üzerine Örnek Çalışma. Bulanık MYO Sosyal Bilimler Dergisi, 2(Bulanık Sempozyumu Özel Sayısı), 42-51.

## **STRENGTH PROPERTIES OF LOW PLASTICITY CLAY SOILS STRENGTHENED BY ADDING OBSIDIAN (A VOLCANIC GLASS)**

**Assit. Prof. Dr. Necmi YARBAŞI**

Atatürk University,  
Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering  
nyarbasi@atauni.edu.tr Orcid ID: 0000-0003-4259-1278

### **ABSTRACT**

Today, the use of natural rocks and minerals in the improvement of soils with poor geotechnical properties is becoming increasingly common. The economic, environmentally friendly, readily available, and sustainable nature of these materials significantly outweigh the use of synthetic or chemical substances. In this study, the effect of ground obsidian (volcanic glass) addition on the mechanical behavior of low-plasticity clays was experimentally investigated. Red clay soil samples prepared with three different obsidian additives (3%, 5%, and 7% dry weight) were stored in a desiccator and cured for 7, 14, and 28 days. Following these curing processes, strength values were measured using a uniaxial unconfined compression strength tester. The finely ground obsidian additive increased strength by acting as a filler in the low-plasticity red clay matrix, reducing voids. Experimental data showed that the greatest strength increase was observed after 28 days of curing, with a 65% increase observed in the 3% obsidian mixture added to the low-plasticity clay soil. Therefore, it was concluded that finely ground obsidian added to the low-plasticity red clay soil could be used as an economical and environmentally friendly ground improvement material, particularly in soils with shallow foundation depths.

**Keywords:** Red clay, obsidian, strength, soil improvement

### **1. INTRODUCTION**

In geotechnical engineering, improving/strengthening soils with poor geotechnical properties is crucial for the safety and economic design of engineering structures. Clay soils, particularly those commonly found in nature, are silicate minerals with a flaky and fibrous structure and particle sizes smaller than 2 microns. These clayey soils are susceptible to various problems (deformation, strength loss, and environmental impacts) in terms of compressibility, strength, and volumetric change [1]. Therefore, these problems, which directly affect the safety of infrastructure projects, necessitate the improvement or stabilization of such soils in engineering applications.

Soil improvement methods are generally implemented through physical, chemical, or mineral additives. Traditionally, additives such as lime, cement, fly ash, and blast furnace slag have been used [2, 3]. However, with the increasing importance of global environmental impact, sustainability, cost, and resource management in the last 20 years, emphasis has been placed on alternative additives of natural or waste origin [4, 5, 6, 7, 8, 9]. In this context, silica-rich natural

rocks and minerals such as glass, volcanic tuff, pumice, quartzite, and obsidian come to the fore.

Obsidian, used as an additive in this study, is a glassy rock formed by the rapid cooling of magma as a result of volcanic activity. Chemically, it contains a large amount of  $\text{SiO}_2$  and has a hard, brittle, and amorphous structure [10]. These physical properties of obsidian make it a potential microfilling or strength-enhancing material.

The use of fine-grained additives in clay soils directly affects the microstructure and macroscopic behavior of the clay. Fine particles added at optimal rates can fill the voids in the clay soil matrix and create a tight structure, while excessive additions can lead to de-homogenization and strength losses. Therefore, obsidian additives are expected to exhibit a similar behavior [11, 12].

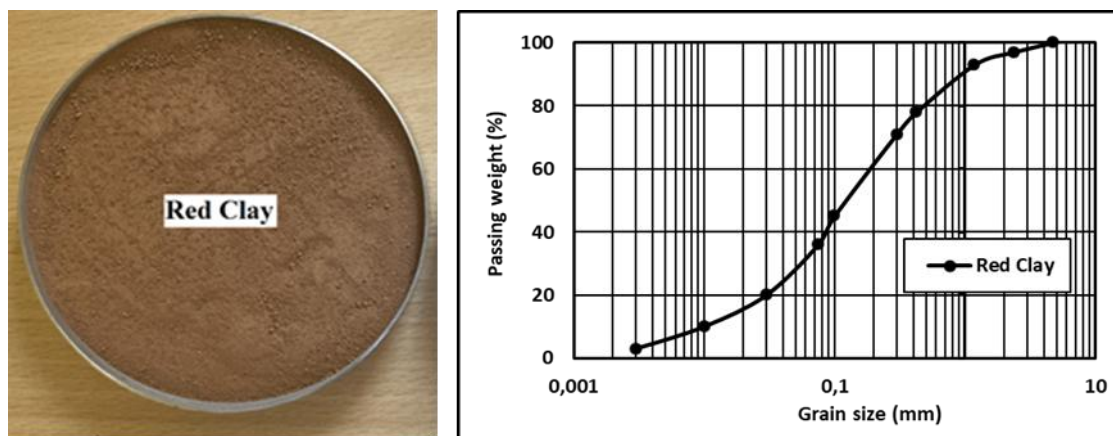
In this study, the effect of obsidian addition on the mechanical properties of low-plasticity clay soils was experimentally investigated. The effects of different amounts of obsidian addition on the compressive strength of the soils were evaluated. Furthermore, the potential for using obsidian, a naturally occurring and locally accessible material, as a stabilizer in low-plasticity clays was evaluated. The presence of abundant obsidian deposits, particularly in the Eastern and Central Anatolia regions of Türkiye [13], further enhances the potential for this material to be used in local soil improvement projects.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Materials

#### 2.1.1. Red clayey soil (RCS)

RCS samples were obtained from 5 km northeast of Oltu district, Erzurum Province, northeastern Türkiye. RCS samples were dried in a laboratory environment and then ground at 6000 rpm in a Los Angeles machine before being used as the base material. The RCS sample and its granulometric curve are presented in Visual 1, and its geotechnical properties are shown in Table 1.



**Visual 1.** Red clay soil - granulometry curve

**Table 1.** Geotechnical of features RCS [6]

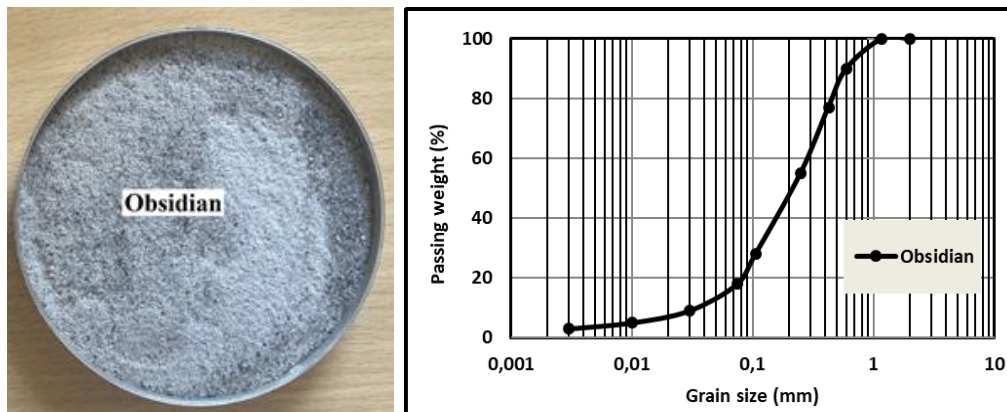
Properties	Values
Specific weight ( $\text{g/cm}^3$ )	2.62
Sand (%)	14.0
Silt (%)	52.0
Clay (%)	34.0
$W_L$ (%)	43.5
$W_P$ (%)	22.0
PI (%)	21.5
<sup>1</sup> $W_{opt}$ (%)	22.0
<sup>1</sup> $\gamma_{kmax}$ ( $\text{kN/m}^3$ )	15.9
<sup>2</sup> Soil Class	CL

<sup>1</sup> Compaction testing was performed.

<sup>2</sup> USCS systems were applied.

### 2.1.2. Obsidian (OBS)

Obsidian samples, a volcanic glass used in this study, were collected from the 20 th km of the Sarıkamış-Mescitli highway in Kars province, Eastern Anatolia. The hard, brittle, and amorphous obsidian samples were crushed in a laboratory environment and ground in a ring mill before being used as an additive (Visual 2). Elemental analyses of the obsidian samples revealed O 47.42%, Si 38.97%, Al 6.71%, K 4.05%, Na 1.80%, and other 1.05%. The main oxide contents of these obsidians were %75.95  $\text{SiO}_2$ , %13.10  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , %4.75  $\text{Na}_2\text{O}$ , % 1.45  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , % 4.0  $\text{K}_2\text{O}$ , % 0.45  $\text{CaO}$  [11].

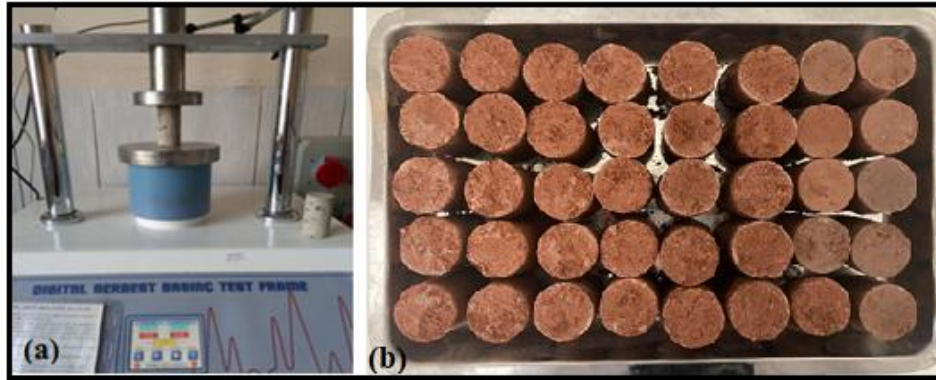


**Visual 2.** Obsidian - granulometry curve

## 2.2 Methods

For this study, the mixing ratios of RCS and OBS samples brought to the laboratory environment were determined as 100% RCS (MIX), 97% RCS + 3% OBS (MIX1), 95% RCS + 5% OBS (MIX2) and 93% RCS + 7% OBS (MIX3). Each mixture was compacted under

standard Proctor energy at the optimum water content determined by compaction tests [14]. The prepared samples were cylindrical specimens with a diameter of 38 mm and a height of 76 mm. The strength values of samples MIX, MIX1, MIX2 and MIX3 were determined by a unconfined compression device (constant loading rate of 0.8 mm/min) after 7, 14 and 28 days of curing [15].



**Visual 3.** Uniaxial pressure device (a) and mixture samples (b)

### 3. EXPERIMENTAL RESULTS

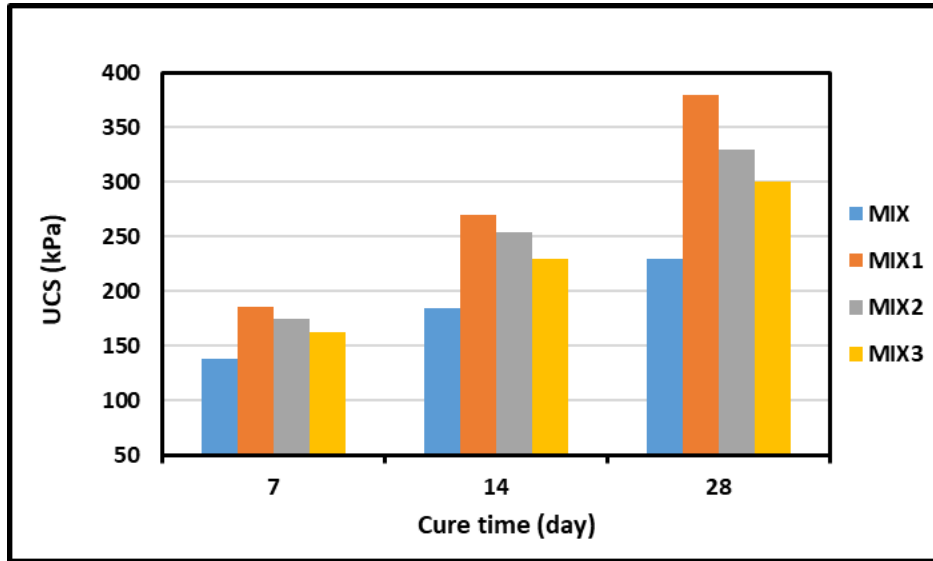
#### 3.1. Unconfined compressive strength (UCS)

Experimental results showed that the maximum compressive strength of all mixtures (MIX, MIX1, MIX2, and MIX3) was achieved after 28 days of curing, with a 65% increase in the MIX1 (97% RCS + 3% OBS) mixture. Compared to the base material (MIX), the strength values of the mixtures were determined to increase by 44% in the MIX2 (95% RCS + 5% OBS) mixture and by 30% in the MIX3 (93% RCS + 7% OBS) mixture.

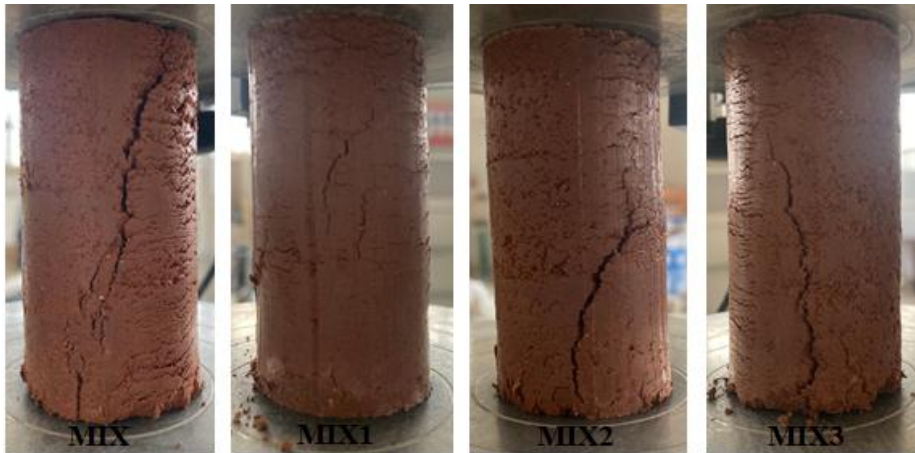
These findings demonstrate that the addition of OBS significantly contributes to durability performance. The addition of obsidian increases intergranular friction by penetrating between clay grains. This effect is dominant at low concentrations, while at higher concentrations, it reduces efficiency due to distribution heterogeneity [11] (Figure 4).

Experimental results showed that the additive ratio and curing time were effective in improving the RCS samples. Compressive strength values reached their highest value at 3%, while decreases in strength were observed at 5% and 7% additive ratios. This suggests that excessive obsidian addition (more than 3%) reduces the binding effect in low-plasticity clayey soils, leading to a heterogeneous distribution and consequently reducing strength.

Cracks were detected in the samples, resulting from tensile stresses due to increased loading. In uniaxial compression tests, the cracks were generally vertical and widened in parallel with the decrease in load-carrying capacity. The increase in strength observed in the MIX1 mixture was also observed as fine cracks in the fracture images. In the base material, clayey soil (MIX), and in the MIX2 and MIX3 mixtures, these cracks were observed as vertical and widening cracks (Visual 5).



**Visual 4.** Graphical representation of UCS values



**Visual 5.** Fracture patterns of the mixture samples

#### 4. CONCLUSION

Ground obsidian grains used as an additive in a low-plasticity clay soil matrix increased the strength performance of the mixtures. Experimental findings showed that at low additive concentrations (3%), obsidian grains filled the voids in the clay matrix, contributing to a more compact structure. At medium (5%) and high (7%) additive concentrations, structural irregularities were observed due to grain accumulation and heterogeneous distribution, resulting in decreases in strength. This demonstrates that the optimal additive ratio is a critical parameter.

The results indicated that low additive doses (MIX1=3% OBS) increased the strength of obsidian by 65%. The strength values of the other mixtures were increased by 44% in the MIX2 (5% OBS) mixture and 30% in the MIX3 (7% OBS) mixture. Due to its high silica content and hard grain structure, obsidian may be a potential additive for improving/strengthening low-plasticity clay soils. Careful attention should be paid to additive dosage and homogeneous mixing. Furthermore, its potential as a cost-effective and sustainable alternative in areas where obsidian is locally available should be considered.

## 5. REFERENCES

- [1] Ersoy, A. *Drilling Techniques and Applications*. Nobel Bookstore, Ankara. 2008.
- [2] Uzuner, B.A.. *Temel Zemin Mekaniği*. Teknik Yayınevi (4. Baskı), sayfalar 47-66, Trabzon. 2000a.
- [3] Uzuner, B.A. *Temel Mühendisliğine Giriş*. Derya Kitabevi (2. Baskı), sayfa 162, Trabzon. 2000b.
- [4] Yarbaşı, N. *Effect of freezing-thawing on clayey soils reinforced with human hair fibers*. Journal of Natural Fibers, 17(6): 921–931. doi:10.1080/15440478.2019.1690614. 2020.
- [5] Kalkan, E. and Bayraktutan, M. *Geotechnical evaluation of Turkish clay deposits: A case study in Northern Turkey*. Environmental Geology 55 (5):937–50. doi:10.1007/s00254-007-1044-8. 2008.
- [6] Yarbasi, N. *Strength Properties of Low Plasticity Clayey Soils Improved with Marble Dust and Waste Tyre*. Artvin Çoruh University Natural Hazards Application and Research Center, Journal of Natural Hazards and Environment, 4(2): 162-170, DOI:10.21324/dacd.412489. 2018.
- [7] Kalkan, E., Yarbasi, N., Bilici, O. *Strength performance of stabilized clayey soils with quartzite material*. International Journal of Earth Sciences Knowledge and Applications, 1 (1):1–5. 2019.
- [8] Hejazi, S. M., M. Sheikhzadeh, S. M. Abtahi, and A. Zadhoush. *A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers*. Construction and Building Materials 30:100–16. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.11.045. 2012.
- [9] Yarbaşı, N., Kalkan, E. and Akbulut, S. *Modification of the geotechnical properties, as influenced by freeze–Thaw, of granular soils with waste additives*. Cold Regions Science and Technology 48 (1):44–54. doi:10.1016/j.coldregions.2006.09.009. 2007.
- [10] Yenyol, M. *Mineralogy*. Dilek Offset Printing, 2nd Edition, ISBN 978-605-60847-4-4, page 150. Istanbul. 2009.
- [11] Yarbasi, N. *Performance of granular soils reinforced with obsidian (volcanic glass) additives in different proportions subjected to freeze-thaw*. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences 25 (6), 764-767. 2019.
- [12] Sengül, T., Vitosoglu, Y. *Chemical Stabilization Applications and Materials Used in Soils*. In: Onur, M. İ. (ed.), Innovative Research in Geotechnical Engineering. Özgür Publications. DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub391.c1657>, 2023.
- [13] Aygun, Z., Yarbasi, N., Aygun, M. *Spectroscopic and radiation shielding features of Nemrut, Pasinler, Sarıkamis and İkizdere obsidians in Turkey: Experimental and theoretical study*, Ceramics International, Volume 47, Issue 24, 2021, Pages 34207-34217, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.08.330>. 2021.
- [14] ASTM D698. *Standard Test Methods For Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 Ft-Lbf/Ft<sup>3</sup> (600 Kn-M/M<sup>3</sup>))*, ASTM International, West Conshohocken, PA. 2012.
- [15] ASTM D2166 / D 2166M-16. *Standard Test Method For Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*, ASTM International, West Conshohocken, PA. 2016.

## **STIFFENED FLUSH-TYPE MOMENT CONNECTIONS**

**Prof. Dr. Tugrul Talaslioglu**

Osmaniye Korkut Ata Univ., Eng. And Natura Sciences Fac., Civil Engineering Dep.,  
Fakiusagi, Osmaniye Turkiye  
ttalaslioglu@osmmaniye.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-8075-4130

### **ABSTRACT**

Moment end-plate connections play a crucial role in the structural integrity of low-rise metal buildings, particularly in the continuous frame construction. One of these moment connection family is unstiffened flush-type moment connection. This type connection has been extensively used in beam-to-column and beam-to-beam joints, and designed using principles established by the provisions of American Institute of Steel Construction (AISC). This paper examines the design methodology for the stiffened and unstiffened flush extended end-plate connection which is based on the yield-line theory, bolt force predictions, and moment-rotation relationships. Furthermore, an example is also included for the determination of using different design parameters on the basic governing design criteria. Concludingly, the simulation results show to be accurately captured the non-linear relationship between material strength and geometric configuration described as in the steel design guide of AISC. It proves that the stiffener location significantly alters the efficiency of the bolt group.

**Keywords** : Stiffened Steel Moment Connection, , Flush, End plate, AISC

### **1. INTRODUCTION**

A Flush Type Moment Connection is a structural steel connection typically used in moment-resisting frames. It is characterized by an end-plate that does not appreciably extend beyond the beam flanges, with all bolts located strictly between the beam flanges.

These connections are commonly used in frames subject to light lateral loads or near the inflection points of gable frames. The design of Moment end-plate connections (MEPCs) has

been evolved since 1990. The first edition of MEPC design as “Design Guide 4” was edited by Murray TM in 1990 [1] . Then, its second revised version as “Design Guide 16” was released by Murray TM and Shoemaker LW in 2002 [2]. It is noted that it has been improved in a way of additional considerations [3-5].

Over time, the design methodology has been heavily improved by integrating several advanced analytical considerations. i) adjusting the end-Plate Thickness which is determined using Yield-Line Theory, which provides a strength criterion based on the plate's yield-line mechanisms, ii) taking into account of bolt forces and prying action which is calculated using a modified Kennedy method. This ensures that the extra "prying" forces applied to the bolts as the end-plate deforms are safely accounted for, iii) using connection stiffness which is evaluated through moment-rotation relationships to accurately classify the connection's rigidity, iv) updating installation and loading conditions which have been validated the use of cost-saving "snug-tight" bolts for static loads (replacing fully tensioned bolts) and introduced new evaluations for performance under cyclic and seismic loading

Particularly, the inclined MEPCs are a perfect connection tools for Knee and Portal Frames (see Figure 2)

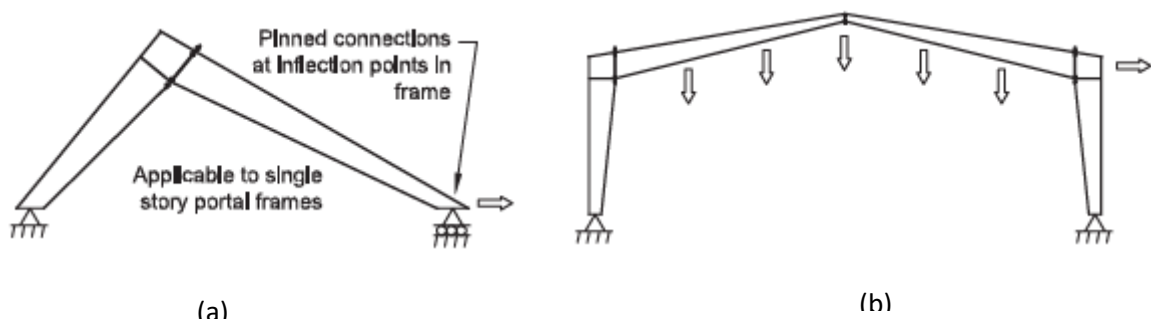


Figure 2 Knee (a) and Portal (b) Frames

In general, the end plate connections are classified as the extended and flush types. The flush type ones are presented in Figure 3.

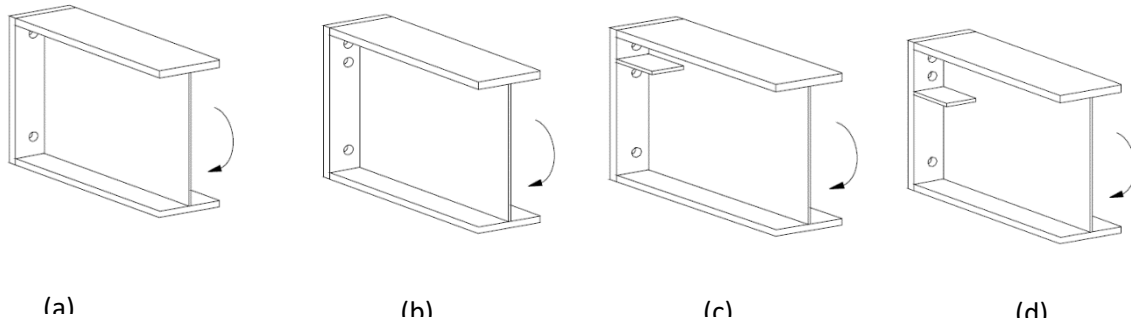


Figure 3 Pure (a), Four-Bolt Unstiffened (b,) Four-Bolt Stiffened with Web Gusset Plate Between the Tension Bolts (c) and Four-Bolt Stiffened with Web Gusset Plate Between the Tension Bolts (d) Flush Moment Connections

Although it is possible to connect a MEPC to the major axis of column, this also carried out using the minor axis of I-type column (see Figure 4)

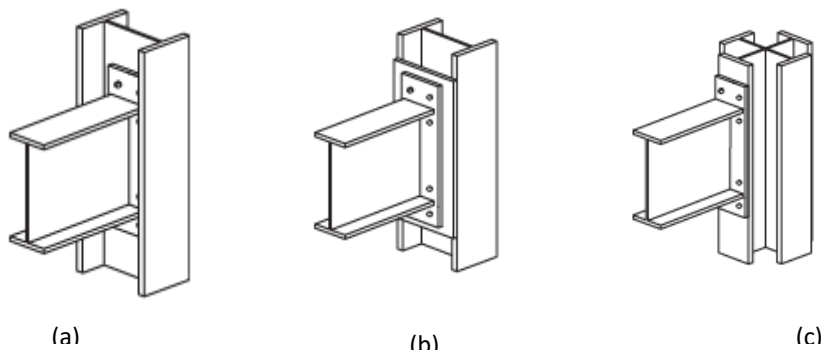


Figure 4 Column Web (a), Column Flange (b) and Cruciform End-plate moment-Connections

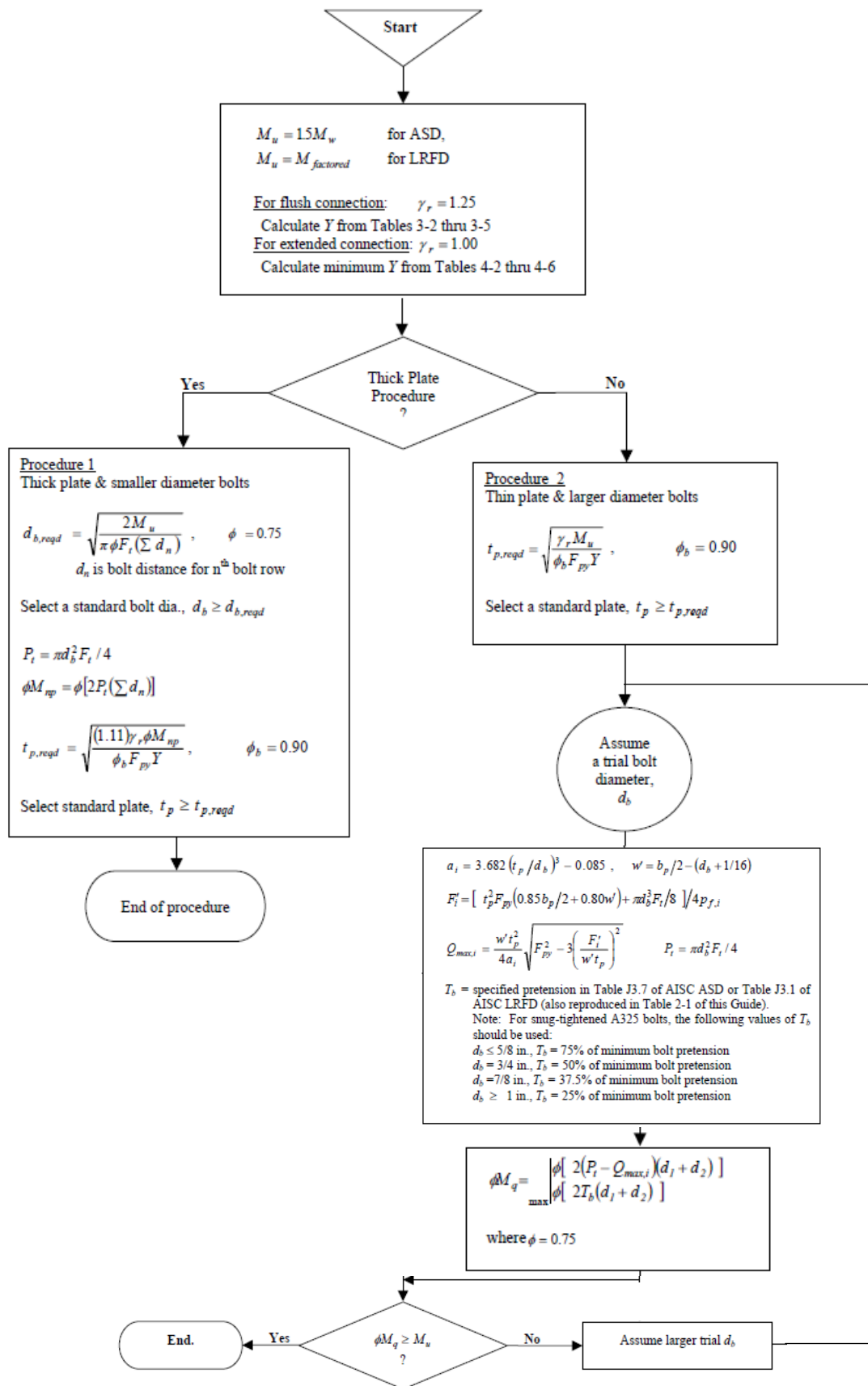
## 2. THE GOVERNING BASICS OF THE DESIGN OF FLUX-TYPE END PLATE MOMENT CONNECTIONS

In the design of Moment End-Plate Connections (MEPCs), the plate thickness is the most critical parameter controlling the design limit states. The guide categorizes the design into two

main procedures summarized in a flowchart (see figure 5): i) Procedure 1 (Thick Plate): Uses a thicker plate and smaller diameter bolts. Prying action is neglected since the plate behaves as a thick plate without yielding, ii) Procedure 2 (Thin Plate): Uses a thinner plate and larger diameter bolts. Prying forces are included in the bolt analysis because the plate is assumed to yield.

Connection behavior varies significantly depending on the loading condition. While wind loading relies on elastic-based design concepts (the use of cost-saving "snug-tight" bolts is validated), seismic loading requires inelastic-based design concepts due to expected deformations. The magnitude of the seismic loading determines the frame type (such as SMRF or OMRF), and snug-tight bolts are not recommended for high seismicity applications.

Connection stiffness dictates the nodal constraints, which are classified by Moment-Rotation relationships: i) Fully Restrained (FR - Type 1): Connections that have sufficient rigidity to fully resist joint rotation, ii) Simple (Type 2): Connections that are free to rotate and connect for shear only, iii) Partially Restrained (PR - Type 3): Connections with a predictable moment-rotation capacity between Type 1 and Type 2.



### 3. DISCUSSION AND RESULTS

Figure 5 Flow Chart for General Design Procedure for End-Plate Connections

The design guide covers four specific flush configurations: Two-bolt unstiffened., Four-bolt unstiffened, Four-bolt stiffened (with a web gusset plate between the tension bolts), Four-bolt stiffened (with a web gusset plate outside the tension bolts). In this regard, while the tension strengths ( $F_t$ ) of bolts are taken as 90 ksi (A325) and 113 ksi (A490), the material yielding stress of end-plates ( $F_{yp}$ ) are assigned as 42 ksi (Gr 42 steel) , 50 ksi (Gr 50 steel) and 55 ksi (Gr 55 steel) (see Ref and ). The moment value as a loading condition is assigned at the five stages in a way of increasing its original value as %50. Thus, the last total moment value 1200 kips.in is increased two times with respect to its first original value 600 kips.in. Furthermore, although the end-plate thickness ( $t_p$ ) is calculated according to the computing steps in the flowchart (see Figure 5), its adjusted values considering Table 1 located in ASTM 572 is also presented as  $t_{p\_last}$ .

Based on Tables 1-4 and the principles of the AISC DG16 guide, the results clearly demonstrate the non-linear relationship between material strength, geometric configuration, and design criteria.

- Design Procedures (DP1 vs. DP2): The tables accurately reflect the two primary design philosophies. DP1 (Thick Plate) assumes the plate does not yield, neglecting prying action, which results in thicker end-plates but allows for smaller bolt diameters. DP2 (Thin Plate) assumes plate yielding, which introduces prying forces, thereby requiring larger bolt diameters but thinner end-plates.
- Bolt Material (A325 vs. A490): The use of higher-strength A490 bolts (113 ksi) compared to A325 bolts (90 ksi) significantly improves the bolt group's efficiency. The higher tensile capacity of A490 bolts is particularly effective in absorbing the extra prying forces generated in DP2, often reducing the required bolt diameter.
- Bolt Configuration & Stiffener Impact: As applied moment increases, transitioning from a two-bolt to a four-bolt configuration prevents the need for uneconomically thick plates. Furthermore, the location of the stiffener—whether positioned between the tension bolt rows (Table 3) or inside the tension bolt rows (Table 4)—

fundamentally alters the yield-line mechanism of the plate. This change in geometry directly impacts the prying forces and the overall efficiency of the bolt group.

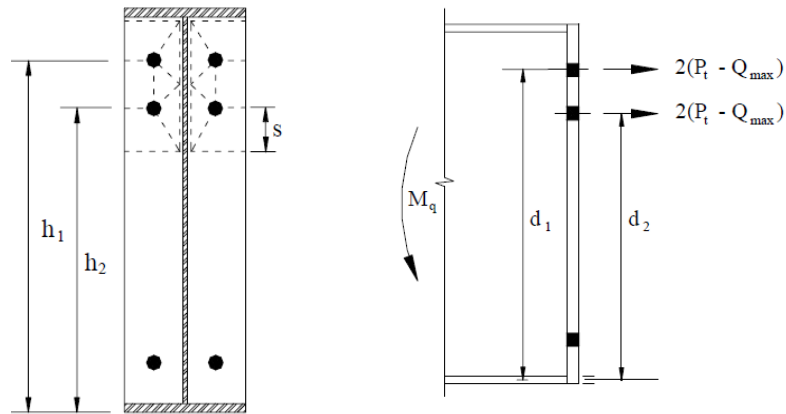


Figure 6 Four-Bolt Flush Unstiffened Moment End-Plate

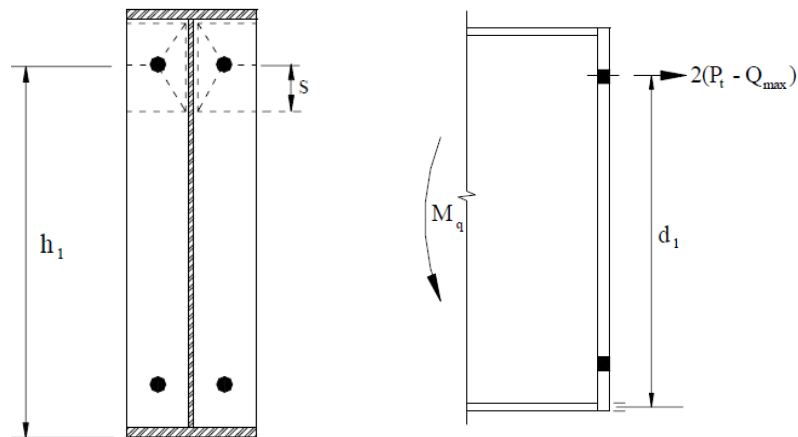


Figure 7 Two-Bolt Flush Unstiffened Moment End-Plate

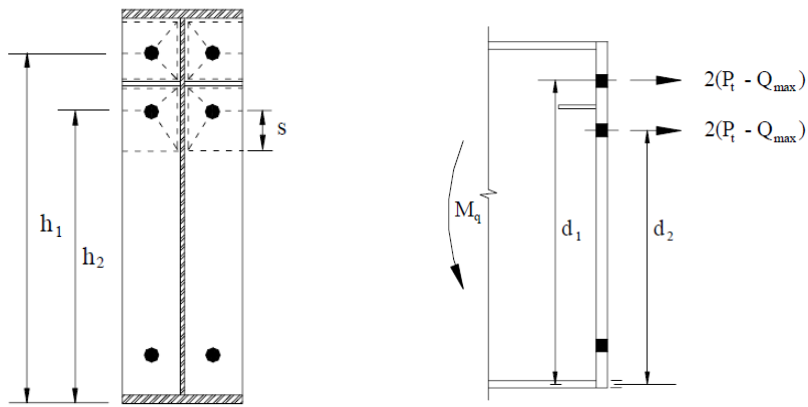


Figure 8 Four-Bolt Flush Stiffened Moment End-Plate Analysis  
(Stiffened Between the Tension Bolt Rows)

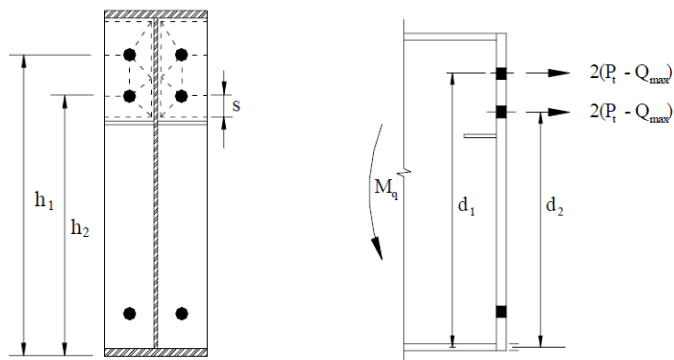


Figure 9 Four-Bolt Flush Stiffened Moment End-Plate Analysis  
(Stiffened Inside the Tension Bolt Rows)

**Table 1 Two-Bolt Flush Unstiffened Moment End-Plate Connection**

Bolt Standard 1 (A325)						Bolt Standard 2 (A490)					
DP1	DP2	DP1	DP1	DP2	DP2	DP1	DP2	DP1	DP1	DP2	DP2
tp		tp_last	db		tb_last	tp		tp_last	db		tb_last
0.50	0.44	6.00	0.62	0.72	0.50	0.60	0.44	6.00	0.62	0.60	0.60
0	4	0	5	5	0	0	4	0	5	0	0
0.50	0.40	4.00	0.62	0.72	0.50	0.50	0.40	4.00	0.62	0.60	0.50
0	7	0	5	5	0	0	7	0	5	0	0
0.40	0.38	2.50	0.62	0.72	0.40	0.50	0.38	2.50	0.62	0.60	0.50
0	8	0	5	5	0	0	8	0	5	0	0
0.60	0.54	6.00	0.75	0.85	0.60	0.70	0.54	6.00	0.75	0.72	0.70
0	4	0	0	0	0	0	4	0	0	5	0
0.50	0.49	4.00	0.75	0.85	0.50	0.60	0.49	4.00	0.75	0.72	0.60
0	9	0	0	0	0	0	9	0	0	5	0
0.50	0.47	2.50	0.75	0.85	0.50	0.60	0.47	2.50	0.75	0.72	0.60
0	6	0	0	0	0	0	6	0	0	5	0
0.70	0.62	6.00	0.87	0.97	0.70	0.70	0.62	6.00	0.75	0.85	0.70
0	8	0	5	5	0	0	8	0	0	0	0
0.60	0.57	4.00	0.87	0.97	0.60	0.60	0.57	4.00	0.75	0.85	0.60
0	6	0	5	5	0	0	6	0	0	0	0
0.60	0.54	2.50	0.87	0.97	0.60	0.60	0.54	2.50	0.75	0.85	0.60
0	9	0	5	5	0	0	9	0	0	0	0
0.80	0.70	6.00	1.00	1.10	0.80	0.80	0.70	6.00	0.87	0.97	0.80
0	3	0	0	0	0	0	3	0	5	5	0
0.70	0.64	4.00	1.00	1.10	0.70	0.70	0.64	4.00	0.87	0.97	0.70
0	4	0	0	0	0	0	4	0	5	5	0
0.70	0.61	2.50	1.00	1.10	0.70	0.70	0.61	2.50	0.87	0.97	0.70
0	4	0	0	0	0	0	4	0	5	5	0
0.90	0.77	6.00	1.12	1.10	0.90	0.90	0.77	6.00	1.00	0.97	0.90
0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	5	0
0.80	0.70	4.00	1.12	1.10	0.80	0.80	0.70	4.00	1.00	0.97	0.80
0	5	0	5	0	0	0	5	0	0	5	0
0.80	0.67	2.50	1.12	1.10	0.80	0.80	0.67	2.50	1.00	0.97	0.80
0	3	0	5	0	0	0	3	0	0	5	0

DP: Design Procedure    tp: Thickness of Plate    db: Diameter of Bolts

**Table 2 Four-Bolt Flush Unstiffened Moment End-Plate Connection**

Bolt Standard 1 (A325)						Bolt Standard 2 (A490)					
DP1	DP2	DP1	DP1	DP2	DP2	DP1	DP2	DP1	DP1	DP2	DP2
tp		tp_last	db		tb_last	tp		tp_last	db		tb_last
0.50	0.50	6.00	0.39	0.50	0.50	0.50	0.50	6.00	0.39	0.50	0.50
0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0
0.40	0.50	4.00	0.35	0.50	0.40	0.50	0.50	4.00	0.35	0.50	0.50
0	0	0	9	0	0	0	0	0	9	0	0
0.40	0.50	2.50	0.34	0.62	0.40	0.50	0.50	2.50	0.34	0.50	0.50
0	0	0	3	5	0	0	0	0	3	0	0
0.60	0.62	6.00	0.48	0.62	0.60	0.50	0.50	6.00	0.48	0.62	0.50
0	5	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0
0.50	0.62	4.00	0.44	0.62	0.50	0.50	0.50	4.00	0.44	0.62	0.50
0	5	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0
0.50	0.62	2.50	0.41	0.62	0.50	0.50	0.50	2.50	0.41	0.62	0.50
0	5	0	9	5	0	0	0	0	9	5	0
0.60	0.62	6.00	0.55	0.75	0.60	0.70	0.62	6.00	0.55	0.62	0.70
0	5	0	4	0	0	0	5	0	4	5	0
0.50	0.62	4.00	0.50	0.75	0.50	0.60	0.62	4.00	0.50	0.62	0.60
0	5	0	8	0	0	0	5	0	8	5	0
0.50	0.62	2.50	0.48	0.75	0.50	0.60	0.62	2.50	0.48	0.62	0.60
0	5	0	4	0	0	0	5	0	4	5	0
0.70	0.75	6.00	0.62	0.75	0.70	0.70	0.62	6.00	0.62	0.75	0.70
0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
0.70	0.75	4.00	0.56	0.87	0.70	0.60	0.62	4.00	0.56	0.75	0.60
0	0	0	8	5	0	0	5	0	8	0	0
0.60	0.75	2.50	0.54	0.87	0.60	0.60	0.62	2.50	0.54	0.75	0.60
0	0	0	2	5	0	0	5	0	2	0	0
0.80	0.87	6.00	0.67	0.87	0.80	0.80	0.75	6.00	0.67	0.75	0.80
0	5	0	9	5	0	0	0	0	9	0	0
0.80	0.87	4.00	0.62	0.87	0.80	0.70	0.75	4.00	0.62	0.75	0.70
0	5	0	2	5	0	0	0	0	2	0	0
0.70	0.87	2.50	0.59	0.87	0.70	0.70	0.75	2.50	0.59	0.75	0.70
0	5	0	3	5	0	0	0	0	3	0	0

DP: Design Procedure    tp: Thickness of Plate    db: Diameter of Bolts

**Table 3 Four-Bolt Flush Stiffened Moment End-Plate Connection (Stiffener Between Bolt Rows)**

Bolt Standard 1 (A325)						Bolt Standard 2 (A490)					
DP1	DP2	DP1	DP1	DP2	DP2	DP1	DP2	DP1	DP1	DP2	DP2
tp		tp_last	db		tb_last	tp		tp_last	db		tb_last
0.50	0.62	6.00	0.43	0.75	0.72	0.60	0.62	6.00	0.43	0.62	0.60
0	5	0	6	0	5	0	5	0	6	5	0
0.50	0.62	4.00	0.40	0.75	0.72	0.50	0.62	4.00	0.40	0.62	0.60
0	5	0	0	0	5	0	5	0	0	5	0
0.40	0.62	2.50	0.38	0.75	0.72	0.50	0.62	2.50	0.38	0.62	0.60
0	5	0	1	0	5	0	5	0	1	5	0
0.60	0.75	6.00	0.53	0.87	0.85	0.70	0.75	6.00	0.53	0.75	0.72
0	0	0	4	5	0	0	0	0	4	0	5
0.50	0.75	4.00	0.48	0.87	0.85	0.60	0.75	4.00	0.48	0.75	0.72
0	0	0	9	5	0	0	0	0	9	0	5
0.50	0.75	2.50	0.46	0.87	0.85	0.60	0.75	2.50	0.46	0.75	0.72
0	0	0	7	5	0	0	0	0	7	0	5
0.70	0.87	6.00	0.61	1.00	0.97	0.70	0.75	6.00	0.61	0.87	0.85
0	5	0	7	0	5	0	0	0	7	5	0
0.60	0.87	4.00	0.56	1.00	0.97	0.60	0.75	4.00	0.56	0.87	0.85
0	5	0	5	0	5	0	0	0	5	5	0
0.60	0.87	2.50	0.53	1.00	0.97	0.60	0.75	2.50	0.53	0.87	0.85
0	5	0	9	0	5	0	0	0	9	5	0
0.80	1.00	6.00	0.68	1.00	0.97	0.80	0.87	6.00	0.68	0.87	0.85
0	0	0	9	0	5	0	5	0	9	5	0
0.70	1.00	4.00	0.63	1.12	1.10	0.70	0.87	4.00	0.63	1.00	0.97
0	0	0	2	5	0	0	5	0	2	0	5
0.70	1.00	2.50	0.60	1.12	1.10	0.70	0.87	2.50	0.60	1.00	0.97
0	0	0	2	5	0	0	5	0	2	0	5
0.80	1.00	6.00	0.75	1.12	1.10	0.90	1.00	6.00	0.75	1.00	0.97
0	0	0	5	5	0	0	0	0	5	0	5
0.70	1.00	4.00	0.69	1.12	1.10	0.80	1.00	4.00	0.69	1.00	0.97
0	0	0	2	5	0	0	0	0	2	0	5
0.70	1.00	2.50	0.66	1.12	1.10	0.80	1.00	2.50	0.66	1.00	0.97
0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	5

DP: Design Procedure    tp: Thickness of Plate    db: Diameter of Bolts

**Table 4 Four-Bolt Flush Stiffened Moment End-Plate Connection (Stiffener Inside Bolt Rows)**

Bolt Standard 1 (A325)						Bolt Standard 2 (A490)					
DP1	DP2	DP1	DP1	DP2	DP2	DP1	DP2	DP1	DP1	DP2	DP2
tp		tp_last	db		tb_last	tp		tp_last	db		tb_last
0.60	0.62	6.00	0.53	0.75	0.72	0.70	0.62	6.00	0.53	0.62	0.60
0	5	0	2	0	5	0	5	0	2	5	0
0.60	0.62	4.00	0.48	0.75	0.72	0.60	0.62	4.00	0.48	0.62	0.60
0	5	0	8	0	5	0	5	0	8	5	0
0.50	0.62	2.50	0.46	0.75	0.72	0.60	0.62	2.50	0.46	0.62	0.60
0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	5	0
0.70	0.75	6.00	0.65	0.87	0.85	0.80	0.75	6.00	0.65	0.75	0.72
0	0	0	2	5	0	0	0	0	2	0	5
0.70	0.75	4.00	0.59	0.87	0.85	0.80	0.75	4.00	0.59	0.75	0.72
0	0	0	8	5	0	0	0	0	8	0	5
0.60	0.75	2.50	0.57	0.87	0.85	0.70	0.75	2.50	0.57	0.75	0.72
0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	5
0.90	0.87	6.00	0.75	0.87	0.85	0.80	0.75	6.00	0.75	0.87	0.85
0	5	0	3	5	0	0	0	0	3	5	0
0.80	0.87	4.00	0.69	1.00	0.97	0.80	0.75	4.00	0.69	0.87	0.85
0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0
0.70	0.87	2.50	0.65	1.00	0.97	0.70	0.75	2.50	0.65	0.87	0.85
0	5	0	8	0	5	0	0	0	8	5	0
1.00	1.00	6.00	0.84	1.00	0.97	1.00	0.87	6.00	0.84	0.87	0.85
0	0	0	2	0	5	0	5	0	2	5	0
0.90	1.00	4.00	0.77	1.00	0.97	0.90	0.87	4.00	0.77	0.87	0.85
0	0	0	1	0	5	0	5	0	1	5	0
0.90	1.00	2.50	0.73	1.00	0.97	0.80	0.87	2.50	0.73	0.87	0.85
0	0	0	6	0	5	0	5	0	6	5	0
1.00	1.00	6.00	0.92	1.12	1.10	1.10	1.00	6.00	0.92	1.00	0.97
0	0	0	2	5	0	0	0	0	2	0	5
0.90	1.00	4.00	0.84	1.12	1.10	1.00	1.00	4.00	0.84	1.00	0.97
0	0	0	5	5	0	0	0	0	5	0	5
0.90	1.00	2.50	0.80	1.12	1.10	1.00	1.00	2.50	0.80	1.00	0.97
0	0	0	6	5	0	0	0	0	6	0	5

DP: Design Procedure    tp: Thickness of Plate    db: Diameter of Bolts

#### 4. CONCLUSION

This study investigates the design of moment end-plate connections under the AISC DG16 guidelines, demonstrating the non-linear relationship among various design parameters. The analysis shows that the DP1 approach, which assumes a thick plate to prevent yielding and

prying action, allows for the use of smaller bolt diameters, whereas the DP2 approach, which assumes a thin plate to minimize thickness, requires larger bolts to balance the resulting extra prying forces. To efficiently absorb these extra tensile forces and optimize the overall connection—especially within the DP2 procedure—specifying higher-strength bolts such as A490 over A325 is highly recommended. Furthermore, under increasing moment loads, placing stiffeners either between or outside the tension bolt rows fundamentally alters the yield-line mechanism of the plate, thereby directly and significantly affecting the overall efficiency of the bolt group.

## REFERENCES

1. *AISC, DG 4: Extended End-Plate Moment Connections Seismic and Wind Applications*, 1990, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, USA.
2. *AISC, DG 16: Flush and Extended Multiple-Row Moment End-Plate Connections*, 2002, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, USA.
3. [www.aisc.org](http://www.aisc.org)
4. *RCSC, 2004, Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts*, Research Council on Structural Connections.
5. *ASTM, 2021, ASTM 572, Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel*

## **FARKLI DEPREM TEHLİKESİ VE ZEMİN KOŞULLARININ ENDÜSTRİYEL PREFABRİK BETONARME YAPILARDA TEMEL VE KOLON BOYUTLANDIRMASINA ETKİSİ**

**Mehmet Ali OFLAZ**

Bursa Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, 502326010@ogr.uludag.edu.tr

ORCID ID: 0009-0007-7244-2245

**Mustafa ŞENKAYA**

Bursa Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, mustafasenkaya@uludag.edu.tr,

ORCID ID: 0000-0003-2152-3479

### **ÖZET**

Bu çalışmada, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY-2018) göre farklı deprem tehlike düzeyi (PGA475) ve zemin sınıflarında inşa edilecek prefabrik betonarme sanayi yapılarının kolon ve temel boyutlarındaki değişimler incelenmiştir. Bu kapsamda, düşük ve yüksek deprem tehlikesine sahip Konya (PGA475=0,125) ve Bursa (PGA475=0,395) illerinde, ZC, ZD ve ZE sınıfı kum zeminler üzerinde bir, iki ve üç katlı toplam 18 model oluşturulmuştur. Tek katlı yapılar geniş açıklıklı sistem olarak 48 kolon-temel, iki ve üç katlı yapılar ise 72 kolon-temel düzeninde modellenmiştir. Karşılaştırmalarda Konya ZC zemindeki modeller referans alınmış, zemin sınıfının ZD ve ZE'ye geçişi ile deprem etkisindeki artışın,  $F_s$  ve  $F_1$  katsayıları üzerinden kolon ve temel boyutlarına etkisi değerlendirilmiştir. ZC zemin sınıfında, Konya'da kolon boyutları 75×75–105×105 cm, temel boyutları ise 270–400 cm aralığında belirlenmiş; tasarım sürecinde eksantrisite, devrilme ve oturma açısından gerekli kontroller yapılmıştır. Bursa'da ise daha yüksek deprem etkisiyle kolonlar 90×90–130×130 cm, temeller 380–500 cm aralığında olup belirleyici kriterler eksantrisite ve oturma olmuştur. ZD zeminde Konya'da 95×95–130×130 cm kolon ve 290–520 cm temel boyutları elde edilirken, Bursa'da 105×105–155×155 cm kolon ve 450–570 cm temel boyutları belirlenmiş; tasarım, oturma ve taşıma gücü ile kontrol edilmiştir. ZE zeminde Konya'da 125×125–155×155 cm kolon ve 615–920 cm, Bursa'da 130×130–185×185 cm kolon ve 720–910 cm temel boyutları hesaplanmış; oturma ve taşıma gücü kritik olmuştur. Genel olarak zemin sınıfı kötüleştikçe boyutlar artmış, kriterler eksantrisiteden oturma ve taşıma gücüne kaymıştır. Sonuçlar, deprem etkisinin en belirgin olarak kolonlarda ortaya çıktığını, ancak en büyük boyut artışının temellerde gerçekleştiğini göstermiştir. Yüksek periyotlu prefabrik sanayi yapılarında zemin sınıfının ZC'den ZE'ye kötüleşmesiyle deprem etkisi yaklaşık iki kat artmakta; kolon boyutları %50, temel boyutları ise %100–140 oranında büyüyerek tasarımın kritik belirleyicisi olmaktadır.

**Anahtar Kelimeler :** TBDY-2018, Prefabrik Betonarme Sanayi Yapıları, Zemin Sınıfları, Deprem Tehlike Düzeyi (PGA), Oturma Analizi, Kolon ve Temel Tasarımı

## GES TAŞIYICI SİSTEMLERİ VE YAPISAL ANALİZİ

**İnşaat Mühendisi MUTLUHAN KORKMAZ**

Amasya Üniversitesi, mutluhankorkmaz@hotmail.com – 0009-0008-6016-8055

**Prof. Dr. LEVENT SEMİZ**

Amasya Üniversitesi, [levant.semiz@amasya.edu.tr](mailto:levant.semiz@amasya.edu.tr) – 0000-0002-3218-4663

### ÖZET

GES taşıyıcı sistemlerini incelerken ilk adım olarak zemin durumunun incelenmesi gereklidir. Zemin durumlarını incelerken dikkat etmemiz gereken şeylerden birincisi zeminin sağlamlığıdır. Sağlam zeminden gevşek zemine doğru ankraj yöntemlerimiz değişmektedir. Ankraj yönteminin yanı sıra sağlam ve gevşek zeminler için ilave önlemler almamız gerekir. Bu önlemlerin sebebi yağışlar ve rüzgar durumlarıdır. Yağışlar sağlam zeminlerde sorun yaratmaz iken, gevşek zeminlerde büyük problemlere yol açabilir. Gevşek zeminlerde ilave olarak jet grout yöntemi ve fore kazık yöntemi öne çıkmaktadır. Zemin analizine göre bu yöntemlerin kullanılıp kullanılmayacağına karar verilebilir. Sonraki aşamada zemin durumlarına bağlı olarak uygun temel seçiminin yapılması gerekir. Bu temel seçimleri de betonarme ve çelik olarak değişiklik göstermektedir. Betonarme yöntemler sürekli temel, tekil temel ve radye temel olarak ayrılır. Bu yöntemler zemin durumu parametreleri ve statik analize göre seçilebilir. Çelik yöntemler ise zemine çakma ve zemine vidalama olarak ikiye ayrılır. Betonarme ve çelik birleşiminin olduğu sistemler de bulunmaktadır. Ankraj yöntemleri ve temel seçiminden sonra taşıyıcı sistemlerin devamı ele alınır. Taşıyıcı sistemlerin devamında kullanılacak olan çelik profillerin seçimi için panellerin yönleri de etki etmektedir. Panellerin yönleri dikey ve yatay olarak değişebilir. Ahşap kiremitli çatılarda da imalat yapılmaktadır. Taşıyıcı sistemlere ilave olarak çelik guse takviyesi uygulanmış ve çelik guse takviyeli ve takviyesiz olarak sistemler analiz edilmiş ve farkları karşılaştırılmıştır. Çelik guse takviyeli ve takviyesiz olarak belirli yükler altında davranışları izlenmiştir. Taşıyıcı sistemlerde uygunsuz imalat nedeniyle karşılaşılan sorunlar; dolgu zemine inşa, deprem ötelemesinden kaynaklı hasar, drenaj yapılmaması ve kar yükleri gibidir. Uygunsuz yapılan imalatlar ve alınmayan önlemler bu gibi sorunlara yol açmaktadır.

**Anahtar Kelimeler :** ankraj, jet grout, fore kazık, çelik guse

## PANDİTA KUATERNİYONLARI

**Yüksek Lisans Öğrencisi CANSU DEMİREL**

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, [23280975@stu.omu.edu.tr](mailto:23280975@stu.omu.edu.tr), - 0009-0006-1711-0662

**Doç. Dr. ABDULLAH DERTLİ**

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, [abdullah.dertli@gmail.com](mailto:abdullah.dertli@gmail.com) – 0000-0001-8687-032X

### ÖZET

Bu çalışmada, kuaterniyonların cebirsel yapısı ile sayı dizilerinin temel özelliklerinden yararlanılarak Pandita kuaterniyonları tanımlanmıştır. Kuaterniyonların toplama ve çarpma işlemleri esas alınarak, Pandita kuaterniyonları üzerinde benzer cebirsel işlemler yapılandırılmıştır. Ayrıca, bir dizinin  $n$ . teriminin belirlenmesinde önemli bir rol oynayan genel terim kavramından hareketle, Pandita kuaterniyonları için genel terim formülü elde edilmiştir. Çalışmada yalnızca tanımsal bir çerçeve sunulmakla kalmamış, aynı zamanda bu yapıların analitik olarak incelenmesine olanak sağlayan bir üreteç fonksiyonu da türetilmiştir. Elde edilen üreteç fonksiyonu aracılığıyla pandita kuaterniyonlarına ait kısmi toplam formülü elde edilmiştir. Üreteç fonksiyonu, bu kuaterniyonların belirli bir düzen içerisinde davrandığını göstermekte ve yapının sistematik olarak incelenmesine katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda elde edilen sonuçlar, Pandita kuaterniyonlarının matematiksel açıdan tutarlı ve incelenebilir bir yapı sunduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma kuaterniyon dizileri literatürüne katkı sağlamakta ve geliştirilmiş sayı sistemleri üzerine yapılacak ileri çalışmalar için bir teorik altyapı sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler :** Pandita Dizisi, Pandita Kuaterniyonları, Kuaterniyonlar

## 1. GİRİŞ

Sayı dizileri, matematiğin temel konularından biridir ve özellikle rekürsif yapılar sayesinde birçok problemin çözümünde kullanılmaktadır. En bilinen örnekler arasında yer alan Fibonacci ve Lucas sayı dizileri, hem teorik hem de uygulamalı çalışmalarda önemli bir yer tutmaktadır. Bu dizilerin genelleştirilmesi, yeni sayı dizilerinin ortaya çıkmasına katkı sağlamaktadır.

Pandita sayı dizisi  $n \geq 3$  için  $P_n = P_{n-1} + P_{n-3} + 1$  rekürans bağıntısı ile tanımlanır. Başlangıç koşulları  $P_0 = 0, P_1 = 1$  ve  $P_2 = 2$  olan bir sayı dizisidir [2].

Matematiksel yapılar, doğa olaylarını, fiziksel sistemleri ve mühendislik uygulamalarını modellemede temel rol oynamaktadır. Bu yapılardan biri olan kuaterniyonlar, özellikle üç boyutlu uzaydaki rotasyonları ve yönelimleri temsil etmek amacıyla geliştirilen en güçlü cebirsel sistemlerden biridir. Kuaterniyonlar, 1843 yılında William Rowan Hamilton tarafından keşfedilmiştir,[1]. Dönme hareketlerini tarif etmenin alternatif bir yolu olan kuaterniyonlar, sadece matematikte değil; fizikte, mühendislikte ve bilimin pek çok uygulama alanında önemli rol oynamaktadır. Uçakların hareketindeki gimbal lock sorununun çözümünde, robotikteki ileri ve geri kinematik problemlerinde, bilgisayar oyunlarında hareketlerin yumuşak geçişlerle yapılabilmesi gibi pek çok farklı alanda kullanımı söz konusudur.

Bir kuaterniyon, genellikle  $q = q_1 + q_2i + q_3j + q_4k$  şeklinde tanımlanır ve burada  $q_1, q_2, q_3, q_4$  reel sayılar,  $i, j, k$  ise sanal birimlerdir. Bu sanal birimler klasik vektör cebirinin temelini oluşturmakta ve kendi aralarında belirli çarpım kurallarına göre işlemektedir. Bu çarpım kurallarından ötürü kuaterniyon cebiri değişmeli (commutative) değildir, yani  $ij \neq ji$ . Ayrıca  $i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$ .

$\mathbf{p} = p_1 + p_2i + p_3j + p_4k$  ve  $\mathbf{q} = q_1 + q_2i + q_3j + q_4k$  iki kuaterniyon olmak üzere bu iki kuaterniyonun toplamı;

$$\mathbf{p} + \mathbf{q} = (p_1 + q_1) + (p_2 + q_2)i + (p_3 + q_3)j + (p_4 + q_4)k$$

şeklinde tanımlanır [1].

$\mathbf{p} = p_1 + p_2i + p_3j + p_4k$  ve  $\mathbf{q} = q_1 + q_2i + q_3j + q_4k$  iki reel kuaterniyon olmak üzere

$$\mathbf{pq} = (p_1q_1 - p_2q_2 - p_3q_3 - p_4q_4)$$

$$\begin{aligned} &+(p_1q_2 + p_2q_1 + p_3q_4 - p_4q_3)i \\ &+(p_1q_3 - p_2q_4 + p_3q_1 + p_4q_2)k \\ &+(p_1q_4 + p_2q_3 - p_3q_2 + p_4q_1)j \end{aligned}$$

çarpımı bu şekilde tanımlanır [1].

Pandita sayı dizisi  $n \geq 3$  için

$$P_n = P_{n-1} + P_{n-3} + 1$$

$P_0 = 0, P_1 = 1$  ve  $P_2 = 2$  olan ve terimleri  $0,1,2,3,5,8,12,18,27, \dots$  şeklindedir.

$P_n$  dördüncü mertebeden lineer rekürans bağıntısını sağlar ve aşağıdaki gibidir.

$$P_n = 2P_{n-1} - P_{n-2} + P_{n-3} - P_{n-4} \quad [2].$$

## 2.PANDİTA KUATERNİYONLARI

Başlangıç koşulları  $CM_0 = 0 + i + 2j + 3k$ ,  $CM_1 = 1 + 2i + 3j + 5k$  ve  $CM_2 = 2 + 3i + 5j + 8k$  olmak üzere Pandita kuaterniyonları

$$CM_n = p_n + p_{n+1}i + p_{n+2}j + p_{n+3}k$$

şeklinde tanımlanır.

Pandita kuaterniyonlarının rekürans bağıntısı  $n \geq 3$  için

$$CM_n = CM_{n-1} + CM_{n-3} + (1 + i + j + k)$$

şeklindedir.

$CM_n$  dördüncü mertebeden lineer rekürans bağıntısını sağlar:

$$CM_n = 2CM_{n-1} - CM_{n-2} + CM_{n-3} - CM_{n-4}$$

Pandita kuaterniyonlarının ilk 5 terimi;

$$CM_0 = 0 + i + 2j + 3k$$

$$CM_1 = 1 + 2i + 3j + 5k$$

$$CM_2 = 2 + 3i + 5j + 8k$$

$$CM_3 = 3 + 5i + 8j + 12k$$

$$CM_4 = 5 + 8i + 12j + 18k$$

şeklindedir.

### **Teorem 2.1** (Üreteç Fonksiyonu)

Pandita kuaterniyonları  $\{CM_n\}$  olmak üzere  $n \geq 4$  için ürteç fonksiyonu ;

$$G(x) = \frac{(1-x)[(i+2j+3k) + (1+i+j+2k)x + (1+i+2j+3k)x^2] + (1+i+j+k)x^3}{(1-x)(1-x-x^3)}$$

şeklindedir.

### **İspat:**

$$G(x) = \sum_{n=0}^{\infty} CM_n x^n$$

olarak tanımlansın.

$$G(x) = \sum_{n=0}^{\infty} CM_n x^n = \frac{P(x)}{(1-x)(1-x-x^3)}$$

$$(1-2x+x^2-x^3+x^4) \sum_{n=0}^{\infty} CM_n x^n = P(x)$$

çarpımı dağıtalım:

$$\sum_{n=0}^{\infty} CM_n x^n - 2 \sum_{n=0}^{\infty} CM_n x^{n+1} + \sum_{n=0}^{\infty} CM_n x^{n+2} - \sum_{n=0}^{\infty} CM_n x^{n+3} + \sum_{n=0}^{\infty} CM_n x^{n+4} = P(x)$$

İndis kaydırma yaparak

$$\sum_{n=0}^{\infty} CM_n x^n - 2 \sum_{n=1}^{\infty} CM_{n-1} x^n + \sum_{n=2}^{\infty} CM_{n-2} x^n - \sum_{n=3}^{\infty} CM_{n-3} x^n + \sum_{n=4}^{\infty} CM_{n-4} x^n = P(x)$$

olur.

$n \geq 4$  için:

$$CM_n = 2CM_{n-1} - CM_{n-2} + CM_{n-3} - CM_{n-4}$$

elde edilir.

**Sonuç 2.2:** Üreteç fonksiyonu verilen Pandita kuarterniyonları dizisinin, dördüncü dereceden lineer rekürans bağıntısını sağladığı gösterilmiştir.

### **Teorem 2.3**

$P_0 = 0, P_1 = 1$  ve  $P_2 = 2$   $n \geq 3$  için

$$P_n = P_{n-1} + P_{n-3} + 1$$

şeklinde tanımlı pandita sayı dizisi olsun.

Bu diziye bağlı  $CM_n$  Pandita kuarterniyonu olmak üzere :

$$CM_n = p_n + p_{n+1}i + p_{n+2}j + p_{n+3}k$$

Bu pandita kuarterniyonlarının kısmi toplamları

$$S_n = \sum_{m=0}^n CM_m = p_n + p_{n+1}i + p_{n+2}j + p_{n+3}k - (j + 3k)$$

şeklinde dir.

### 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Üreteç fonksiyonları, sayı dizilerinin incelenmesinde ve kombinatorik problemlerin çözümünde modern matematiğin en etkili analitik araçlarından biri olarak kabul edilmektedir. Bir diziyi formal bir kuvvet serisi biçiminde temsil eden bu yaklaşım, dizilerin karmaşık yapısını daha yönetilebilir cebirsel işlemlere dönüştürerek analiz sürecini önemli ölçüde sadeleştirir. Özellikle doğrusal rekürans bağıntılarıyla tanımlanan dizilerde, üreteç fonksiyonları aracılığıyla ilgili bağıntılar fonksiyonel denklemlere indirgenmekte ve bu sayede kapalı form çözümler sistematik bir biçimde elde edilebilmektedir. Bunun yanı sıra, kısmi toplamların hesaplanması, dizilerin kaydırılması ve farklı diziler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi gibi işlemler, üreteç fonksiyonları çerçevesinde daha genel ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınabilmektedir. Kombinatorikte ise üreteç fonksiyonları, sayma problemlerini analitik bir düzleme taşıyarak karmaşık yapıların modellenmesini ve çözümlenmesini mümkün kılar. Bu yönleriyle üreteç fonksiyonları, hem kuramsal derinlik hem de uygulama gücü açısından matematiksel analizde temel ve vazgeçilmez bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

#### Kaynaklar

- [1] Hamilton, W. R. (1844). Theory of quaternions. *Proceedings of the Royal Irish Academy*, 3, 1-16.
- [2] Soykan, Y. (2023). Generalized pandita numbers. *International Journal of Mathematics, Statistics and Operations Research*, 3(1), 107-123.

## KOVOLÜSYON TIPLİ OLMAYAN İNTEGRAL OPERATÖRLER AİLESİNİN SÜREKLİLİK NOKTASINDA YAKINSAKLIK

Doç. Dr. Sevgi Esen ALMALI

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi

[sevgi\\_esen@hotmail.com](mailto:sevgi_esen@hotmail.com), ORCID: 0000-0002-3935-0

### ÖZET

Bu çalışmada konvolüsyon tipli olmayan integral operatörler ailesinin  $f \in L_1(a, b)$  fonksiyonunun süreklilik noktasındaki yakınsaklığı incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Konvolüsyon tipli olmayan integral ailesi, süreklilik noktası, yakınsaklık.

### GİRİŞ

18. yüzyılın sonlarında gelişen yaklaşım teorisinin amacı fonksiyonu daha iyi özellikleri olan bir fonksiyona dönüştürmektir. 10. Yüzyılda Weierstrass tarafından ispatlanan teoremler ile ardından 20. Yüzyılın başlarındaki Bernstein'ın çalışmaları yer alır. Yaklaşım teorisinde integral operatörler ailesi içinde bir çok matematikçinin çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmalar fonksiyonun karakteristik noktalarında yakınsaklıkları çalışılmıştır (d-noktası, Lebesgue noktası, süreklilik noktası, genelleştirilmiş Lebesgue noktası..). Bu çalışmalara örnek olarak; Faddiev ([1]-1936), Tandori ([2]-1954), Mamedov ([3]-1961), Taberski ([4]-1962a), Gadjeiev ([5]-1968), Rydzewska ([6]-1973) dır. Bu çalışmalar da sonlu ve sonsuz aralıklarda integral operatörler ailesinin yaklaşımı incelenmiştir. Son zamanlar da yaklaşım teorisine ilgi giderek artmış çalışmalar geniş alanlara yayılmıştır. Bu çalışmalardan sadece bir kaç; Bardora, Vinti, Musielak ([7]-([8]-1990,2003), G.Uysal, M.M.Yılmaz ([9]-2015) ve Almalı ([10], [11]-2016-2017) dır.

Bu kesimde,  $f \in L_1(a, b)$  olmak üzere,

$$L_\lambda(f; x) = \int_a^b f(t)K_\lambda(t, x)dt, \lambda > 0, a < x < b \quad (1)$$

integral operatör ailesinin,  $f$  in süreklilik noktasında  $f(x)$  e yakınsaklığını veren teoremler elde edilmiştir.

### 2. YAKLAŞIM

**Teorem.1:**  $f \in L_1(a, b)$  olsun. Negatif olmayan  $K_\lambda$  fonksiyonu; 1.

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \int_a^b K_\lambda(t, x)dt = 1 \quad \lambda > 0, a < x < b$$

2. Her belirli  $x$  ve  $\lambda$  sayısı için,  $K_\lambda(t, x)$  çekirdeği;  $t$  nin bir fonksiyonu gibi  $[a, x]$  de artan,  $[x, b]$  de azalandır. 3.  $\forall t \neq x$  için,

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} K_\lambda(t, x) = 0$$

şartlarını sağlasın. Eğer  $x, f$  in süreklilik noktası ise bu takdirde,

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} L_\lambda(f, x) = f(x)$$

dir.

**İspat:**  $x$  süreklilik noktası olduğundan dolayı, keyfi  $\varepsilon > 0$  verildiğinde öyle bir  $\delta > 0$  sayısı bulunur ki;  $|t - x| < \delta$  olduğunda,

$$|f(t) - f(x)| < \varepsilon \quad (2)$$

dir.  $\delta$  yı belirledikten sonra (1) ifadesi, teoremin 1. koşulundan,

$$\begin{aligned} |L_\lambda(f, x) - f(x)| &\leq \left( \int_a^{x-\delta} + \int_{x-\delta}^{x+\delta} + \int_{x+\delta}^b \right) |f(t) - f(x)| K_\lambda(t, x) dt \\ &\quad + |f(x)| \left| \int_a^b K_\lambda(t, x) dt - 1 \right| \quad (3) \\ &= C_{1,\lambda} + C_{2,\lambda} + C_{3,\lambda} + |f(x)| \left| \int_a^b K_\lambda(t, x) dt - 1 \right| \end{aligned}$$

şeklinde yazmak mümkündür. Öncelikle  $C_{2,\lambda}$  integralini hesap edelim. (2) den,

$$\begin{aligned} C_{2,\lambda} &= \int_{x-\delta}^{x+\delta} |f(t) - f(x)| K_\lambda(t, x) dt \\ &< \varepsilon \cdot \int_{x-\delta}^{x+\delta} K_\lambda(t, x) dt \end{aligned}$$

olur ve  $K_\lambda(t, x)$  pozitif olduğundan,

$$C_{2,\lambda} < \varepsilon \cdot \int_a^b K_\lambda(t, x) dt \quad (4)$$

elde edilir. Öte yandan,

$$C_{1,\lambda} + C_{3,\lambda} = \int_a^{x-\delta} |f(t) - f(x)| K_\lambda(t, x) dt + \int_{x+\delta}^b |f(t) - f(x)| K_\lambda(t, x) dt$$

eşitliğinde, teoremin 2. koşulu kullanılırsa,

$$\begin{aligned} &< K_\lambda(x - \delta, x) \int_a^{x-\delta} |f(t) - f(x)| dt + K_\lambda(x + \delta, x) \int_{x+\delta}^b |f(t) - f(x)| dt \\ &\leq \{K_\lambda(x - \delta, x) + K_\lambda(x + \delta, x)\} \left[ \int_a^b |f(t)| dt + |f(x)| \int_a^b dt \right] \quad (5) \\ &= \{K_\lambda(x - \delta, x) + K_\lambda(x + \delta, x)\} [\|f\|_{L_1} + |f(x)|(b - a)] \end{aligned}$$

ifadesi bulunur. Böylelikle (4) ve (5), (3) de yerlerine yazılırsa;

$$\begin{aligned} |L_\lambda(f, x) - f(x)| &< \{K_\lambda(x - \delta, x) + K_\lambda(x + \delta, x)\} [\|f\|_{L_1} + |f(x)|(b - a)] \\ &\quad + \varepsilon \cdot \int_a^b K_\lambda(t, x) dt + |f(x)| \left| \int_a^b K_\lambda(t, x) dt - 1 \right| \end{aligned}$$

olur ve  $\lambda \rightarrow \infty$  için, teoremin 1. ve 3. koşullarından istenilen sonuç elde edilir. Yani,

$$|L_\lambda(f, x) - f(x)| \rightarrow 0 \quad (\lambda \rightarrow \infty)$$

dir. Bu teoreme benzer olarak şöyle bir teorem verilebilir:

**Teorem .2:**  $f \in C[a - \mu, b + \mu]$  olsun. Negatif olmayan  $K_\lambda$  fonksiyonu;1)

$$\sup_{a \leq x \leq b} \left| \int_a^b K_\lambda(t, x) dt - 1 \right| \rightarrow 0 \quad (\lambda \rightarrow \infty)$$

2) Her belirli  $x$  ve  $\lambda$  sayısı için,  $K_\lambda(t, x)$  çekirdeği;  $t$  nin bir fonksiyonu gibi  $[a, x]$  aralığında artan,  $[x, b]$  aralığında azalandır.

3)  $\forall \delta > 0$  için,

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \sup_x K_\lambda(x \pm \delta, x) = 0$$

koşullarını sağlasın. Bu durumda,  $\lambda \rightarrow \infty$  için,

$$L_\lambda(f; x) \Rightarrow f(x), \quad a \leq x \leq b$$

dir. Yani,

$$\sup_{a \leq x \leq b} |L_\lambda(f; x) - f(x)| \rightarrow 0 \quad (\lambda \rightarrow \infty)$$

gerçeklenir. **İspat:**  $f$  fonksiyonu  $[a - \mu, b + \mu]$  aralığında sürekli ise  $[a, b]$  aralığında düzgün süreklidir. Yani, her pozitif  $\varepsilon$  sayısı için öyle bir  $\delta$  sayısı vardır ki ( $\delta = \delta(\varepsilon)$ )  $|t - x| < \delta$  olduğunda  $|f(t) - f(x)| < \varepsilon$  ( $t, x \in [a, b]$ ) dir. Kabul edelim ki,  $\delta < \mu$  olsun. Teoremin 1.koşulundan,

$$\begin{aligned} |L_\lambda(f; x) - f(x)| &\leq \int_a^b |f(t) - f(x)| K_\lambda(t, x) dt \\ &\quad + |f(x)| \left| \int_a^b K_\lambda(t, x) dt - 1 \right| \end{aligned}$$

olur ve belirlenen  $\delta$  ya göre,

$$\begin{aligned} |L_\lambda(f; x) - f(x)| &\leq \left( \int_a^{x-\delta} + \int_{x-\delta}^{x+\delta} + \int_{x+\delta}^b \right) |f(t) - f(x)| K_\lambda(t, x) dt \\ &\quad + |f(x)| \left| \int_a^b K_\lambda(t, x) dt - 1 \right| \\ &= D_{1,\lambda} + D_{2,\lambda} + D_{3,\lambda} + |f(x)| \left| \int_a^b K_\lambda(t, x) dt - 1 \right| \end{aligned}$$

eşitsizliği yazılabilir. Yukarıdaki teoremin ispatında olduğu gibi,

$$D_{2,\lambda} \leq \varepsilon \cdot \int_a^b K_\lambda(t, x) dt = \varepsilon \cdot \left[ \int_a^b K_\lambda(t, x) dt - 1 \right] + \varepsilon$$

ve

$$D_{1,\lambda} + D_{3,\lambda} < \{K_\lambda(x - \delta, x) + K_\lambda(x + \delta, x)\} [\|f\|_{L_1} + |f(x)|(b - a)]$$

eşitsizlikleri bulunur. Bunlar yerlerine yazılırsa,

$$|L_\lambda(f; x) - f(x)| \leq \varepsilon \cdot \left[ \int_a^b K_\lambda(t, x) dt - 1 \right] + \varepsilon \\
 + \{K_\lambda(x - \delta, x) + K_\lambda(x + \delta, x)\} [\|f\|_{L_1} + |f(x)|(b - a)] \\
 + |f(x)| \left| \int_a^b K_\lambda(t, x) dt - 1 \right|$$

dır. Buradan da  $[a, b]$  de olan tüm  $x$  lere göre supremum alınırsa,

$$\sup_x |L_\lambda(f; x) - f(x)| \leq \varepsilon \cdot \sup_x \left[ \int_a^b K_\lambda(t, x) dt - 1 \right] + \varepsilon \\
 + \sup_x \{K_\lambda(x - \delta, x) + K_\lambda(x + \delta, x)\} \\
 \cdot \left[ \|f\|_{L_1} + \sup_x |f(x)|(b - a) \right] \\
 + \sup_x |f(x)| \sup_x \left( \int_a^b K_\lambda(t, x) dt - 1 \right) \\
 = \varepsilon \cdot \sup_x \left[ \int_a^b K_\lambda(t, x) dt - 1 \right] + \varepsilon \\
 + \left\{ \sup_x K_\lambda(x - \delta, x) + \sup_x K_\lambda(x + \delta, x) \right\} \\
 \cdot [\|f\|_{L_1} + \|f\|_{C[a,b]}(b - a)] \\
 + \|f\|_{C[a,b]} \sup_x \left( \int_a^b K_\lambda(t, x) dt - 1 \right)$$

olur ve her  $\delta > 0$  için,  $K_\lambda(x \pm \delta, x)$  sifira düzgün yakınsak olduğundan ;  $\lambda \rightarrow \infty$  iken

$$\sup_x |L_\lambda(f; x) - f(x)| \rightarrow 0$$

elde edilir. Böylece ispat tamamlanmış olur

## KAYNAKÇA

- [1]. Faddeev, D. K., On the Representation of Summable Functions by means of singular Integrals at Lebesgue Points, Math. Sbornik, Vol 1 (43), No:3, pp. 351-368, 1936.
- [2]. Tandori, K., Ber die Konvergenz Singularer Integrale, Acta Sci. Math. XV, zaged, 223-230. Sbornik, Vol 1 (43), No:3, pp,1954.
- [3]. Mamedov, R. G., On the Order of Convergence of Functions by the Linear Integral Operators in Lebesgue Points, Izvestiya Acad. of the Azerbaijan, No:1, 1961.
- [4]. Taberski, R., Singular Integrals Depending on Two Parameters, Prace Matematyczne VII, 173-179, 1962a.
- [5]. Gadjiev, A. D., On the Speed of Convergence of Singular Integrals, Special , Problems of Functional Analysis and Its Application, Baku, 1968.
- [6]. Ryzewska, B., Approximation of Functions by Ordinary Singular Integrals, Fasciculi Mathematici No:7, 71-81, 1973.
- [7]. C.Bardaro, G.Vinti, On approximation properties of certain non-nonvolution integral operators , J.Approx.Theory 62(3) , 358 37, 1990.
- [8]. C. Bardaro, J. Musielak and G. Vinti, Nonlinear integral operators and applications. De

- Gruyter Series in Nonlinear Analysis and Applications, 9. Walter de Gruyter & Co., Berlin,. xii+201 pp. 2003,
- [9]. G.Uysal, M.M.Yilmaz, Some theorems on the approximation of non-integrable functions via-singular integral operators, Pro. Jangjeon Math. So., 18(2), 241 251, 2015.
- [10]. S. E. Almali, Approximation of A Class of Non-linear Integral Operators CBU.of Sci. 13, no. 2, 407-411, 2017.
- [11] . Esen, S., Konvolüsyon Tipinde Olmayan İntegral Operatörler Ailelerinin Karakteristik Noktalarda Yakınsalık ve Yakınsaklık Hızı, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 2002.

## BAZI İNTEGRAL OPERATÖRLERİN GENELLEŞTİRİLMİŞ LEBESGUE NOKTASINDA YAKINSAKLIK HIZI

**DOÇ. Dr. Sevgi ESEN ALMALI**

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi

[Sevgi\\_esen@hotmail.com](mailto:Sevgi_esen@hotmail.com), ORCID: 0000-0002-3935-0

### ÖZET

Bu çalışmada konvolüsyon tipinde olmayan integral operatörler ailesinin Lebesgue noktasında yakınsaklık hızı incelenmiştir.

Yaklaşım teorisinin bir konusu da integral operatörler ailesinin yaklaşımıdır. Bu operatörler aileleri farklı sınıflandırılmışlardır. Bunlardan bazıları; konvolüsyon tipindeki integraller ailesi, konvolüsyon tipinde olmayan integral operatörler ailesi, lineer olmayan integral operatörler ailesi gibi. Bu integral operatörler ailelerin fonksiyonların karakteristik noktalardaki yakınsaklıkları birçok bilim insanı tarafından incelenmiştir. Ayrıca yaklaşım teorisinin önemli bir konusuda yaklaşım hızının bulunması problemidir.

Klasik Riemann locasyon teoreminin, bir noktanın bazı komşuluklarında fonksiyonun değişiminin, bu fonksiyonun verilen noktadaki Fourier serisinin yakınsamasını etkilemediğini belirttiği iyi bilinmektedir. Bu teorem, pozitif çekirdekli integral operatör aileleriyle fonksiyonların noktasal yakınsaklık probleminde de geçerlidir. Bu yakınsaklık problemlerinin incelenmesinde, genellikle iyi bilinen Natanson lemması kullanılır. Bu lemma, [1], [2], [3] makalelerde değiştirilecek ve genelleştirilerek incelenmiştir

Lebesgue noktaları, d-noktaları, genelleştirilmiş Lebesgue noktaları vb. gibi farklı karakteristik noktalarda integral operatör ailelerinin yakınsaklıkları ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. [4]–[6] (ayrıca [7]'ye bakınız) numaralı makalelere ve [8]–[10] numaralı monograflara başvuruyoruz. [11] makalede,

$$L_\lambda(f; x) = \int_A^B f(t)K_\lambda(t, x)dt, \lambda > 0, x \in [a, b]$$

tipi integral operatörler ailesi tarafından fonksiyonların noktasal yakınsaklığına ilişkin genel sonuçları ispatlanmıştır.

[10]'da, sonlu ve sonsuz aralık (A, B) durumu da dahil olmak üzere her Lebesgue noktasında  $f \in L_1(A, B)$  fonksiyonunun yaklaştırılmasına ilişkin bazı teoremler incelenmiştir. Bu makalede, genelleştirilmiş Lebesgue noktalarında konvolüsyon tipinde olmayan integral

operatörler ailesi tarafından fonksiyonların yaklaştırılmasının hızıyla ilgili teoremler ispatlayacağız..

**Anahtar Kelimeler :**Yaklaşım hızı, genelleştirilmiş Lebesgue noktası, konvolüsyon tipinde olmayan integral operatör.

## KAYNAKLAR

- [1]. Taberski R., *Singular integrals depending on two parameters*, Prace Math., VII, 1962, pp. 173-179.
- [2]. Mamedov R.G., *On generalization of I.P.Natanson estimate and the order of convergence of singular integrals*. Uchen. zapiski AGU, 5, 1965, pp. 24-33. (Russian)
- [3]. A.D.Gadjiev, *On the order of convergence of singular integrals, depending on two parameters*. In “Spec. problems of funct. analysis and its application in the theory of dif equations and functions theory”, Baku, 1968, pp. 40-44. (Russian)
- [4]. Mamedov R.G., *On the order of convergence of m-singular integrals at generalized Lebesgue points and in* , Izv. Acad. Nauk USSR, ser. math., 1963, 27, pp. 1-24. (Russian)
- [5]. Gadjiev A.D., *On the order of convergence of some class of singular integrals*. Izv. Acad. Sci. of Azerbaijan SSR, 1963, No 6, pp. 27-31 (Russian).
- [6]. Ibragimov I.I., Gadjiev A.D., *On the order of convergence of singular integrals of Cauchy-Stielties type*, Dokl. Acad. Nauk USSR, v. 212, No 1, 1973, pp. 23-26. English translation, see [7].
- [7]. Gadjiev A.D., *Selected works*, Elm, 2003, 355 p.
- [8]. Korovkin P.P., *Linear operators and approximation theory*, Hindustan Press, Delhi, 1960.
- [9]. Altomare F., Campiti M., *Korovkin approximation theory and its applications*, Walther de Gruyter, Berlin and New York, 1994.
- [10]. Butzer P.L., Nessel J.R., *Fourier analysis and approximation, one-dimensional theory*, v. 1, United States edition, published by Acad. Press., Inc. New York and London, 1971.
- [11]. Sevgi Esen, *Approximation of functions by the family of integral operators with positive kernels*. Trans. of National Acad. of Sciences of Azerbaijan, vol. XXII, No 1, 2002, pp. 56-61.
- [12]. B.Rydzewska, *Approximation des fonctions par des integrales singulieres ordinaires*. Fasc. Mathematici, No 7, 1973, pp. 71-81

## **RASTGELE ORMAN MODELİ İLE 0-55 YAŞ HASTALARDA HASTANE MORTALİTESİ TAHMİNİ**

**Yüksek Lisans Öğrencisi, Eda EROĞLU**

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği,

[503020240004@ogrenci.ogu.edu.tr](mailto:503020240004@ogrenci.ogu.edu.tr) -

0009-0006-0194-2480

**Doç.Dr. Şahin IŞIK**

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği,

[sahini@ogu.edu.tr](mailto:sahini@ogu.edu.tr) - 0000-0003-1768-7104

### **ÖZET**

Bu çalışmada, yoğun bakım ünitesinde takip edilen 0–55 yaş arası hastalarda mortaliteyi tahmin etmek amacıyla makine öğrenmesi tabanlı bir model geliştirilmiştir. Klinik skorlar ve rutin laboratuvar verilerinden oluşan tablo verisi üzerinde Random Forest algoritması kullanılmıştır. Toplam 6548 hastaya ait yoğun bakım kayıtlarından 0-55 yaş aralığındaki 1472 hasta seçilmiştir. Veri ön işleme sürecinde %20'nin üzerinde eksik veri içeren değişkenler analizden çıkarılmıştır. %20'den az eksik veri içeren değişkenlerdeki değerler medyan ile doldurulmuştur. Toplam 53 laboratuvar ve klinik değişken model girdisi olarak kullanılmıştır. Veriler %85'i eğitim (n=1251) ve %15'i test seti (n=221) olmak üzere ayrılmıştır. Sınıf dengesizliği, Random Forest modelinde ağırlıklı sınıf parametresi kullanılarak giderilmiştir. Model performansı, doğruluk (accuracy), F1 skoru, duyarlılık (recall), kesinlik (precision) ve ROC (AUC-ROC) metrikleriyle değerlendirilmiştir. Random Forest modeli test setinde %83 doğruluk, 0.92 AUC-ROC ve 0.98 duyarlılık değeri elde etmiştir. Ağırlıklı F1 skoru 0,80 olarak hesaplanmıştır. Değişken önem analizi, APACHE II skoru ve Glasgow Koma Skalası (GKSS) skorunun mortalite tahminine en büyük katkıyı sağlayan özellikler olduğunu göstermiştir. Bunu sırasıyla APTT, Prognostik Nutrisyon İndeksi (PNI) ve yatış gün sayısı takip etmiştir. Elde edilen sonuçlar, klinik ve laboratuvar verileriyle eğitilen Random Forest modelinin, 0-55 yaş grubu yoğun bakım hastalarında mortaliteyi yüksek başarıyla tahmin edebildiğini göstermektedir. Özellikle yüksek duyarlılık değeri, ölüm riskini taşıyan hastaların doğru tanımlanmasında modelin başarısını vurgulamaktadır. Bu da klinik karar destek sistemleri için önemli bir katkı sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Makine Öğrenmesi, Random Forest, Mortalite Tahmini, Yoğun Bakım, Klinik Karar Destek

## ARTVIN METEOROLOJİ İSTASYONU VERİLERİ İLE SPI VE SPEI KURAKLIK ANALİZİ

**Yüksek lisans öğrencisi, Shams Emad Ali ALBUKAA**

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, shamosaalbekaa@gmail.com- 0009-0000-0647-6163

**Doç. Dr. Aslı ÜLKE KESKİN**

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, asli.ulke@omu.edu.tr- 0000-0002-9676-8377

### ÖZET

Kuraklık, dünya genelinde en tehlikeli doğal afetlerden biri olarak kabul edilmesine rağmen, literatürde üzerinde ortak bir tanım bulunmamaktadır. Genellikle insanlar, su kaynaklarında belirgin bir azalma gözlemlediklerinde kuraklığın etkilerini fark ederler. Diğer afetlerden farklı olarak, kuraklık yavaş gelişir ve etkilerini uzun süreli olarak gösterir; bu nedenle başlangıç ve bitiş zamanlarının tahmin edilmesi zordur. Kuraklığın oluşum mekanizmaları hâlen tam olarak anlaşılammıştır ve yalnızca yağış eksikliği ile açıklanamaz. Esas olarak bir bölgede yağış ile buharlaşma ve bitki transpirasyonu arasındaki dengenin bozulması sonucu ortaya çıkar. Uzun süreli yağış ortalamanın altında kalması, kuraklığın temel belirleyici faktörlerinden biridir. Kuraklık; meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyoekonomik olmak üzere dört ana kategoride incelenir. Etkin bir şekilde izlenmesi ve değerlendirilmesi için çeşitli standartlaştırılmış indeksler geliştirilmiştir. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılanlar, Standart Yağış İndeksi (SPI) ve Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI)'dir. SPI yöntemi yalnızca yağış verilerine dayalı olarak kurak ve yağışlı dönemleri belirlerken, SPEI yöntemi yağışın yanı sıra sıcaklık verilerini de dikkate alarak potansiyel evapotranspirasyon etkisini değerlendirmekte ve su dengesi üzerindeki değişimleri ortaya koymaktadır. Bu indeksler, kuraklığın mekânsal ve zamansal dağılımını anlamada ve iklim değişikliği etkilerini değerlendirmede önemli araçlar sunmaktadır. Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin iç kesimlerinde yer alan Artvin meteoroloji istasyonuna ait 1975–2024 yıllarına ait uzun dönem iklim verileri kullanılarak meteorolojik kuraklık koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada SPI ve SPEI yöntemlerinden yararlanılmış ve her iki indeks için 1, 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Artvin istasyonunda özellikle 1980, 1993, 1994, 2021 ve 2024 yıllarında belirgin kuraklık koşulları gözlenmiştir. İncelenen dönem içerisinde en şiddetli kuraklık olayı, 2024 yılı Nisan ayında bir aylık zaman ölçeğinde hesaplanan SPI değerinin  $-4,02$ 'e düşmesiyle tespit edilmiştir. Bu çalışma, Artvin ve çevresinde kuraklık değişkenliğinin ortaya konulmasına katkı sağlamakta olup, elde edilen bulguların bölgedeki su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve kuraklık riskine yönelik planlamalarda yol gösterici olabileceği değerlendirilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kuraklık, SPI, SPEI, Artvin

## 1. GİRİŞ

Kuraklık, dünya genelinde en yıkıcı doğal afetlerden biri olarak kabul edilmesine rağmen, literatürde üzerinde uzlaşılan tek bir tanımı bulunmamaktadır (Wilhite & Glantz, 1985). Diğer doğal afetlerin çoğundan farklı olarak ani şekilde ortaya çıkmayan kuraklık, yavaş gelişen ve etkilerini uzun vadede gösteren karmaşık bir süreçtir. Bu özelliği nedeniyle başlangıç ve bitiş zamanlarının belirlenmesi oldukça güçtür; genellikle kuraklık, yalnızca su kaynaklarında belirgin azalmalar yaşandığında fark edilmektedir (Mishra & Singh, 2010). Kuraklık oluşumunu yalnızca yağış eksikliği ile açıklamak yetersizdir. Bu afet, esas olarak bir bölgedeki yağış ile buharlaşma ve bitki terlemesi (transpirasyon) arasındaki dengenin bozulması sonucu ortaya çıkar. Uzun süreli nem eksikliği, kuraklığın temel belirleyicilerinden biridir ve etkileri hem ekosistemler hem de insan faaliyetleri üzerinde ciddi sonuçlar doğurur (Trenberth ve ark., 2014). Bu bağlamda, kuraklık genellikle meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyoekonomik olmak üzere dört ana kategoride değerlendirilmektedir (Wilhite, 2000). Kuraklık olaylarının izlenmesi ve değerlendirilmesinde standartlaştırılmış indisler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış-Buharlaşma İndisi (SPEI) kuraklık analizlerinde sıklıkla tercih edilen yöntemlerdir. SPI yalnızca yağış verilerine dayalı olarak kurak ve yağışlı dönemleri belirlerken, SPEI yağışın yanı sıra sıcaklık verilerini ve potansiyel buharlaşma etkisini de dikkate alarak su dengesi değişimlerini ortaya koymaktadır (McKee ve ark., 1993; Vicente-Serrano ve ark., 2010). Ülkemizde kuraklık ve gelecekte kuraklığa bağlı etkiler üzerine yapılan çeşitli çalışmalarda farklı havzalar ve zaman ölçekleri ele alınmıştır. Bu kapsamda Öztürk ve Ünlü (2024), Karadeniz Bölgesi genelinde seçilen 26 meteoroloji istasyonuna ait 1960–2020 yılları arasındaki veriler esas alınarak, yıllık ve 12 aylık zaman ölçeklerinde (SPI) kullanılarak kuraklık değerlendirmeleri yapmıştır. Çalışmada kurak ve nemli dönemlerin eğilimleri Mann–Kendall trend analizi ile incelenmiş, mekânsal farklılıklar kıyı ve iç kesimler ayrımında değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Artvin istasyonunda 1961-1962, 1969, 1974-1977, 1980-1984, 2001 ve 2019-2020 yılları kurak dönemler olarak belirlenirken; 1964, 1968, 1988-1989, 1993, 1997 ve 2007 yılları nemli dönemler olarak öne çıkmıştır. Trend analizi sonuçları, Batı Karadeniz kıyılarında yağışlarda istatistiksel olarak anlamlı olmayan bir azalma eğilimi bulunduğunu, Orta ve Doğu Karadeniz’de ise bazı istasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı artış eğilimleri olduğunu ortaya koymuştur. Alsenjar ve ark. (2022) Karadeniz Bölgesinde 1927–2019 dönemine ait verilerle 3 aylık zaman ölçeğinde SPI ve SPEI kullanılarak kuraklık değerlendirmeleri yapmıştır. Artvin’de SPI’ye göre aşırı şiddetli kuraklık oranının SPEI’ye kıyasla daha yüksek olması, sıcaklık etkisinin bu istasyonda daha sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Havzası’nda yer alan Artvin meteoroloji istasyonuna ait veriler kullanılarak hesaplanan SPI ve SPEI indisleri karşılaştırılmaktadır. Kuraklık analizlerinde yalnızca yağış verisi kullanan yaklaşımların yeterliliği sorgulanmakta, sıcaklık ile buna bağlı potansiyel evapotranspirasyonun (PET) dikkate alınmasının kuraklık şiddeti ve sürelerinin daha hassas biçimde belirlenmesine katkı sağladığını ortaya konmaktadır. Çalışma hem güncel verileri kullanması hem de SPEI yöntemi ile analiz yapması nedeniyle diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.



## 2. YÖNTEM

### 2.1. Standart Yağış İndeksi (SPI)

Standart Yağış İndeksi (SPI), belirli bir zaman diliminde gerçekleşen yağış miktarlarının uzun yıllar ortalamasına göre sapmasını standart sapma cinsinden ifade eden istatistiksel bir kuraklık göstergesidir. Bu yöntem, yağış verilerinin standartlaştırılması esasına dayanmakta olup, farklı iklim özelliklerine sahip bölgeler ile değişen zaman ölçekleri arasında karşılaştırılabilir sonuçların elde edilmesine olanak sağlamaktadır. SPI değerleri, incelenen dönemde kaydedilen toplam yağışın uzun dönem ortalamasına göre ne ölçüde farklılaştığını nicel olarak ortaya koymakta ve bu sayede kurak ya da nemli koşulların şiddetinin belirlenmesine imkân vermektedir (Guttman, 1999; McKee ve ark., 1993).

SPI'nin 3, 6, 12, 24 ve 48 ay gibi farklı zaman ölçeklerinde hesaplanabilmesi, kuraklığın zamansal boyutunun çok yönlü biçimde analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. Kısa zaman ölçeklerinde elde edilen değerler, genellikle tarımsal faaliyetleri etkileyen kısa süreli nem eksikliklerini yansıtırken; daha uzun zaman ölçekleri, hidrolojik sistemler üzerindeki birikimli etkilerin değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu kapsamda uzun dönemli analizler; akarsu akımları, toprak nemi, yeraltı suyu seviyeleri ve rezervuar depolama süreçleri gibi hidrolojik bileşenler üzerindeki yağış eksikliğinin etkilerini ortaya koymaktadır. Ayrıca SPI'nin hem kurak hem de nemli dönemleri gösterebilme özelliği, uzun süreli kuraklık süreçleri içerisinde meydana gelen kısa süreli yağışlı periyotların belirlenmesine de olanak tanımaktadır (Bakanoğulları, 2020; Jordaan ve ark., 2019).

$$SPI = \frac{(x_i - x_j)}{\sigma} \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

SPI: Standart Yağış İndeksi,

X<sub>i</sub>: İncelenen döneme ait toplam yağış miktarı (mm),

X<sub>j</sub>: Uzun yıllar ortalama yağış miktarı (mm),

σ: Yağış serisine ait standart sapma değeridir (mm).

### 2.2. Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI)

Standart Yağış-Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI), iklimsel su dengesi yaklaşımına dayanan ve kuraklık analizlerinde sıcaklık etkisini de dikkate alan bir indis olarak tanımlanmaktadır. Yalnızca yağış verilerine dayanan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi'nden (SPI) farklı olarak SPEI, potansiyel evapotranspirasyon (PET) bileşenini de hesaba katarak kuraklık koşullarını daha kapsamlı bir çerçevede değerlendirmektedir. Bu özelliği sayesinde SPEI, özellikle sıcaklık artışlarının ve iklim değişikliğinin kuraklık üzerindeki etkilerinin incelenmesinde yaygın biçimde tercih edilmektedir.

SPEI hesaplamasının ilk aşamasında potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerleri belirlenmektedir. Bu çalışmada, yalnızca aylık ortalama sıcaklık verisine ihtiyaç duyması ve uzun süreli veri setlerine kolaylıkla uygulanabilmesi nedeniyle PET hesaplamalarında Thornthwaite yöntemi kullanılmıştır (Thornthwaite, 1948; Thornthwaite ve Mather, 1955; Thornthwaite ve Mather, 1957). Thornthwaite yöntemine göre aylık sıcaklık indisi (i), aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \quad (2)$$

Burada T, aylık ortalama sıcaklığı (°C) ifade etmektedir. Yıllık sıcaklık indisi (I) ise aylık sıcaklık indislerinin toplamı alınarak aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:

$$I = \sum_1^{12} i \quad (3)$$

Yıllık sıcaklık indisine bağlı katsayı (A), aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$A = 6.7510 \times 10^{-7} \times I^3 - 7.7110 \times 10^{-5} \times I^2 + 1.791210 \times 10^{-2} \times I + 0.49239 \quad (4)$$

Potansiyel evapotranspirasyon (PET) değeri ise aşağıdaki eşitlik ile belirlenmektedir.

$$PET(T) = 16 \times ((10T) / I)^A \times G \quad (5)$$

Bu eşitlikte G enlem düzeltme katsayısını, T aylık ortalama sıcaklığı, I yıllık sıcaklık indisini ve A ise bu indise bağlı katsayıyı temsil etmektedir.

Hesaplamanın ikinci aşamasında, her bir ay için yağış (Pi) ve potansiyel evapotranspirasyon (PETi) değerleri kullanılarak aylık su dengesi bileşeni olan su fazlası veya su açığı (Di) aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmektedir:

$$D_i = P_i - PET_i \quad (6)$$

**Çizelge 2. SPI ve SPEI değerlerine göre kuraklık ve nemlilik sınıflandırması**

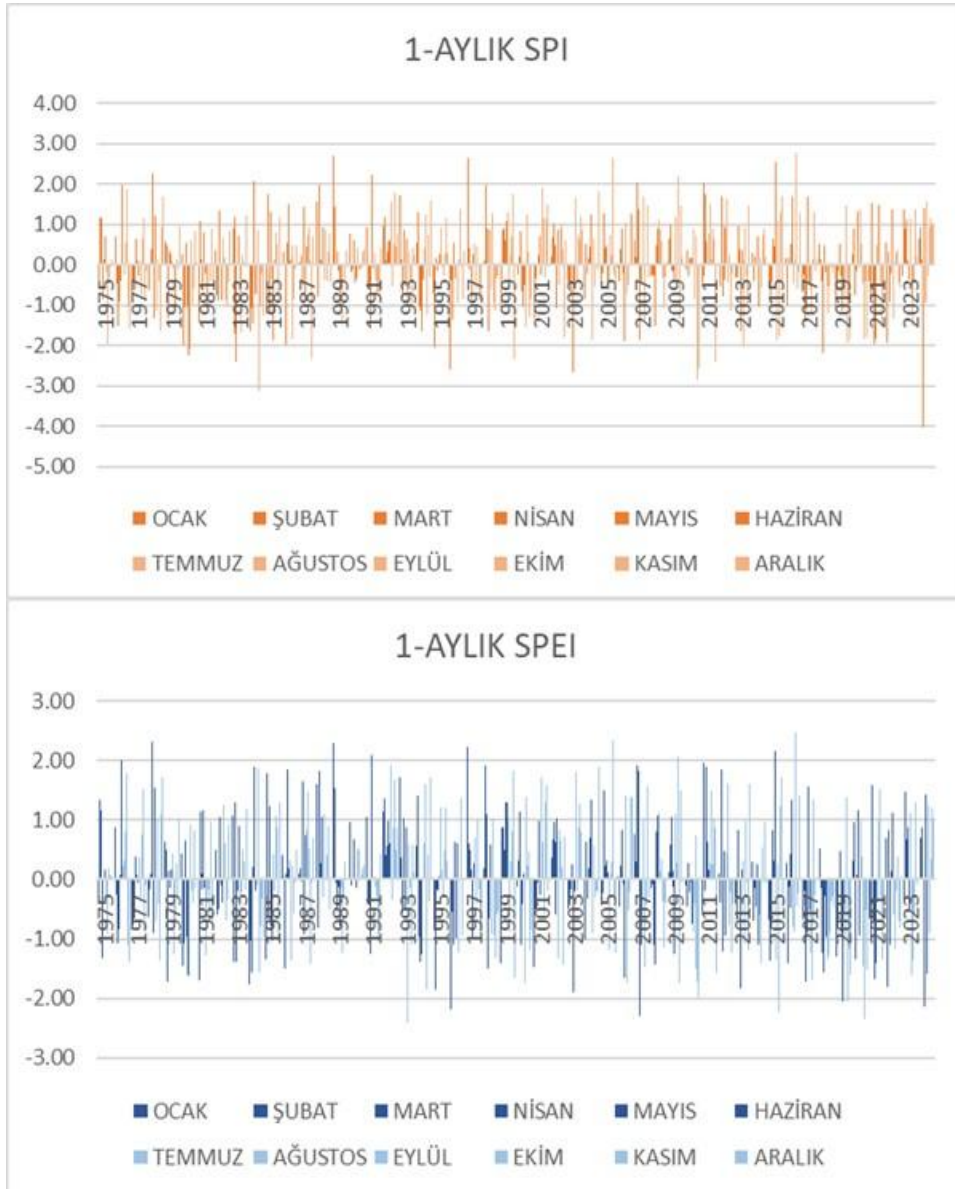
SPEI & SPI Değerleri	Sınıflandırma	Sembol
$\geq 2$	Aşırı Nemli	AN
1.5 ~ 1.99	Çok Nemli	ÇN
1 ~ 1.49	Orta Nemli	ON
-0.99 ~ 0.99	Normale Yakın	NY
-1 ~ 1.49	Orta Kurak	OK
-1.5 ~ -1.99	Şiddetli Kurak	ŞK
$\leq -2$	Aşırı Kurak	AK

### 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada Artvin ilinde kuraklık koşulları, SPI ve SPEI indisleri kullanılarak 1, 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde analiz edilmiştir. Farklı zaman ölçekleri, kuraklığın kısa, orta ve uzun vadeli etkilerinin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Artvin istasyonuna ait SPI-1 sonuçları incelendiğinde, aşırı kuraklık koşullarının 1980, 1983, 1984, 1987, 1995, 1996, 1999, 2003, 2010, 2011, 2013, 2018 ve 2024 yıllarında meydana geldiği belirlenmiştir. İncelenen dönem içerisindeki en düşük SPI-1 değeri, 2024 yılı Nisan ayında  $-4,02$  olarak hesaplanmış olup, bu değer çalışma periyodundaki en şiddetli kuraklık koşulunu temsil etmektedir. Buna karşılık, aşırı yağışlı dönemler 1978, 1989, 1991, 1997, 2005, 2007, 2015 ve 2016 yıllarında gözlenmiş; en yüksek SPI-1 değeri 2016 yılı Eylül ayında  $2,76$  olarak belirlenmiştir.

SPEI-1 sonuçlarına göre ise aşırı kuraklık koşulları 1993, 1996, 2007, 2015, 2019, 2020 ve 2024 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-1 değeri 1993 yılı Temmuz ayında  $-2,42$  olarak hesaplanmıştır. Aşırı yağışlı dönemler 1976, 1978, 1989, 1991, 1997, 2005, 2009 ve 2016 yıllarında gerçekleşmiş olup, en yüksek SPEI-1 değeri 2016 yılı Eylül ayında  $2,47$  olarak belirlenmiştir.

SPI-1 ve SPEI-1 sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, 2024 yılı Nisan ayında SPI-1 değerinin  $-4,02$ , SPEI-1 değerinin ise  $-2,14$  olarak hesaplanması, İki indeks arasındaki şiddet farkı, kuraklık koşullarının oluşumunda yağış eksikliğinin baskın rol oynadığını, evapotranspirasyon bileşeninin ise sonuçlar üzerinde daha zayıf bir etkiye sahip olduğunu işaret etmektedir. Buna karşılık, 1993 yılı Temmuz ayında SPI-1 değerinin  $-1,04$ , SPEI-1 değerinin ise  $-2,42$  olarak tespit edilmesi, iki indeksin farklı kuraklık şiddetleri ortaya koyduğunu göstermektedir. Bu dönemde SPI-1 orta şiddetli kuraklık koşullarını yansıtırken, SPEI-1 aşırı şiddetli kuraklık sınıfına karşılık gelmekte olup, sıcaklık artışına bağlı buharlaşma etkisinin kuraklık şiddetini belirgin şekilde artırdığını ortaya koymaktadır. Artvin istasyonunda kısa süreli kuraklık koşullarının zamansal değişimi, SPI-1 ve SPEI-1 indeksleri kullanılarak incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar Görsel 2’de gösterilmiştir.



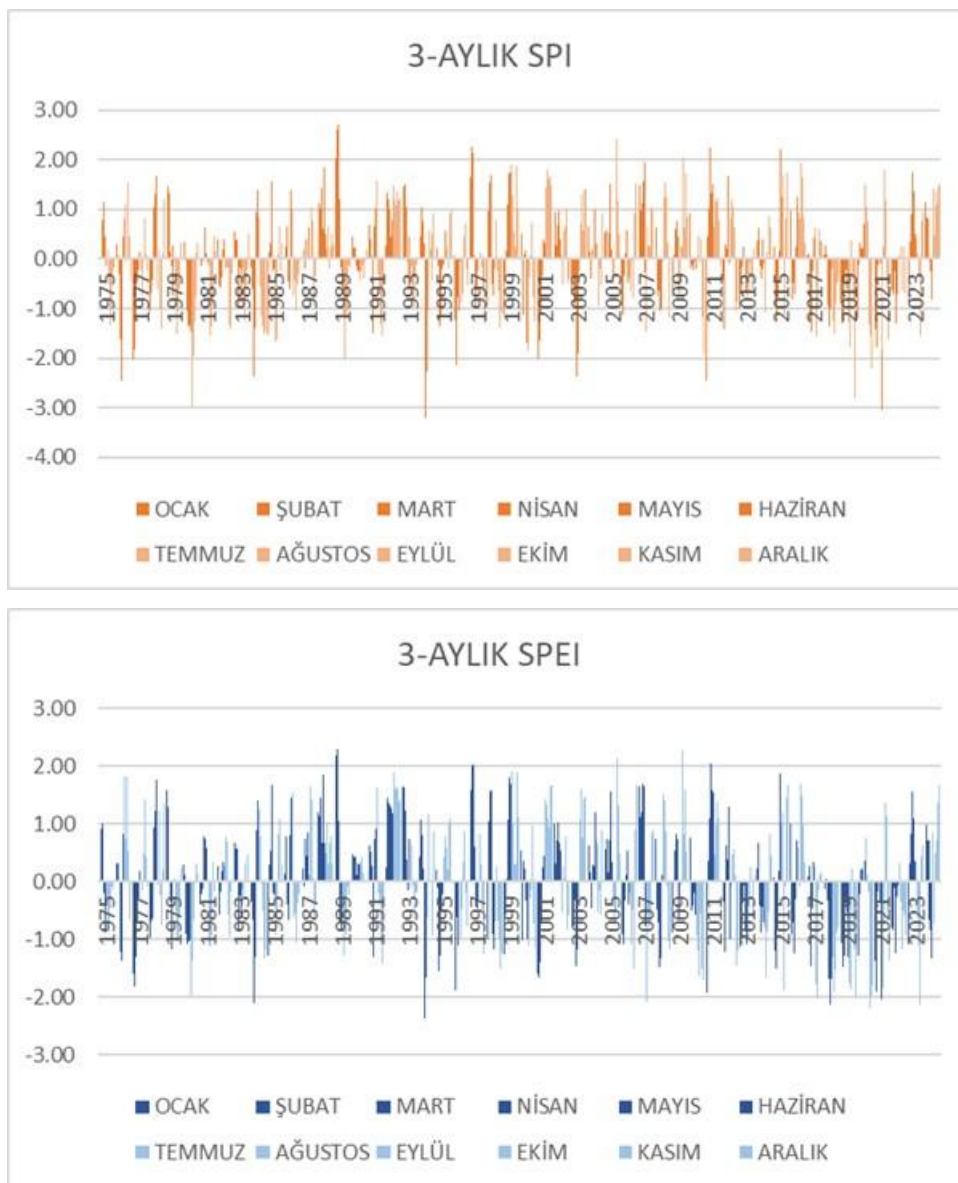
**Görsel 2. Artvin istasyonunda kısa süreli kuraklık koşullarının zamansal değişimi: SPI-1, SPEI-1 (1975–2024)**

Artvin istasyonuna ait SPI-3 sonuçları incelendiğinde, aşırı kuraklık koşullarının 1976, 1977, 1980, 1984, 1989, 1994, 1996, 2001, 2003, 2011, 2019, 2020 ve 2021 yıllarında meydana geldiği belirlenmiştir. İncelenen dönem içerisindeki en düşük SPI-3 değeri, 1994 yılı Mayıs ayında  $-3,20$  olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık, aşırı yağışlı dönemler 1989, 1997, 2005, 2009, 2011 ve 2015 yıllarında gözlenmiş; en yüksek SPI-3 değeri 1989 yılı Mart ayında  $2,70$  olarak belirlenmiştir.

SPEI-3 sonuçlarına göre ise aşırı kuraklık koşulları 1984, 1994, 2007, 2017, 2018, 2020, 2021 ve 2023 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-3 değeri, 1994 yılı Mayıs ayında  $-2,36$

olarak hesaplanmıştır. Aşırı yağışlı dönemler 1989, 1997, 2005, 2009 ve 2011 yıllarında gerçekleşmiş olup, en yüksek SPEI-3 değeri 1989 yılı Mart ayında 2,29 olarak kaydedilmiştir.

Her iki indeks birlikte değerlendirildiğinde, 1994 yılında ve aynı ayda (Mayıs) aşırı kuraklık koşullarının ortaya çıkması, orta vadeli kuraklık gelişiminin her iki yöntem tarafından da tutarlı biçimde yakalandığını göstermektedir. Bununla birlikte, SPI-3 değerinin SPEI-3'e kıyasla daha düşük (daha şiddetli) hesaplanması, kuraklık şiddetinin ağırlıklı olarak yağış eksikliğine bağlı olarak geliştiğine işaret etmektedir. Bu bulgu, literatürde daha önce raporlanan Karadeniz Bölgesindeki 3 aylık SPI değerleriyle uyumludur (Alsenjar ve ark., 2022). Artvin istasyonuna ait 3 aylık zaman ölçeğindeki kuraklık koşullarının zamansal dağılımı SPI-3 ve SPEI-3 indeksleri kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar Görsel 3'te sunulmuştur.

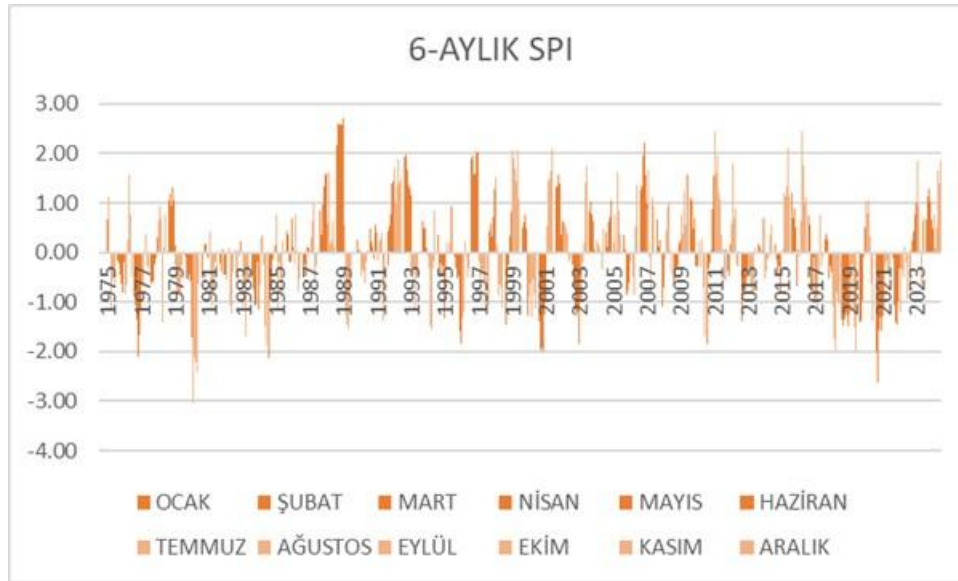


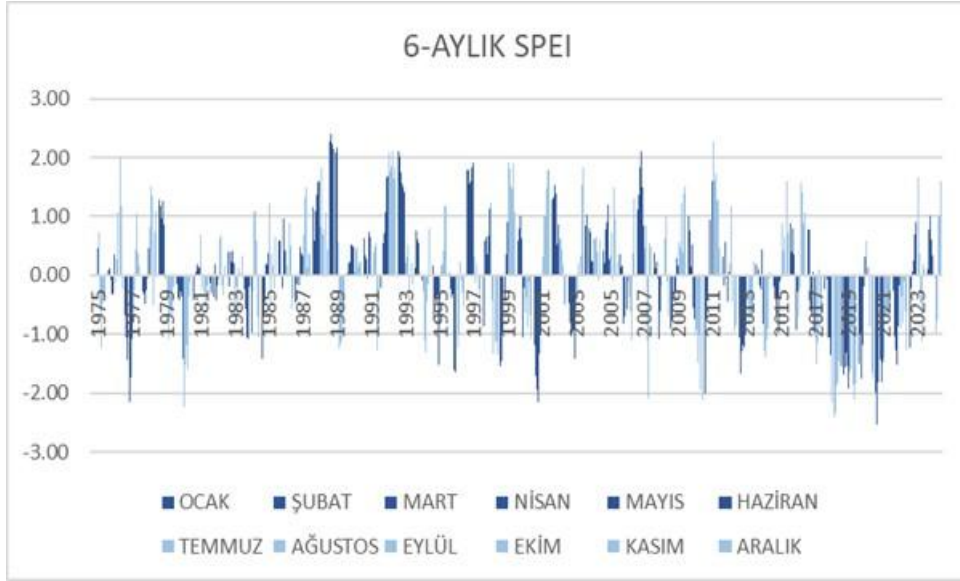
**Görsel 3. Artvin istasyonunda kısa süreli kuraklık koşullarının zamansal değişimi: SPI-3, SPEI-3 (1975–2024)**

SPI-6 sonuçları incelendiğinde, aşırı kuraklık koşullarının 1977, 1980, 1985, 2001, 2019 ve 2021 yıllarında meydana geldiği belirlenmiştir. İncelenen dönem içerisindeki en düşük SPI-6 değeri, 1980 yılı Temmuz ayında  $-3,03$  olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, 2019 yılı boyunca orta düzeyde kuraklık gözlemlenmiştir. Buna karşılık, aşırı yağışlı dönemler 1989, 1997, 1999, 2001, 2007, 2011, 2015 ve 2016 yıllarında gözlenmiş olup, en yüksek SPI-6 değeri 1989 yılı Haziran ayında  $2,71$  olarak belirlenmiştir.

SPEI-6 sonuçlarına göre ise aşırı kuraklık koşulları 1977, 1980, 2001, 2007, 2010, 2011, 2018, 2019 ve 2021 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-6 değeri 2021 yılı Şubat ayında  $-2,53$  olarak hesaplanmıştır. Aşırı yağışlı dönemler 1989, 1992, 1993, 2007 ve 2011 yıllarında gerçekleşmiş olup, en yüksek SPEI-6 değeri 1989 yılı Şubat ayında  $2,40$  olarak kaydedilmiştir.

SPI-6 ve SPEI-6 sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, 2021 yılı Şubat ayında SPI-6 değerinin  $-2,63$ , SPEI-6 değerinin ise  $-2,53$  olduğu; 1980 yılı Temmuz ayında ise SPI-6 değerinin  $-3,03$ , SPEI-6 değerinin  $-2,23$  olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu durum, her iki dönemde de SPI-6 değerlerinin SPEI-6'ya kıyasla daha şiddetli gerçekleştiğini ve kuraklık koşullarının ağırlıklı olarak yağış eksikliğine bağlı olarak geliştiğini göstermektedir. Artvin istasyonunda orta süreli kuraklık koşullarının zamansal değişimi: SPI-6, SPEI-6 (1975–2024) Görsel 4'te gösterilmiştir.



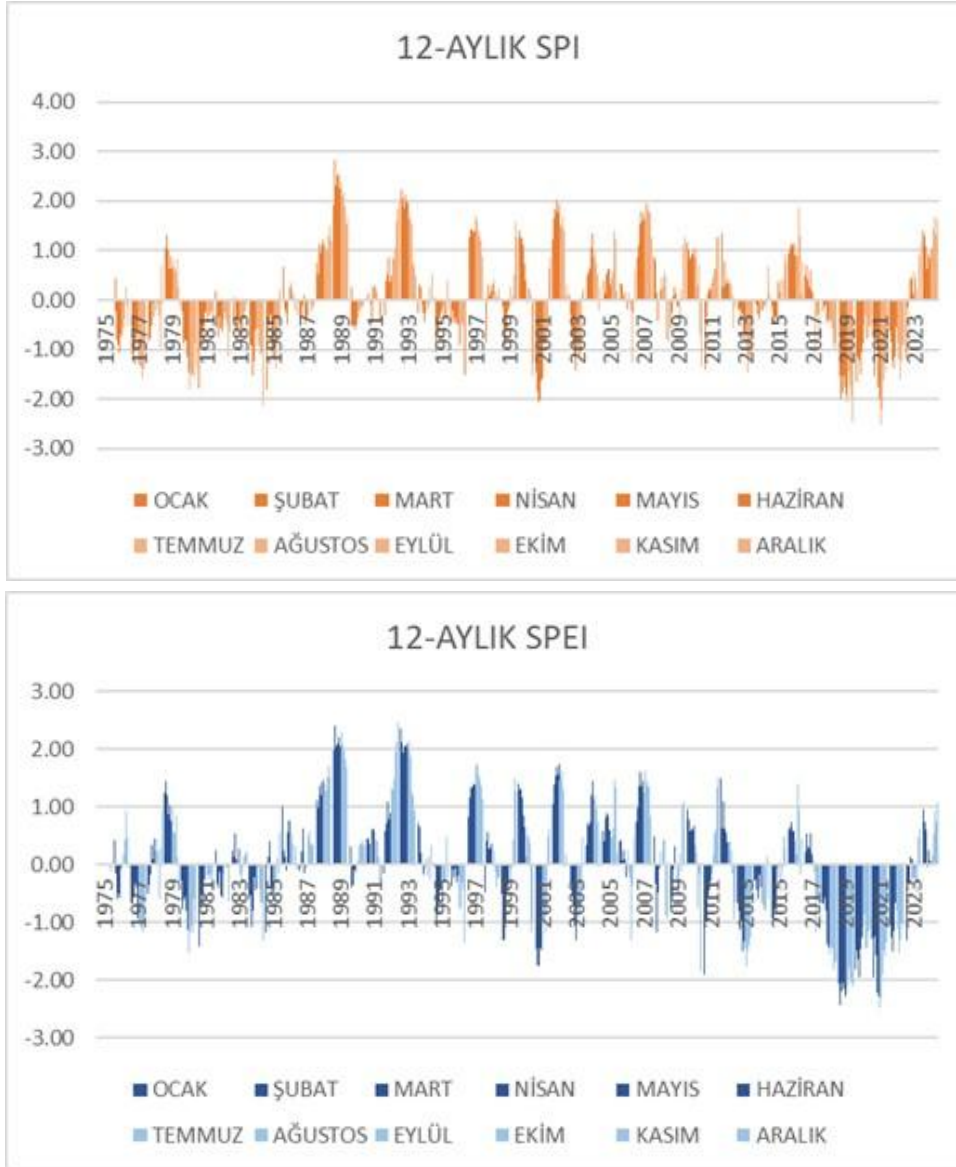


**Görsel 4. Artvin istasyonunda orta süreli kuraklık koşullarının zamansal değişimi: SPI-6, SPEI-6 (1975–2024)**

Artvin istasyonuna ait SPI-12 sonuçları incelendiğinde, aşırı şiddetli kuraklık koşullarının 1984, 2001, 2019 ve 2021 yıllarında yaşandığı belirlenmiştir. İncelenen dönem içerisindeki en düşük SPI-12 değeri, 2021 yılı Temmuz ayında  $-2,52$  olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık, yağışlı dönemler 1989, 1993 ve 2002 yıllarında gözlenmiş; en yüksek SPI-12 değeri 1989 yılı Şubat ayında  $2,83$  olarak kaydedilmiştir.

SPEI-12 sonuçlarına göre ise aşırı kuraklık koşulları 2019 ve 2021 yıllarında yaşandığı belirlenmiştir. En düşük SPEI-12 değeri 2021 yılı Temmuz ayında  $-2,49$  olarak belirlenmiştir. Yağışlı dönemler 1989, 1992 ve 1993 yıllarında gözlenmiş; en yüksek SPEI-12 değeri 1992 yılı Aralık  $2,48$  olarak kaydedilmiştir.

Her iki indeks birlikte değerlendirildiğinde, 2021 yılı Temmuz ayında SPI-12 ( $-2,52$ ) ve SPEI-12 ( $-2,49$ ) değerlerinin birbirine oldukça yakın olması, uzun süreli kuraklık koşullarının her iki yöntem tarafından da benzer şekilde temsil edildiğini göstermektedir. Elde edilen bulgular literatürde benzer yöntem ve çalışma alanı için raporlanan bulgularla karşılaştırıldığında SPI-12 açısından uyum göstermektedir. Özellikle Öztürk ve Ünlü tarafından yapılan çalışmalarda bildirilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Bu uyum, Karadeniz Bölgesi'nde hidrolojik kuraklıkların belirli yıllarda tekrar eden yağış eksiklikleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Artvin istasyonunda uzun süreli kuraklık koşullarının zamansal değişimi: SPI-12, SPEI-12 (1975–2024) Görsel 5'te gösterilmiştir.



**Görsel 5. Artvin istasyonunda uzun süreli kuraklık koşullarının zamansal değişimi: SPI-12, SPEI-12 (1975–2024)**

#### 4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada Artvin ilinde kuraklık koşulları, SPI ve SPEI indisleri kullanılarak farklı zaman ölçeklerinde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, kuraklık olaylarının zamansal ölçekte önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Kısa zaman ölçeklerinde kuraklık olaylarının daha ani ve yüksek şiddette gerçekleştiği, buna karşılık uzun zaman ölçeklerinde kuraklığın daha düşük şiddette ancak daha süreklilik gösteren bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

SPI ve SPEI indekslerinin karşılaştırılması sonucunda, birçok dönemde SPI değerlerinin SPEI'ye göre daha düşük (daha şiddetli) olduğu görülmüştür. Bu durum, kuraklık oluşumunda yağış eksikliğinin temel belirleyici faktör olduğunu, sıcaklık ve evapotranspirasyon etkisinin ise görece daha sınırlı kaldığını göstermektedir. Özellikle kısa ve orta zaman ölçeklerinde bu fark daha belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır.

Orta zaman ölçeklerinde her iki indeksin bazı dönemlerde kuraklık koşullarını benzer şekilde yansıttığı belirlenmiş olup, bu durum kuraklık olaylarının farklı yöntemlerle tutarlı biçimde tespit edilebildiğini göstermektedir. Uzun zaman ölçeklerinde ise SPI ve SPEI değerlerinin birbirine oldukça yakınlaştığı ve kuraklık koşullarının her iki indeks tarafından benzer şekilde temsil edildiği tespit edilmiştir. Bu bulgu, uzun süreli kuraklık süreçlerinde yağış ve sıcaklık etkilerinin birlikte daha dengeli bir şekilde ortaya çıktığını göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar, Artvin ilinde kuraklık koşullarının belirli dönemlerde tekrar eden bir yapı sergilediğini ve özellikle uzun vadeli kuraklıkların hidrolojik süreçler üzerinde etkili olabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca bulguların literatürde yer alan benzer çalışmalarla uyum göstermesi, elde edilen sonuçların güvenilirliğini desteklemektedir.

#### KAYNAKÇA

- [1] Aktürk, G., Zeybekoğlu, U., & Yıldız, O. (2022). SPI ve SPEI yöntemleri ile kuraklık araştırması: Kırıkkale örneği. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(2), 762–776. <https://doi.org/10.29137/umagd.1100886>
- [2] Alsenjar, O., Aksu, H., & Çetin, M. (2022). The use of some specific drought indices to evaluate meteorological drought events in the Black Sea Region of Turkey. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 37(2), 261–272.
- [3] Bakanoğulları, F. (2020). SPEI ve SPI indisleri kullanılarak İstanbul-Damlıca Deresi havzasında kuraklık şiddetlerinin analizi. *Toprak Su Dergisi*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.21657/topraksu.566693>
- [4] Guttman, N. B. (1999). Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(2), 311–322.

- [5] Jordaan, A. J., Mlenga, D. H., & Mandebvu, B. (2019). Monitoring droughts in Eswatini: A spatiotemporal variability analysis using the standardized precipitation index. *Jàmbá: Journal of Disaster Risk Studies*, 11(1), 1–11.
- [6] McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (pp. 179–184). Anaheim, CA.
- [7] Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202–216.
- [8] Öztürk, Y. D., & Ünlü, R. (2024). Karadeniz Bölgesi’nde kurak ve nemli dönemlerin SPI yöntemi kullanılarak belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 10(2), 247–262. <https://doi.org/10.21324/dacd.1383857>
- [9] Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55–94.
- [10] Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1955). *The water balance*. Laboratory of Climatology.
- [11] Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1957). *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration*. Drexel Institute of Technology.
- [12] Trenberth, K. E., Dai, A., van der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., & Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1), 17–22. <https://doi.org/10.1038/nclimate2067>
- [13] Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23, 1696–1718.
- [14] Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10(3), 110–120.

## **SAMSUN, ORDU, TOKAT METEOROLOJİ İSTASYONU VERİLERİ İLE SPEI KURAKLIK ANALİZİ**

**Yüksek lisans öğrencisi Onur ÇELİKKOL**

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, onurcelikkol06@gmail.com-0009-0007-1318-5189

**Doç. Dr. Aslı ÜLKE KESKİN**

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, asli.ulke@omu.edu.tr-0000-0002-9676-8377

### **ÖZET**

Kuraklık; yalnızca basit bir yağış eksikliği değil, meteorolojik bir sapma olarak başlayıp toprak nemi yetersizliğine (tarımsal) ve nihayetinde su rezervlerinin kritik seviyelere gerilemesine (hidrolojik) yol açan, çok boyutlu bir doğal afet olarak tanımlanmaktadır. Küresel iklim sisteminde son yüzyılda gözlenen belirgin ısınma eğilimi, hidrolojik döngünün doğal işleyişini kökten değiştirerek su kaynakları üzerinde ciddi bir çevresel baskı oluşturmaktadır. Artan yüzey sıcaklıkları atmosferin nem taşıma kapasitesini doğrudan artırırken, bu süreç potansiyel evapotranspirasyon (PET) oranlarını da yukarı çekerek ekosistem üzerindeki su talebini yükseltmektedir. Güncel bilimsel bulgular, bir bölgede yağış miktarları istatistiksel olarak sabit kalsa dahi, yükselen sıcaklıkların yarattığı su açığının kuraklık şiddetini tek başına tetikleyebildiğini kanıtlamaktadır. Bu çalışma; Samsun, Ordu ve Tokat illerini kapsayan çalışma alanında, 1975–2024 yıllarına ait 50 yıllık kesintisiz meteorolojik veriler üzerinden bölgenin kuraklık dinamiklerini kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Analiz sürecinde, sıcaklık ve yağış değişkenlerini eş zamanlı değerlendiren Standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) kullanılmış olup, buharlaşma hesaplamalarında Thornthwaite yöntemi esas alınmıştır. Çalışma kapsamında 1 ile 24 ay arasında değişen farklı zaman ölçeklerinde oluşturulan veri serileri analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre bu üç il için SPEI değerlerinin eş zamanlı olarak negatif bölgeye (-1.5 ve altı) düştüğü dönemler 1994, 2007-2008, 2014 ve 2020-2021 yıllarında görülmüştür. 2020-2021 yılı yakın tarihin en ciddi kuraklık periyodudur. SPEI-12 ve SPEI-24 grafiklerinde bu yıllar her üç il için de son 20 yılın en düşük değerlerini temsil eder. Araştırma bulguları, kısa vadeli kuraklık olaylarının genellikle mevsimsel ve geçici bir karakter sergilediğini, ancak analiz edilen zaman ölçeği genişledikçe kuraklık eğiliminin istatistiksel olarak süreklilik kazandığını ortaya koymaktadır. Bölgedeki kuraklık riskinin temel itici gücünün sadece yağış miktarındaki düşüş değil, aynı zamanda artan sıcaklıkların yarattığı yoğun buharlaşma baskısı olduğu saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar, geleneksel olarak "nemli" ve "su zengini" bir kuşak olarak kabul edilen Karadeniz kıyı şeridinde bile uzun vadeli hidrolojik kuraklaşma riskinin ciddi bir boyuta ulaştığını ve gelecekte su güvenliği açısından kritik önlemler alınması gerektiğini kanıtlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kuraklık, SPEI, Samsun, Ordu, Tokat.

## 1. GİRİŞ

Küresel iklim sistemi son yüzyılda belirgin bir ısınma eğilimine girmiştir ve bu eğilim hidrolojik döngü üzerinde doğrudan ve dolaylı etkiler üretmektedir. Artan yüzey sıcaklıkları, atmosferin nem tutma kapasitesini yükselterek potansiyel evapotranspirasyon (PET) oranlarını artırmakta; bu durum yağış miktarında anlamlı bir azalma olmasa dahi su açığının büyümesine yol açabilmektedir (IPCC, 2023). Son yıllarda yapılan çalışmalar, kuraklığın yalnızca yağış eksikliğine bağlı bir fenomen olmadığını, enerji dengesindeki değişimlerin de kuraklık şiddetini belirleyen temel faktörler arasında yer aldığını ortaya koymaktadır.

Kuraklık; meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik olmak üzere farklı aşamalarda ortaya çıkan ve zaman ölçeğine bağlı olarak etkileri değişen çok boyutlu bir doğal afettir (Wilhite & Glantz, 1985). Meteorolojik kuraklık yağış eksikliği ile başlamakta, bunu toprak nemi yetersizliği (tarımsal kuraklık) ve yüzey/yeraltı suyu azalışı (hidrolojik kuraklık) izlemektedir (Mishra & Singh, 2010). Bu süreçler genellikle birbirini takip eden zincirleme etkiler oluşturmaktadır. Dolayısıyla kuraklığın yalnızca kısa süreli yağış anomalileri üzerinden değerlendirilmesi, özellikle uzun vadeli su güvenliği açısından yetersiz kalabilmektedir.

İklim değişikliği bağlamında literatürde öne çıkan kavramlardan biri “sıcak kuraklık”tır (hot drought). Bu kavram, sıcaklık artışlarının evapotranspirasyon üzerinden su kaybını artırarak kuraklık şiddetini derinleştirdiğini ifade etmektedir (Trenberth vd., 2014). Özellikle geleneksel olarak nemli kabul edilen bölgelerde dahi, artan atmosferik su talebi nedeniyle su dengesi negatif yönde değişebilmektedir. Bu durum, yüksek yıllık yağış miktarına sahip bölgelerin kuraklık riskinden muaf olmadığına işaret etmektedir.

Kuraklığın izlenmesinde en yaygın kullanılan indekslerden biri Standartlaştırılmış Yağış İndeksi’dir (SPI) (McKee vd., 1993). Ancak SPI yalnızca yağış verisine dayandığı için, artan sıcaklıkların su dengesi üzerindeki etkisini dikkate almamaktadır. Bu sınırlılığını gidermek amacıyla geliştirilen Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI), yağış ile potansiyel evapotranspirasyon arasındaki farkı esas alarak su açığını daha bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmektedir (Vicente-Serrano vd., 2010). SPEI’nin çok zaman ölçekli uygulanabilirliği, meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklığın birlikte analiz edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle son yıllarda iklim değişikliği etkilerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak tercih edilmektedir.

Türkiye, Akdeniz Havzası’nda yer alması nedeniyle iklim değişikliğine karşı hassas bölgeler arasında gösterilmektedir. Yapılan ulusal ve bölgesel çalışmalar, özellikle son 30–40 yıllık dönemde sıcaklık artışlarının belirginleştiğini ve bazı bölgelerde kuraklık şiddetinin arttığını ortaya koymaktadır. Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerinde kuraklaşma eğilimleri daha belirgin olmakla birlikte, Karadeniz Bölgesi’nde de sıcaklık artışlarına bağlı su dengesi değişimlerine yönelik bulgular artmaktadır. Geleneksel olarak yüksek yağışlı bir bölge olarak bilinen Karadeniz’de artan evapotranspirasyon baskısının uzun dönemli su bütçesi üzerinde etkili olup olmadığı konusu ise henüz yeterince ayrıntılı incelenmemiştir.

Samsun ve Ordu illeri, Orta Karadeniz’in sahil kuşağında yer alarak denizel etki ve orografik yağışların kontrolünde bir su bütçesine sahipken; Tokat ili, iç kesimde yer alması sebebiyle

karasallık etkisinin ve buharlaşma baskısının daha yoğun hissedildiği bir bölgedir. Literatürde Samsun ve çevresine yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmakla birlikte (Yüce vd., 2022), bu üç istasyonun 50 yıllık kesintisiz veri seti üzerinden kıyı-iç kesim zıtlığını, çok zaman ölçekli (1-24 ay) SPEI analizi ile karşılaştıran kapsamlı bir hidroklimatik değerlendirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Literatür incelendiğinde Aktürk vd. (2022), Kırıkkale'nin 1963-2018 verilerini SPI ve farklı PET modellerine dayalı SPEI ile analiz ederek indisler arasında yüksek korelasyon belirlemişlerdir. Gümüş (2023), Türkiye genelinde 1970-2021 periyodunu inceleyerek SPEI'nin orta ve şiddetli kuraklıkları tespitinde SPI'ya göre daha duyarlı olduğunu, özellikle 1990 sonrasında iki indis arasındaki sonuç farklılıklarının belirginleştiğini rapor etmiştir.

Yüce vd. (2022), Samsun istasyonunun 1938-2020 dönemi verileriyle SPI ve SPEI analizleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada iklim parametrelerinin etkileri %95 güven aralığında irdelenmiş; bölgede en fazla "normal" kategorisinin görüldüğü, "çok şiddetli kuraklık" payının ise en düşük olduğu saptanmıştır. Bakanoğullar (2020), Büyükçekmece Damlıca Deresi havzasında 1982-2006 dönemi verileriyle Thornthwaite yöntemine dayalı SPEI ve SPI indislerini karşılaştırmalı olarak analiz ederek kuraklığın sıklık ve şiddetini belirlemiştir. Zeybekoğlu (2022), Kızılırmak Havzası Hirfanlı Barajı alt havzasında 1968-2017 periyodunu SPEI ile analiz ederek en şiddetli kuraklığın 2001 yılında yaşandığını saptamış ve havzanın mekânsal kuraklık risk haritalarını oluşturmuştur. Güner Bacanlı ve Akşan (2019), Akdeniz Bölgesi'ndeki sekiz istasyonun 1970-2018 verilerini SPEI ile 1-12 aylık ölçeklerde analiz etmişlerdir. Bölge genelinde "hafif kurak" ve "normale yakın" sınıflarının baskın olduğu, Adana istasyonunun ise ekstrem dönem frekansları bakımından en düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Yüce ve Eşit (2020), Ceyhan Havzası'nda SPEI'nin kurak periyotlarda SPI'dan daha şiddetli değerler ürettiğini saptayarak sıcaklık ve evapotranspirasyonun kuraklık karakterizasyonundaki kritik rolünü ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmanın temel amacı, 1975–2024 dönemine ait 50 yıllık meteorolojik veri setini kullanarak Samsun, Ordu ve Tokat illerindeki kuraklık şiddeti, süresi ve eğilimlerini analiz etmektir. Çalışma, meteorolojik kuraklıktan (SPEI-1) hidrolojik kuraklığa (SPEI-24) kadar uzanan bir yelpazede, bölgenin su açığı dinamiklerini ortaya koymayı hedeflemektedir.

Çalışma üç açıdan özgün katkı sunmaktadır:

1. Orta Karadeniz'in kıyı (Samsun, Ordu) ve iç kesim (Tokat) istasyonları arasında SPEI temelli mekânsal bir karşılaştırma sunmaktadır.
2. 2014, 2020 ve 2024 yıllarında gözlemlenen bölgesel kuraklık senkronizasyonunu ve Tokat istasyonunda 1990'lardan itibaren nemli dönemlerin kesilmesine dair tarihsel kırılmayı raporlamaktadır.
3. Samsun'da kaydedilen -2.84 (SPEI-1) ve Tokat'ta kaydedilen -2.89 (SPEI-6) gibi ekstrem rekor değerler üzerinden bölgenin iklimsel kararsızlığını ve artan kuraklık frekansını kanıtlamaktadır.

Bu yönleriyle çalışma, geleneksel olarak nemli kabul edilen bir bölgede karasallık ve sıcaklık artışı kaynaklı kuraklaşma sinyallerini değerlendiren kapsamlı bir hidroklimatik analiz sunmaktadır.

### 1.1. Çalışma Alanı(Samsun, Ordu,Tokat)

Samsun, Ordu, Tokat illerinde kuraklık analizi için 1975-2024 dönemini kapsayan aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verilerine SPEI yöntemi uygulanmıştır. Söz konusu veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğünden(MGM) temin edilen Samsun(17030), Ordu(17034) ve Tokat(17084) meteoroloji istasyonlarına ait 50 yıllık gözlem kayıtlarından oluşmaktadır. Samsun meteoroloji istasyonunda uzun yıllar ortalamasına göre yıllık toplam yağış miktarı yaklaşık 712.2 mm, Ordu'da 1050.2 mm, Tokat'ta 444.6 mm yıllık ortalama sıcaklık ise Samsun'da 14.6°C,Ordu'da 14.5°C,Tokat'ta 12.5°C olarak hesaplanmıştır. Samsun, Ordu, Tokat illerinin Türkiye içindeki coğrafi konumu Görsel 1'de gösterilmiştir.



Görsel 1.Karadeniz Bölgesi Haritası

## 2.YÖNTEM

### 2.1. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI)

Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI), kuraklık analizlerinde iklimsel su dengesi (P-PET) yaklaşımını esas alan, sıcaklık değişimlerinin kuraklık şiddeti üzerindeki etkisini dinamik olarak yansıtan çok zaman ölçekli bir indistir. Geleneksel olarak kullanılan ve yalnızca yağış anomalilerine odaklanan Standartlaştırılmış Yağış İndeksi'nin (SPI) aksine SPEI, sisteme giren su miktarı (yağış) ile sistemden uzaklaşan su miktarı (evapotranspirasyon) arasındaki farkı temel almaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, özellikle küresel ısınma kaynaklı sıcaklık artışlarının hidroklimatik süreçleri dönüştürdüğü bölgelerde kuraklık karakterizasyonunun çok daha hassas bir şekilde yapılabilmesine olanak tanımaktadır (Vicente-Serrano vd., 2010).

SPEI hesaplama algoritmasının başlangıç aşaması, sahadaki potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerlerinin yüksek doğrulukla kestirilmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada, analiz

edilen istasyonların uzun dönemli iklim kayıtları ve veri kısıtları göz önünde bulundurularak, PET hesaplamalarında yaygın kabul görmüş Thornthwaite yöntemi tercih edilmiştir (Thornthwaite, 1948). Söz konusu yöntemin seçiminde, sadece aylık ortalama sıcaklık verisine ihtiyaç duyması ve bu sayede 50 yıllık kesintisiz veri setlerinde kararlı sonuçlar üretmesi temel gerekçe olmuştur. Thornthwaite metodolojisine göre, aylık sıcaklık indisi (i) hesaplanırken izlenen temel matematiksel modelleme aşağıda sunulmuştur:

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \quad (1)$$

Burada T, aylık ortalama sıcaklığı (°C) ifade etmektedir. Yıllık sıcaklık indisi (I) ise aylık sıcaklık indislerinin toplamı alınarak aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:

$$I = \sum_1^{12} i \quad (2)$$

Yıllık sıcaklık indisine bağlı katsayı (A), aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$A=6.7510 \times 10^{-7} \times I^3 - 7.7110 \times 10^{-5} \times I^2 + 1.791210 \times 10^{-2} \times I + 0.49239 \quad (3)$$

Potansiyel evapotranspirasyon (PET) değeri ise aşağıdaki eşitlik ile belirlenmektedir.

$$PET(T) = 16 \times \left(\frac{10T}{I}\right)^A \times G \quad (4)$$

Bu eşitlikte G enlem düzeltme katsayısını, T aylık ortalama sıcaklığı, I yıllık sıcaklık indisini ve A ise bu indise bağlı katsayıyı temsil etmektedir.

Hesaplamanın ikinci aşamasında, her bir ay için yağış (Pi) ve potansiyel evapotranspirasyon (PETi) değerleri kullanılarak aylık su dengesi bileşeni olan su fazlası veya su açığı (Di) aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmektedir.

$$Di = Pi - PETi \quad (5)$$

**Tablo 1:** SPEI Değerlerine Göre Kuraklık Sınıflandırması

SPEI İndis Değeri	Nemlilik/Kuraklık Sınıfı
$\geq 2.00$	Aşırı Nemli
1.99 / 1.50	Çok Nemli
1.49 / 1.00	Orta Nemli
0.99 / 0.50	Hafif Nemli
0.49 / 0 / -0.49	Normal
-0.50 / -0.99	Hafif Kurak
-1.00 / -1.49	Orta Kurak
-1.50 / -1.99	Şiddetli Kurak
$\leq -2.00$	Aşırı Kurak

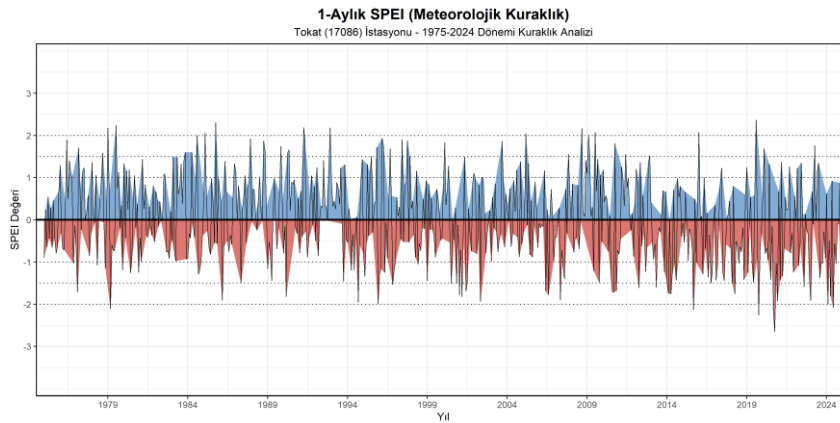
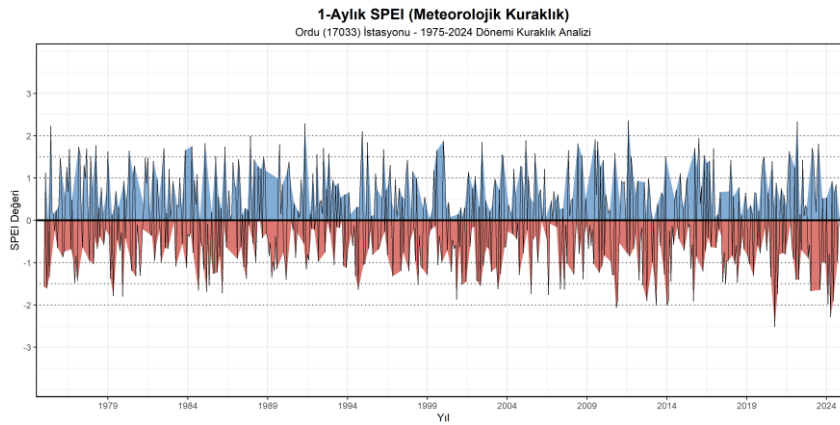
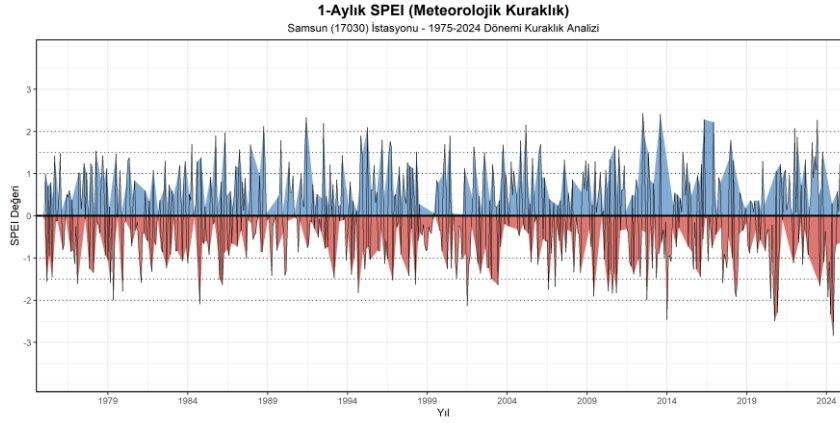
### 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

#### 3.1. Bir Aylık Sonuçlar

Samsun SPEI-1 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 1984, 2001, 2014, 2020, 2024 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-1 değeri 2024 yılı Haziran ayında -2.84 olarak hesaplanmıştır. Aşırı yağışlı dönemler 1988, 1991, 1992, 1995, 2005, 2012, 2013, 2016, 2022, 2023, 2025 yıllarında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-1 değeri 2012 yılı Temmuz ayında 2.43 olarak kaydedilmiştir.

Ordu SPEI-1 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 2010, 2013, 2014, 2020, 2024 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-1 değeri 2020 yılı Eylül ayında -2.52 olarak hesaplanmıştır. Aşırı yağışlı dönemler 1975, 1991, 1994, 2011, 2022 yıllarında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-1 değeri 2011 Ağustos ayında 2.36 olarak kaydedilmiştir.

Tokat SPEI-1 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 1979, 2015, 2019, 2020, 2024, 2025 yıllarında yaşandığı belirlenmiştir. En düşük SPEI-1 değeri 2020 yılı Ekim ayında -2.64 olarak hesaplanmıştır. Aşırı yağışlı dönemler 1979, 1985, 1991, 1992, 2005, 2008, 2009, 2016, 2019 yıllarında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-1 değeri 2019 yılı Ağustos ayında 2.37 olarak kaydedilmiştir.



**Görsel 2. Samsun, Ordu, Tokat İstasyonunda Kısa Süreli Kuraklık Koşullarının Zamansal Değişimi:**

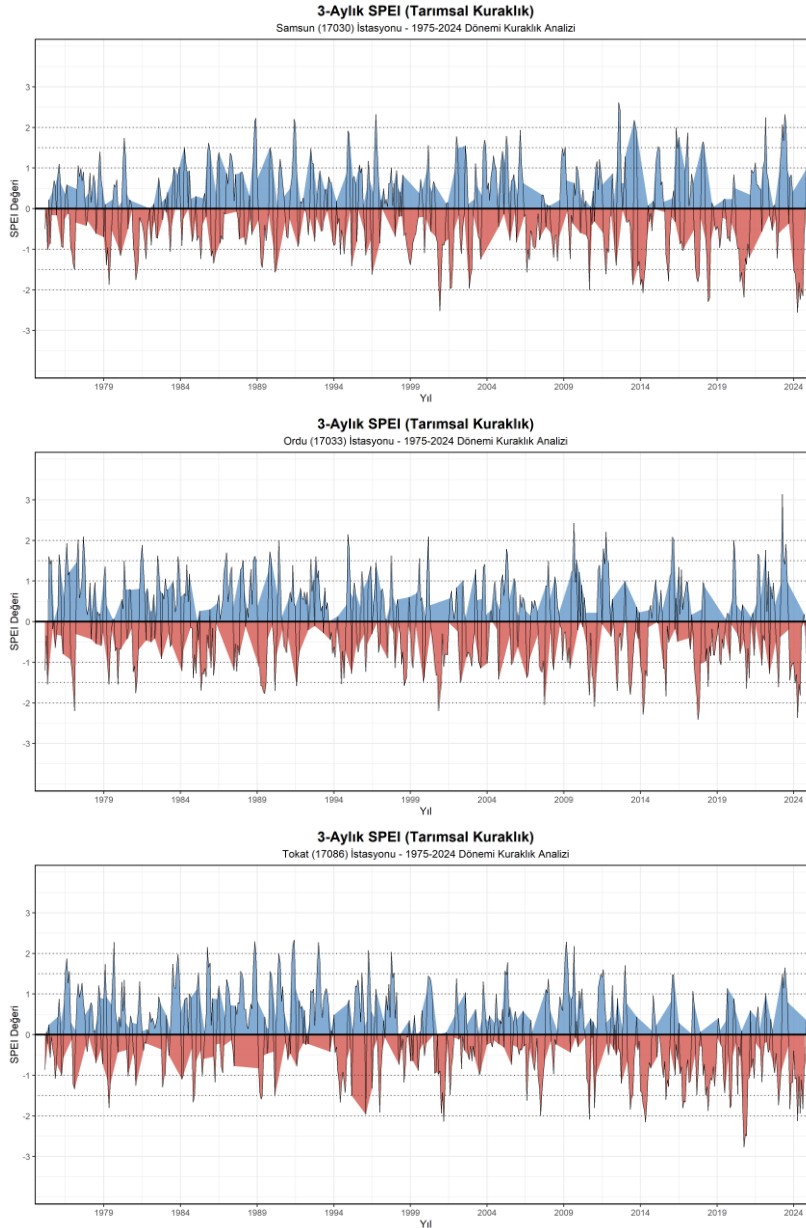
### **SPEI-1 (1975–2024)**

#### **3.2. Üç Aylık Sonuçlar**

Samsun SPEI-3 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 2000, 2010, 2014, 2018, 2020, 2024 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-3 değeri 2024 yılı Nisan ayında -2.56 olarak hesaplanmıştır. Aşırı yağışlı dönemler 1988, 1991, 1996, 2012, 2013, 2022, 2023 yıllarında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-3 değeri 2012 Temmuz ayında 2.43 olarak hesaplanmıştır.

Ordu SPEI-3 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 1977, 2000, 2007, 2011, 2014, 2017, 2024 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-3 değeri 2017 yılı Ekim ayında -2.41 olarak hesaplanmıştır. Aşırı yağışlı dönemler 1977, 1990, 1994, 2000, 2009, 2011, 2016, 2020, 2023 yıllarında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-3 değeri 2023 yılı Nisan ayında 3.14 olarak hesaplanmıştır.

Tokat SPEI-3 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 2001, 2010, 2014, 2020, 2024 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-3 değeri 2020 yılı Ekim ayında -2.77 olarak hesaplanmıştır. Aşırı yağışlı dönemler 1979, 1985, 1988, 1990, 1991, 1993, 1996, 1997, 2009 yıllarında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-3 değeri 1991 yılı Haziran ayında 2.33 olarak hesaplanmıştır.



**Görsel 3. Samsun, Ordu, Tokat İstasyonunda Kısa Süreli Kuraklık Koşullarının Zamansal Değişimi:**

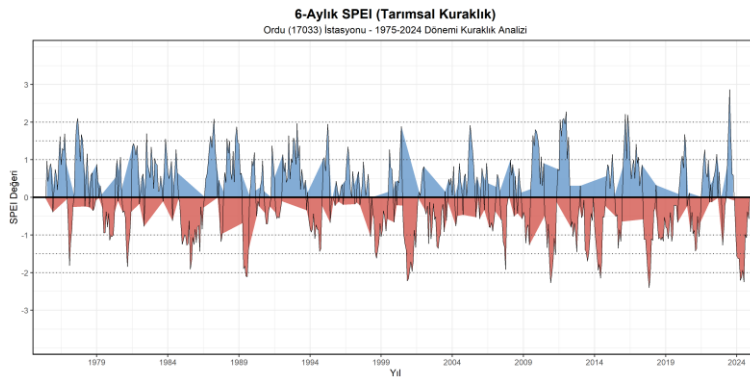
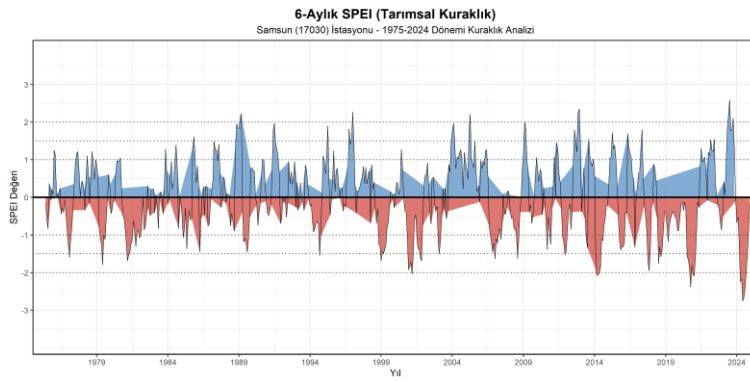
**SPEI-3 (1975–2024)**

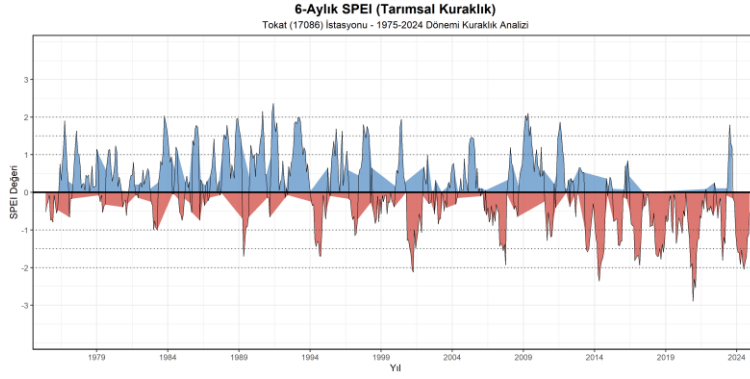
### 3.3.Altı Aylık Sonuçlar

Samsun SPEI-6 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 2001, 2014, 2020, 2021, 2024 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-6 değeri 2024 yılı Haziran ayında -2.75 olarak hesaplanmıştır. Aşırı yağışlı dönemler 1989, 1997, 2005, 2009, 2012, 2023 yıllarında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-6 değeri 2023 yılı Temmuz ayında 2.59 olarak hesaplanmıştır.

Ordu SPEI-6 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 1989, 2000, 2010, 2011, 2014, 2017, 2024 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-6 değeri 2017 yılı Kasım ayında -2.4 olarak hesaplanmıştır. Aşırı yağışlı dönemler 1977, 1987, 2011, 2012, 2016, 2023 yıllarında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-6 değeri 2023 yılı Temmuz ayında 2.87 olarak hesaplanmıştır.

Tokat SPEI-6 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 2001, 2014, 2020, 2021, 2024 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-6 değeri 2020 yılı Aralık ayında -2.89 olarak hesaplanmıştır. Aşırı yağışlı dönemler 1983, 1990, 1991, 2009 yıllarında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-6 değeri 1991 yılı Haziran ayında 2.37 olarak hesaplanmıştır.





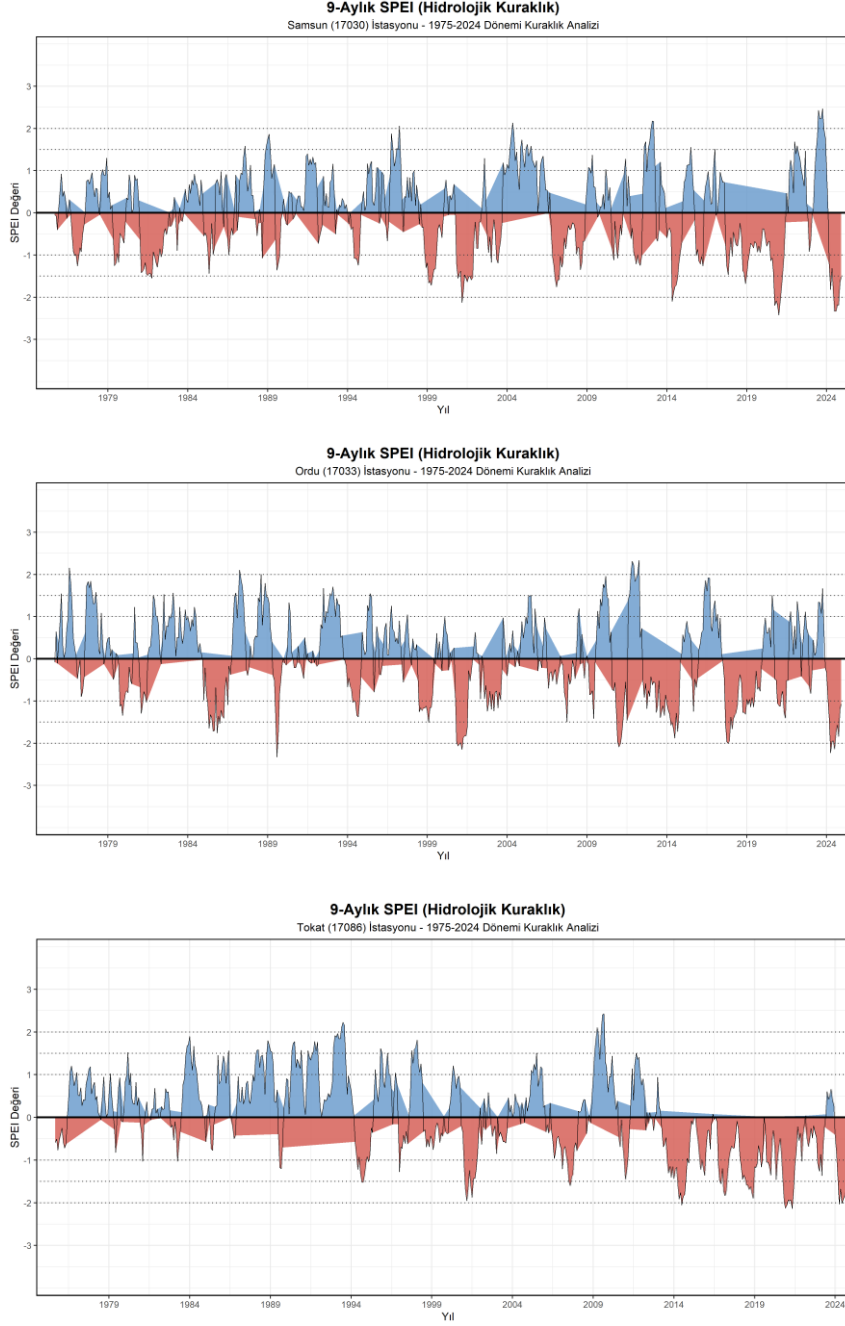
**Görsel 4. Samsun, Ordu, Tokat İstasyonunda Orta Süreli Kuraklık Koşullarının Zamansal Değişimi: SPEI- 6(1975–2024)**

### 3.4.Dokuz Aylık Sonuçlar

Samsun SPEI-9 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 2001, 2014, 2020, 2021, 2024 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-9 değeri 2021 yılı Ocak ayında -2.42 olarak hesaplanmıştır. Aşırı yağışlı dönemler 1997, 2004, 2013, 2023 yıllarında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-9 değeri 2023 yılı Ekim ayında 2.47 olarak hesaplanmıştır

Ordu SPEI-9 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 1989, 2000, 2001, 2011, 2017, 2024 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-9 değeri 1989 yılı Ağustos ayında -2.33 olarak hesaplanmıştır. Aşırı yağışlı dönemler 1976, 1987, 1988, 2011, 2012 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-9 değeri 2012 yılı Nisan ayında 2.33 olarak hesaplanmıştır.

Tokat SPEI-9 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 2014, 2020, 2021, 2024 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-9 değeri 2021 yılı Mayıs ayında -2.13 olarak hesaplanmıştır. Aşırı nemli yıllar 1993, 2009 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-9 değeri 2009 yılı Eylül ayında 2.42 olarak hesaplanmıştır.



**Görsel 5. Samsun, Ordu, Tokat İstasyonunda Orta Süreli Kuraklık Koşullarının Zamansal Değişimi: SPEI-9 (1975–2024)**

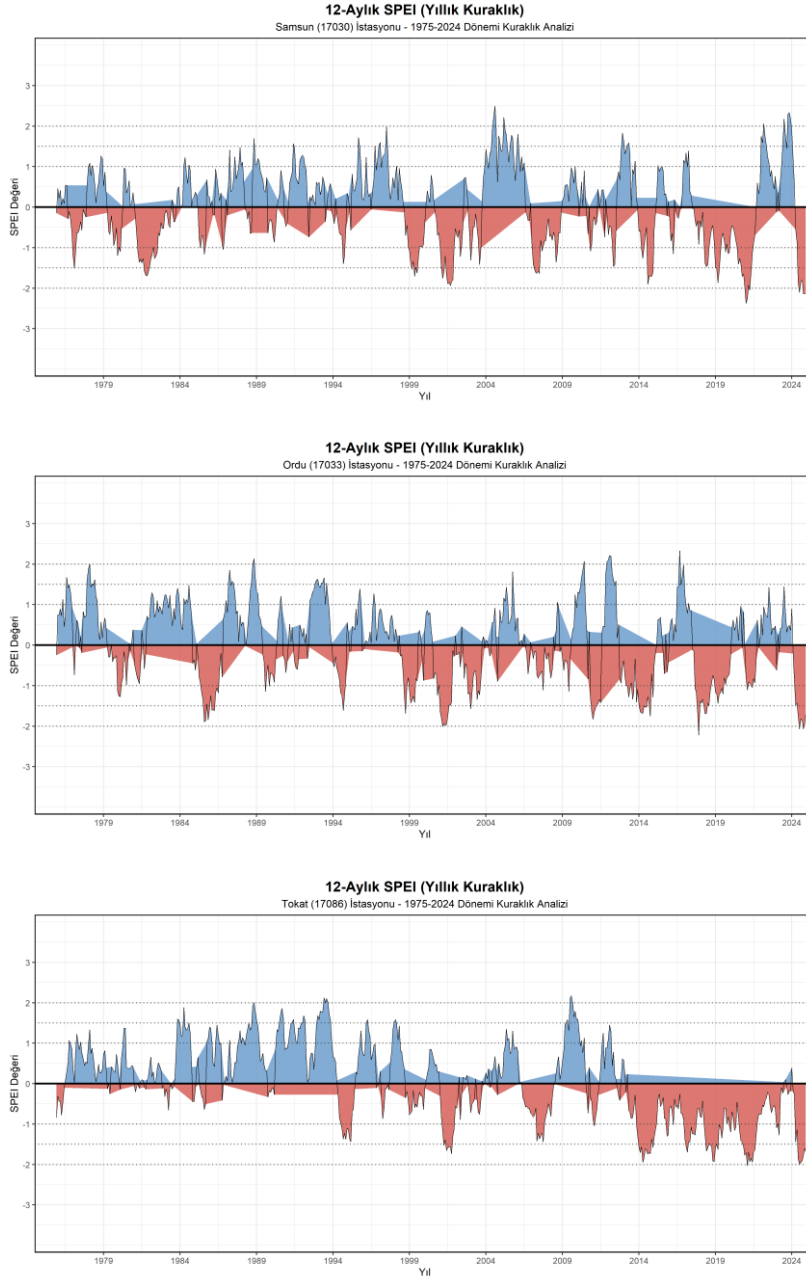
### 3.5.On İki Yıllık Sonuçlar

Samsun SPEI-12 sonuçlarında göre aşırı kuraklık koşulları 2021, 2024, 2025 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-12 değeri 2021 yılı Ocak ayında -2.37 olarak hesaplanmıştır. Aşırı nemli yıllar 2004, 2005, 2022, 2023, 2025 yıllarında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-12 değeri 2004 yılı Ağustos ayında 2.49 olarak hesaplanmıştır.

Ordu SPEI-12 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 2001, 2017, 2024 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-12 değeri 2017 yılı Aralık ayında -2.22 olarak hesaplanmıştır. Aşırı

nemli yıllar 1988, 2010, 2011, 2012, 2016 yıllarında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-12 değeri 2016 yılı Eylül ayında 2.33 olarak hesaplanmıştır.

Tokat SPEI-12 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 2021 yılına gerçekleşmiştir. En düşük SPEI-12 değeri 2021 yılı Şubat ayında -2.03 olarak hesaplanmıştır. Aşırı nemli yıllar 1988, 1993, 2009 yıllarında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-12 değeri 2009 yılı Ağustos ayında 2.18 olarak hesaplanmıştır.



**Görsel 6. Samsun, Ordu, Tokat İstasyonunda Uzun Süreli Kuraklık Koşullarının Zamansal Değişimi:**

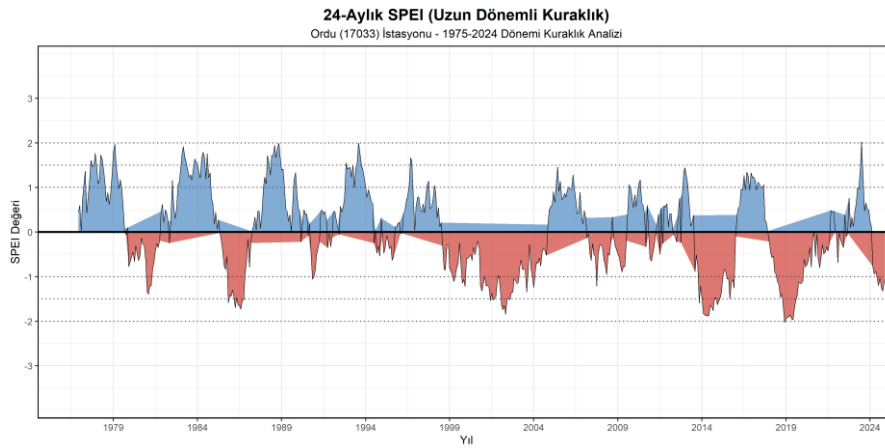
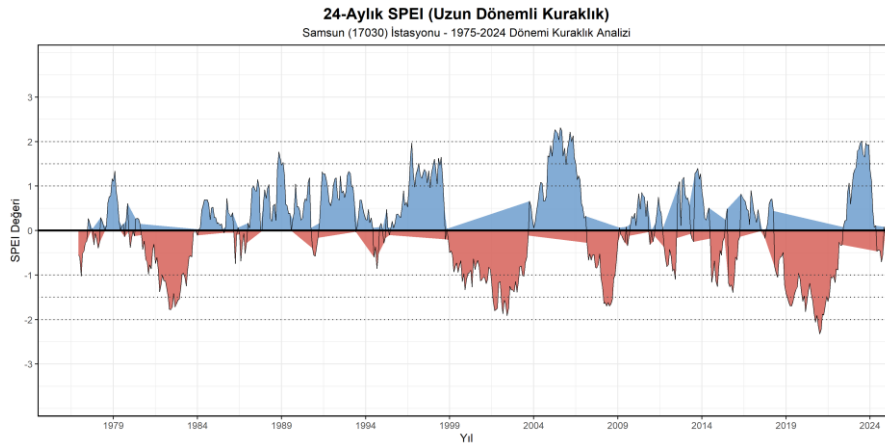
**SPEI-12 (1975–2024)**

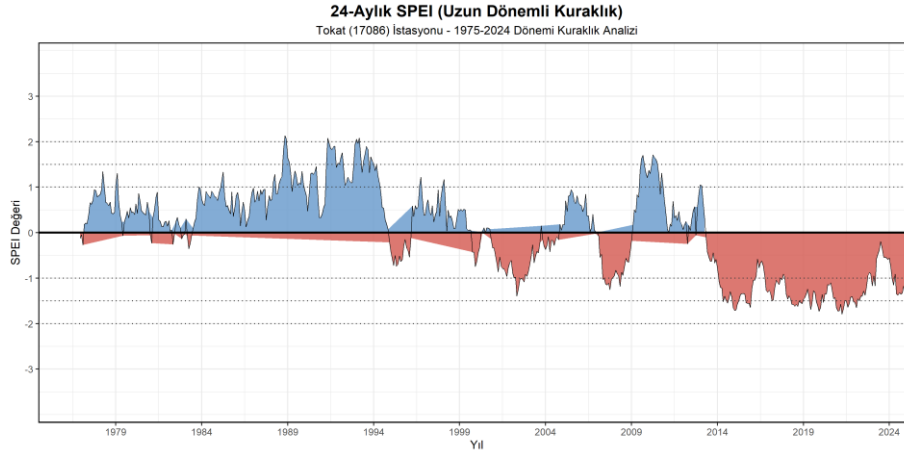
### 3.6.Yirmi Dört Yıllık Sonuçlar

Samsun SPEI-24 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 2020, 2021 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-24 değeri 2021 yılı Ocak ayında -2.32 olarak hesaplanmıştır. Aşırı nemli dönemler 2005, 2006, 2023 yıllarında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-24 değeri 2005 yılı Ağustos ayında 2.31 olarak hesaplanmıştır.

Ordu SPEI-24 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları 2018, 2025 yıllarında tespit edilmiştir. En düşük SPEI-24 değeri 2018 yılı Aralık ayında -2.03 olarak hesaplanmıştır. Aşırı nemli dönem 2023 yılında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-24 değeri Temmuz ayında 2.02 olarak hesaplanmıştır.

Tokat SPEI-24 sonuçlarına göre aşırı kuraklık koşulları yoktur. Aşırı nemli dönemler 1988, 1991, 1993 yıllarında gerçekleşmiş olup en yüksek SPEI-24 değeri 1988 yılı Aralık ayında 2.13 olarak hesaplanmıştır.





**Görsel 7. Samsun, Ordu, Tokat istasyonunda uzun süreli kuraklık koşullarının zamansal değişimi: SPEI-24 (1975–2024)**

#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında Orta Karadeniz Bölgesi'nin iklimsel karakteristiğini temsil eden Samsun, Ordu ve Tokat istasyonlarının 1975-2024 dönemine ait 50 yıllık hidroklimatik verileri, çok zaman ölçekli SPEI yöntemi ile analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, bölgenin kuraklık yapısının sadece meteorolojik bir sapma olmadığını, sıcaklık artışlarıyla tetiklenen birikimli bir su bütçesi krizine dönüştüğünü ortaya koymaktadır.

Araştırma sonuçlarına göre; 1994, 2007, 2014 ve özellikle 2020-2021 yılları, her üç ilde de kuraklığın eş zamanlı olarak "aşırı" seviyelere ulaştığı kriz dönemleri olarak belirlenmiştir. Bu senkronizasyon, kuraklığın yerel bir olaydan ziyade bölgesel bir iklimsel sapmaya dönüştüğünü ispatlamaktadır. Özellikle 2021 yılı, SPEI-12 ve SPEI-24 ölçeklerinde görüldüğü üzere, hem kıyı hem de iç kesimler için son 20 yılın en düşük su bütçesi değerlerini temsil eden bir "kırılma yılı" olmuştur.

Çalışmanın en çarpıcı bulgusu, istasyonlar arasındaki nemli dönemlerin kaybı üzerine gözlemlenen zıtlıktır.

**Kıyı Şeridi (Samsun ve Ordu):** Bu istasyonlarda ekstrem kuraklık periyotlarının ardından ekstrem nemli dönemlerin (Örn: 2023 yılında Ordu'da kaydedilen 3.14'lük SPEI-3 rekoru) yaşanması, kıyı kuşağında iklimsel değişkenliğin arttığını göstermektedir.

**İç Kesim (Tokat):** Tokat istasyonunda uzun vadeli birikimli nemli dönemlerin (SPEI-24) 1988-1993 yılları arasında kalması ve son 30 yıldır benzer bir su kazanımının yaşanmaması, iç kesimlerdeki hidrolojik sistemin kendini yenileme kapasitesini yitirdiğini bilimsel olarak doğrulamaktadır. Tokat'ta kuraklık, "aşırı" şiddetten ziyade "kronik ve kalıcı" bir su açığı formuna bürünmüştür.

Sonuç olarak, geleneksel olarak "nemli" ve "su zengini" kabul edilen Orta Karadeniz kuşağında, artan sıcaklıkların yarattığı evapotranspirasyon baskısı, yağışın sağladığı nem avantajını giderek azaltmaktadır. SPEI analizleri, bölgedeki kuraklık riskinin temel itici gücünün sadece yağış azlığı değil, yükselen sıcaklıklar olduğu saptanmıştır.

Bu bulgular ışığında;

1. Bölgesel tarımsal planlamanın, özellikle Samsun ve Tokat'ta artan ilkbahar/yaz kuraklığı riskine göre revize edilmesi,
2. İç kesimlerde (Tokat) 30 yıldır süregelen birikimli su açığı nedeniyle yeraltı suyu kullanımının stratejik olarak kısıtlanması,
3. Karadeniz kıyı şeridinde dahi uzun vadeli hidrolojik kuraklaşma riskinin ciddiyetle ele alınarak su güvenliği protokollerinin oluşturulması önerilmektedir.

Bu çalışma, Orta Karadeniz'in gelecekteki su yönetimi senaryoları için kapsamlı bir bilimsel altlık sunmakta ve sıcaklık kaynaklı kuraklaşma sinyallerinin ciddiyetini ortaya koymaktadır.

### KAYNAKÇA

- [1] Aktürk, G., Zeybekoğlu, U., ve Yıldız, O. (2022). SPI ve SPEI yöntemleri ile kuraklık araştırması: Kırıkkale örneği. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(2), 762–776.
- [2] Bakanoğullar, F. (2020). Meteorolojik kuraklık indislerinin karşılaştırılması: İstanbul-Büyükçekmece Damlıca deresi havzası örneği. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 39(1), 1–10.
- [3] Gümüş, V. (2023). Assessment of the effect of SPI and SPEI methods in drought monitoring studies across Turkey. *Journal of Hydrology*, 626, Makale 130386. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130386>
- [4] Güner Bacanlı, Ü., ve Akşan, G. N. (2020). Akdeniz Bölgesinde kuraklık analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 665–674.
- [5] IPCC. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.
- [6] McKee, T. B., Doesken, N. J., ve Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22), 179–183.
- [7] Mishra, A. K., ve Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1–2), 202–216.
- [8] Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55–94.
- [9] Trenberth, K. E., Dai, A., van der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., ve Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1), 17–22.

- [10] Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., ve López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718.
- [11] Wilhite, D. A., ve Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10(3), 111–120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>
- [12] Yüce, M. İ., Aksoy, H., Aytek, A., Eşit, M., Uğur, F., Yaşa, İ., Şimşek, A., ve Değer, İ. H. (2022). SPI ve SPEI ile Samsun ili kuraklık analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 1120–1132.
- [13] Yüce, M. İ., ve Eşit, M. (2020). Ceyhan Havzasının Kuraklık Risk Haritasının SPI ve SPEI Metotları ile Belirlenmesi. *Su Kaynakları*, 5(2), 1-8.
- [14] Zeybekoğlu, U. (2022). Spatiotemporal analysis of droughts in Hirfanli Dam basin, Turkey by the standardised precipitation evapotranspiration index (SPEI). *Acta Geophysica*, 70(1), 361–371. <https://doi.org/10.1007/s11600-021-00704-5>

## **NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS ANALYSIS FOR PREDICTING IRREGULAR OSCILLATIONS IN ENGINEERING APPLICATIONS**

**Prof. Dr. Reza Ahmadi, Mohammad Jafari, Fatemeh Karimi**

Faculty of Engineering, Department of Mathematics, University of Tehran, Iran

**Assoc. Prof. Dr. Sara Hosseini, Ali Rezaei**

Faculty of Engineering, Department of Applied Mathematics, Sharif University of  
Technology, Iran

### **ABSTRACT**

This study investigates the use of nonlinear dynamical systems as a mathematical framework for understanding and predicting irregular oscillations in engineering applications. Many engineering processes, including mechanical vibration, electrical circuits, fluid motion, and structural response, exhibit complex time-dependent behavior that cannot be adequately explained by linear models. In this context, nonlinear dynamics offers a more realistic approach for analyzing instability, bifurcation, and chaotic motion.

The study is based on a conceptual and analytical review of nonlinear system theory, with emphasis on differential equations, phase-space behavior, attractor structures, and sensitivity to initial conditions. The discussion highlights how irregular oscillations emerge in systems exposed to external forcing, feedback loops, or parameter variations. It also examines the practical value of mathematical tools such as stability analysis, Lyapunov behavior, and numerical simulation in identifying patterns that may be hidden in conventional time-series observation.

The findings suggest that nonlinear dynamical analysis is especially useful for anticipating failure conditions, improving control strategies, and supporting the design of more reliable engineering systems. Rather than treating oscillation as random disturbance, the approach interprets it as a structured phenomenon governed by underlying mathematical rules. This perspective is valuable in fields such as mechanical engineering, power systems, and industrial automation, where early detection of irregular behavior can prevent performance loss and technical damage.

The study concludes that nonlinear dynamical systems provide an essential theoretical basis for predicting complex oscillatory behavior in engineering. Their application strengthens both diagnostic accuracy and system stability, making them an important tool for future engineering analysis and design.

**Key words:** nonlinear dynamics, irregular oscillations, engineering systems, stability analysis, chaos theory

## **FRACTIONAL CALCULUS MODELS FOR OPTIMIZING HEAT TRANSFER PROCESSES IN INDUSTRIAL SYSTEMS**

**Leila Bahrami**

Faculty of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Iran

### **ABSTRACT**

This paper examines the application of fractional calculus models in optimizing heat transfer processes within industrial systems. Classical heat conduction models often rely on integer-order differential equations, which may not fully represent memory effects, anomalous diffusion, and non-local thermal behavior in complex materials. Fractional calculus provides a flexible mathematical framework that better captures these characteristics and improves the realism of thermal analysis.

The study reviews the theoretical foundations of fractional differential equations and discusses their relevance to engineering heat transfer problems. Particular attention is given to the modeling of thermal processes in composite materials, porous media, and systems with delayed response behavior. The analysis shows that fractional-order models are capable of describing temperature distribution and heat propagation more accurately than standard formulations when material heterogeneity and memory-dependent effects are present.

The paper also emphasizes the practical value of fractional models in industrial settings where energy efficiency, temperature control, and process stability are essential. By using fractional operators, engineers can design more responsive and adaptable thermal systems, especially in manufacturing environments where heat exchange must be carefully regulated. The study argues that such models are not only mathematically sophisticated but also highly relevant for improving performance in real industrial applications.

The findings suggest that fractional calculus can serve as a powerful tool for optimizing heat transfer design and analysis. Its use may contribute to better prediction, improved control, and more efficient energy utilization across a wide range of industrial systems.

**Key words:** fractional calculus, heat transfer, industrial systems, thermal modeling, anomalous diffusion

## **GRAPH THEORY APPLICATIONS IN QATARI SMART CITY NETWORK OPTIMIZATION PROBLEMS**

**Dr. Khalid Al-Mansoori, Fatima Rahman, Noor Saeed**

College of Engineering, Qatar University, Qatar

### **ABSTRACT**

This study explores the application of graph theory to network optimization problems in Qatari smart city planning. As Qatar continues to expand its urban infrastructure and digital governance systems, efficient network design has become central to mobility, service delivery, and spatial coordination. Graph theory provides a structured way to represent and analyze urban systems through nodes, edges, weights, and connectivity patterns.

The paper focuses on the use of graph-based methods in transportation networks, utility systems, communication infrastructure, and spatial service distribution. It explains how graph representation makes it possible to identify bottlenecks, optimize routes, improve connectivity, and evaluate the resilience of urban systems. The analysis further shows that graph theory is especially useful in smart city environments, where data-driven planning requires flexible models capable of handling large and interdependent networks.

The study also discusses the importance of algorithmic tools derived from graph theory, such as shortest path analysis, minimum spanning structures, and flow optimization. These tools support urban planners in improving system efficiency while maintaining scalability and sustainability. In the case of Qatar, where rapid development and smart city ambitions intersect, graph-theoretic approaches can contribute to better integration between technological innovation and urban form.

The findings suggest that graph theory is not only a mathematical abstraction but also a practical framework for solving real planning problems in smart cities. The paper concludes that its use can strengthen Qatar's urban network design and support more efficient, resilient, and sustainable metropolitan systems.

**Key words:** graph theory, smart city, network optimization, urban planning, Qatar

## **STOCHASTIC PROCESSES MODELING FOR FINANCIAL RISK ASSESSMENT IN EMERGING GULF MARKETS**

**Prof. Dr. Ahmed Al-Ketbi, Hana Al-Din, Omar Faisal**

Faculty of Economics and Administrative Sciences, United Arab Emirates University, United Arab Emirates

### **ABSTRACT**

This paper investigates the use of stochastic processes in financial risk assessment within emerging Gulf markets. Financial systems in the Gulf region are increasingly influenced by global capital flows, commodity price fluctuations, and institutional transitions, making risk prediction a critical concern for investors, policymakers, and financial institutions. Stochastic modeling offers a mathematically rigorous way to describe uncertainty, volatility, and dynamic market behavior.

The study reviews the conceptual foundations of stochastic processes and their relevance to financial analysis. It highlights how random motion models, diffusion processes, and probabilistic forecasting can be used to examine asset price variation, market shocks, and uncertainty in investment environments. The discussion also emphasizes the role of stochastic methods in capturing the time-dependent nature of risk more effectively than static financial models.

The findings indicate that stochastic approaches are especially valuable in emerging markets where uncertainty is structurally embedded in market behavior. They allow analysts to better understand volatility clustering, extreme events, and systemic vulnerability. In Gulf markets, such models can support improved portfolio management, regulatory monitoring, and stress testing. The study argues that financial risk assessment should increasingly rely on probabilistic tools that account for dynamic fluctuations rather than assuming stable conditions.

The paper concludes that stochastic processes provide a strong theoretical and practical foundation for financial risk assessment in the Gulf region. Their application can enhance decision-making and contribute to more resilient and adaptive financial systems.

**Key words:** stochastic processes, financial risk, Gulf markets, volatility, uncertainty modeling

## **DIFFERENTIAL EQUATIONS SOLUTIONS FOR POPULATION DYNAMICS IN SENEGALESE ECOSYSTEMS**

**Assoc. Prof. Dr. Amadou Ndiaye, Fatou Sow, Moustapha Diop**

Faculty of Science and Technology, Cheikh Anta Diop University, Senegal

### **ABSTRACT**

This study examines the use of differential equations in modeling population dynamics within Senegalese ecosystems. Population change in ecological systems is influenced by birth rates, mortality, migration, resource availability, and environmental stress. Differential equations offer a valuable framework for representing these interacting forces and for analyzing how populations evolve over time under changing ecological conditions.

The paper reviews the mathematical basis of population models, including growth equations, predator-prey systems, and interaction dynamics among species. It emphasizes how differential equations can capture both stable and unstable behaviors in ecological populations. Through this approach, researchers can examine long-term trends, identify thresholds of ecological imbalance, and better understand the effects of environmental pressure on biodiversity and habitat sustainability.

The study also points out the practical relevance of these models for environmental planning and conservation in Senegal. In ecosystems affected by climate variation, land use change, and human activity, population models can support better resource management and ecological forecasting. The findings suggest that mathematical modeling is useful not only for theoretical ecology but also for practical environmental governance.

The paper concludes that differential equations provide an effective tool for understanding population dynamics in Senegalese ecosystems. Their application contributes to ecological prediction, conservation planning, and the sustainable management of natural resources.

**Key words:** differential equations, population dynamics, Senegalese ecosystems, ecological modeling, conservation

## **NUMERICAL METHODS FOR SOLVING PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS IN COASTAL EROSION STUDIES**

**Dr. Aissatou Diallo, Ibrahima Kane**

Faculty of Science and Technology, University of Saint-Louis, Senegal

### **ABSTRACT**

This research investigates numerical methods for solving partial differential equations in the study of coastal erosion. Coastal erosion is a complex geophysical process shaped by waves, currents, sediment transport, and climate-driven shoreline change. Because these processes are difficult to describe analytically, numerical modeling becomes an essential tool for understanding erosion dynamics and forecasting coastal transformation.

The paper examines the role of finite difference, finite element, and related computational methods in approximating the behavior of partial differential equations used in coastal studies. It discusses how numerical approaches make it possible to simulate shoreline movement, sediment redistribution, and erosion patterns over time. The analysis also emphasizes the importance of model stability, accuracy, and computational efficiency when dealing with real-world coastal environments.

The findings show that numerical methods are particularly useful for coastal zones facing environmental pressure from sea-level rise, storm activity, and human intervention. By combining mathematical modeling with environmental data, researchers can produce more reliable predictions and support coastal planning decisions. The study argues that these tools are important for both scientific understanding and practical risk management.

The paper concludes that numerical methods play a central role in coastal erosion research by translating complex differential equations into usable simulation models. Their continued development is essential for improving prediction, mitigation, and adaptation strategies in vulnerable shoreline regions.

**Key words:** numerical methods, partial differential equations, coastal erosion, shoreline modeling, computational simulation

## **TOPOLOGICAL DATA ANALYSIS FOR ETHIOPIAN AGRICULTURAL CROP YIELD PREDICTION MODELS**

**Prof. Dr. Tadesse Alemu, Meron Getachew, Dawit Yohannes**  
College of Natural Sciences, Addis Ababa University, Ethiopia

### **ABSTRACT**

This study explores the use of topological data analysis in agricultural crop yield prediction models for Ethiopia. Agricultural systems are influenced by a wide range of variables, including rainfall patterns, soil properties, elevation, temperature, and farming practices. Traditional statistical methods may struggle to represent the hidden structure of such complex data, whereas topological data analysis offers a way to reveal patterns, relationships, and geometric features within large datasets.

The paper reviews the conceptual basis of topological data analysis and its relevance for agricultural modeling. It shows how topological methods can help identify meaningful structures in crop-related data, especially when variables interact in non-linear and spatially complex ways. The study also highlights the potential of this approach for improving yield prediction by capturing data shapes that may not be visible through conventional analytical techniques.

The findings suggest that topological analysis can contribute to more robust and interpretable crop yield models for Ethiopian agriculture. In a context where food security and climate variability are major concerns, such models may support better decision-making for farmers, planners, and agricultural researchers. The study argues that data-driven agricultural forecasting should move beyond simple correlation and incorporate more advanced mathematical tools.

The paper concludes that topological data analysis represents a promising framework for agricultural prediction in Ethiopia. Its use can strengthen the understanding of crop dynamics and support more resilient and sustainable agricultural planning.

**Key words:** topological data analysis, crop yield prediction, Ethiopian agriculture, data modeling, agricultural forecasting

## **FUZZY LOGIC SYSTEMS FOR OPTIMIZING WATER RESOURCE MANAGEMENT IN ETHIOPIAN HIGHLANDS**

**Assoc. Prof. Dr. Selamawit Tesfaye, Abel Fikadu, Liya Berhanu**  
Faculty of Water Resource Engineering, Mekelle University, Ethiopia

### **ABSTRACT**

This paper examines fuzzy logic systems as a decision-support tool for optimizing water resource management in the Ethiopian highlands. Water allocation in this region is shaped by seasonal variability, competing user demands, rainfall uncertainty, and limited infrastructure. Because these conditions are often difficult to express through fixed or binary rules, fuzzy logic offers a flexible framework for handling ambiguity and supporting more adaptive planning.

The study discusses the theoretical foundations of fuzzy sets, membership functions, and inference systems, and explains their relevance to water management decisions. It highlights how fuzzy models can integrate qualitative judgments with quantitative data to evaluate competing priorities such as irrigation, domestic supply, and environmental protection. The analysis shows that fuzzy systems are particularly useful in areas where hydrological information is incomplete or uncertain.

The findings indicate that fuzzy logic can improve decision-making by representing real-world complexity in a more realistic way than rigid numerical models. In the Ethiopian highlands, this can support reservoir operation, allocation planning, drought response, and equitable distribution of water resources. The study argues that effective water governance requires tools that can adapt to uncertainty while remaining understandable to planners and local stakeholders.

The paper concludes that fuzzy logic systems offer a valuable approach to water resource management in environmentally and socially complex settings. Their use can contribute to more balanced, transparent, and sustainable water decisions.

**Key words:** fuzzy logic, water resource management, Ethiopian highlands, decision support, uncertainty

## COMBINATORIAL OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR ETHIOPIAN TRANSPORTATION NETWORK DESIGN

**Dr. Fitsum Assefa, Nigusie Belay, Eyerusalem Tadesse**

Faculty of Computer Science and Engineering, Addis Ababa Institute of Technology, Ethiopia

### ABSTRACT

This study investigates combinatorial optimization algorithms for transportation network design in Ethiopia. Transportation systems are essential for regional connectivity, economic integration, and access to services, yet they often face challenges related to route inefficiency, uneven infrastructure distribution, and increasing demand. Combinatorial optimization provides a mathematical framework for designing more efficient, cost-effective, and resilient transportation networks.

The paper reviews major optimization methods such as network flow models, shortest path procedures, and location-allocation strategies, explaining their usefulness in transportation planning. It emphasizes that combinatorial approaches are particularly suited to complex network problems where multiple constraints, competing objectives, and spatial dependencies must be considered simultaneously. The study also discusses the role of algorithmic decision-making in improving route selection, hub placement, and service coverage.

The findings show that optimization algorithms can help planners reduce congestion, improve accessibility, and allocate transportation resources more effectively. In the Ethiopian context, such tools are valuable for supporting national development goals, especially in regions where infrastructure expansion must be carefully prioritized. The paper argues that transportation design should be guided not only by engineering requirements but also by broader economic and social considerations.

The study concludes that combinatorial optimization offers a strong analytical basis for transportation network planning in Ethiopia. Its application can enhance system efficiency, improve connectivity, and support sustainable infrastructure development.

**Key words:** combinatorial optimization, transportation networks, Ethiopia, network design, algorithmic planning

## **DEEP LEARNING MODELS FOR PERSIAN HANDWRITING RECOGNITION IN HISTORICAL ARCHIVES**

**Prof. Dr. Reza Jalali, Soraya Mahmoudi, Ali Karimi, Fatemeh Hosseini**

Faculty of Computer Engineering and Information Technology, University of Tehran, Iran

### **ABSTRACT**

This study examines the application of deep learning models to Persian handwriting recognition in historical archives, with a particular emphasis on improving the accessibility, preservation, and analysis of manuscript collections. Persian archival materials contain a rich cultural and linguistic heritage, yet their handwritten nature, stylistic variation, and physical deterioration create substantial barriers to traditional transcription methods. The research investigates how modern recognition systems can support scholars in reading, classifying, and digitizing archival documents more efficiently and accurately.

The study is based on a conceptual and methodological review of deep learning approaches commonly used in handwritten text recognition, including convolutional and recurrent neural network structures, as well as more recent attention-based architectures. It discusses the specific challenges of Persian script, such as contextual letter shaping, ligatures, variation in penmanship, and degradation in historical documents. The findings show that deep learning methods are particularly valuable in handling these complexities because they can learn visual patterns directly from data and adapt to non-standardized writing styles.

The paper also emphasizes the importance of training data quality, model generalization, and domain adaptation when working with archival manuscripts. It argues that successful recognition systems require a balance between technical performance and historical sensitivity, since preservation contexts demand both accuracy and interpretability. The study concludes that deep learning offers strong potential for transforming Persian manuscript processing, supporting digital humanities research, and expanding access to archival knowledge. By linking computational methods with cultural heritage preservation, this research highlights a promising direction for future work in document analysis and historical scholarship.

**Key words:** deep learning, Persian handwriting, archival documents, text recognition, digital humanities

## **FEDERATED LEARNING FRAMEWORKS FOR PRIVACY-PRESERVING MEDICAL IMAGE ANALYSIS IN IRAN**

**Assoc. Prof. Dr. Hassan Tavakoli, Leila Ahmadi, Mohammad Rezaei**  
Faculty of Biomedical Engineering, Sharif University of Technology, Iran

### **ABSTRACT**

This paper explores federated learning frameworks for privacy-preserving medical image analysis in Iran, where the need for advanced artificial intelligence tools increasingly intersects with strict concerns about patient confidentiality and data security. Medical imaging plays a central role in diagnosis and clinical decision-making, but the centralized collection of hospital data often raises legal, ethical, and technical challenges. Federated learning offers an alternative approach by allowing model training across distributed institutions without transferring raw patient data to a central server.

The study reviews the conceptual foundations of federated learning and its relevance to medical imaging applications such as radiology, pathology, and diagnostic screening. It discusses how this approach can support collaboration among hospitals while maintaining the privacy of sensitive information. The analysis also highlights major implementation issues, including heterogeneity across datasets, communication costs, network reliability, and model convergence in medically diverse settings. These factors are particularly relevant in Iran, where healthcare institutions vary widely in technical capacity and infrastructure.

The findings suggest that federated learning can strengthen both medical innovation and ethical compliance when it is supported by robust governance, transparent protocols, and interoperable systems. The paper argues that such frameworks are especially valuable for building national-scale AI tools in healthcare without compromising patient trust. It concludes that privacy-preserving machine learning can contribute to more equitable access to advanced diagnostics, provided that technical development is accompanied by regulatory clarity and institutional coordination. The study positions federated learning as an important direction for the future of medical AI in contexts where data protection remains a core priority.

**Key words:** federated learning, medical imaging, privacy preservation, healthcare AI, Iran

## **AI-DRIVEN TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEMS FOR DOHA SMART CITY INFRASTRUCTURE**

**Dr. Khalid Al-Mansoori, Fatima Rahman, Noor Al-Hashimi**

Faculty of Engineering, Qatar University, Qatar

### **ABSTRACT**

This study investigates AI-driven traffic management systems as a strategic component of smart city infrastructure in Doha. As urban mobility becomes increasingly complex due to population growth, private vehicle dependence, and expanding metropolitan activity, traffic congestion has emerged as a major challenge for sustainable urban development. The research examines how artificial intelligence can improve traffic flow, reduce delays, and support more responsive urban transport management in a rapidly developing Gulf city.

The paper draws on smart city planning literature, urban transport studies, and recent developments in machine learning-based mobility systems. It highlights the potential of AI tools to process real-time traffic data, predict congestion patterns, and optimize signal timing across key urban corridors. The findings suggest that intelligent transport systems can improve operational efficiency while also contributing to environmental sustainability through reduced fuel consumption and lower emissions. In addition, AI-based systems can support emergency routing, public transport coordination, and adaptive traffic control in complex urban environments.

The study also considers the institutional and technical conditions necessary for effective implementation. It argues that successful adoption depends on integrated data platforms, reliable sensor networks, inter-agency cooperation, and long-term urban planning vision. In Doha, smart traffic management should be embedded within broader development strategies that connect mobility with digital governance and quality of life. The research concludes that AI-based traffic systems offer significant promise for improving infrastructure performance and supporting the smart city goals of the Qatari urban agenda.

**Key words:** artificial intelligence, traffic management, smart city, Doha, urban mobility

## **NATURAL LANGUAGE PROCESSING FOR ARABIC DIALECT SENTIMENT ANALYSIS IN QATAR**

**Prof. Dr. Ahmed Al-Ketbi, Sara Hassan, Omar Salem**

Faculty of Computing and Information Technology, University of Qatar, Qatar

### **ABSTRACT**

This study explores the use of natural language processing for Arabic dialect sentiment analysis in Qatar, where linguistic variation creates major challenges for automated text interpretation. Social media, public communication, and digital platforms in the region are characterized by frequent shifts between standard Arabic and local dialect forms, making sentiment detection more complex than in monolingual or standardized contexts. The research examines how NLP methods can be adapted to better capture opinion, emotion, and stance in dialect-rich Arabic data.

The paper reviews current approaches in text preprocessing, tokenization, classification, and language modeling, with particular attention to dialect identification and semantic ambiguity. It discusses the advantages and limitations of machine learning and deep learning techniques for analyzing user-generated content in Qatari Arabic. The findings indicate that sentiment models perform more effectively when they are trained with dialect-specific data and supported by culturally informed linguistic resources. The study also highlights the importance of handling code-switching, informal spelling, and context-dependent expressions that are common in digital Arabic communication.

The research argues that Arabic dialect sentiment analysis has practical value for public opinion studies, service evaluation, media monitoring, and policy analysis. It concludes that NLP systems must be designed with regional linguistic diversity in mind if they are to provide accurate and meaningful results. In the Qatari context, such tools can contribute to more responsive digital governance and more nuanced understanding of online discourse.

**Key words:** natural language processing, sentiment analysis, Arabic dialects, Qatar, computational linguistics

## **MACHINE LEARNING APPLICATIONS FOR CROP YIELD PREDICTION IN SENEGALESE PEANUT FARMS**

**Assoc. Prof. Dr. Awa Diop, Mamadou Ndiaye, Fatou Sow**  
Faculty of Agriculture, Cheikh Anta Diop University, Senegal

### **ABSTRACT**

This study examines the application of machine learning techniques for crop yield prediction in Senegalese peanut farms, where agricultural planning depends heavily on climate variability, soil conditions, and cultivation practices. Peanut production remains an essential part of rural livelihoods and national agricultural output, yet yield uncertainty continues to limit farm-level decision-making and broader food system stability. The research explores how data-driven forecasting models can improve prediction accuracy and support better agricultural management.

The paper draws on agricultural informatics literature, precision farming studies, and recent machine learning applications in crop science. It focuses on how variables such as rainfall patterns, temperature, soil quality, and planting practices can be integrated into predictive frameworks. The findings suggest that machine learning models can provide more adaptive and context-sensitive yield estimates than conventional linear approaches, especially when historical and environmental data are combined. The study also emphasizes the importance of data quality, feature selection, and local calibration in improving model reliability.

The research argues that crop prediction systems are most useful when they are embedded in practical farming support structures, including extension services, advisory platforms, and climate monitoring tools. In the Senegalese context, such systems may help farmers plan inputs more efficiently and reduce vulnerability to uncertainty. The study concludes that machine learning offers a strong methodological basis for improving agricultural forecasting and strengthening the resilience of peanut-based farming systems in West Africa.

**Key words:** machine learning, crop yield prediction, peanut farming, Senegal, precision agriculture

## **COMPUTER VISION SYSTEMS FOR WILDLIFE MONITORING IN SENEGAL NATIONAL PARKS**

**Dr. Cheikh Thiam, Aminata Diallo, Ibrahima Ba**

Institute of Environmental Sciences, University of Dakar, Senegal

### **ABSTRACT**

This study investigates the use of computer vision systems for wildlife monitoring in Senegal national parks, where biodiversity protection depends on efficient observation, species identification, and habitat management. Traditional monitoring methods are often labor-intensive and limited in scale, while automated visual analysis offers new opportunities for conservation research and environmental governance. The paper explores how computer vision can support the detection, classification, and tracking of wildlife in protected ecosystems.

The study reviews current developments in image recognition, object detection, and automated ecological monitoring. It highlights the potential of camera traps, drone imagery, and video analytics in improving conservation practices. The findings indicate that computer vision can enhance the consistency and reach of wildlife observation, especially in large or difficult-to-access park areas. It also supports the early identification of species movement, population changes, and human-animal conflict risks. However, the study notes that technical accuracy depends on image quality, training data diversity, and adaptation to environmental conditions such as lighting, vegetation, and motion.

The research argues that computer vision should be considered part of a broader conservation strategy rather than a standalone solution. Effective implementation requires collaboration between ecologists, park authorities, and data scientists. The study concludes that automated visual monitoring can strengthen biodiversity management in Senegal by improving scientific evidence, supporting protective action, and reducing the cost of long-term ecological surveillance.

**Key words:** computer vision, wildlife monitoring, Senegal, biodiversity conservation, image recognition

## **AI-ENABLED EARLY WARNING SYSTEMS FOR LOCUST SWARMS IN ETHIOPIAN AGRICULTURE**

**Prof. Dr. Tadesse Alemu, Eleni Getachew, Dawit Yohannes**  
Faculty of Agricultural Sciences, Addis Ababa University, Ethiopia

### **ABSTRACT**

This study examines AI-enabled early warning systems for locust swarm prediction in Ethiopian agriculture, where pest outbreaks pose serious threats to crop productivity and rural livelihoods. Locust invasions can spread rapidly across large areas, making timely detection and response essential for minimizing agricultural damage. The research explores how artificial intelligence can improve forecasting, monitoring, and decision support in pest management systems.

The paper reviews current methods in remote sensing, environmental modeling, and predictive analytics, with a focus on their application to locust surveillance. It highlights how satellite data, weather variables, and land conditions can be combined to identify risk patterns and anticipate swarm movement. The findings suggest that AI-based systems can improve early warning capacity by processing large environmental datasets more quickly and identifying patterns that may be difficult to detect through traditional observation methods. Such systems can assist agricultural agencies in planning interventions and reducing crop loss.

The study also emphasizes the importance of institutional coordination, reliable data pipelines, and user-friendly alert mechanisms. It argues that early warning tools must be integrated with local extension services and emergency response systems to be effective in practice. The paper concludes that AI-supported locust monitoring offers an important opportunity for strengthening agricultural resilience in Ethiopia and enhancing preparedness against climate-sensitive pest threats.

**Key words:** artificial intelligence, locust warning, Ethiopian agriculture, pest prediction, remote sensing

## **DEEP REINFORCEMENT LEARNING FOR ENERGY OPTIMIZATION IN ETHIOPIAN RURAL MICROGRIDS**

**Assoc. Prof. Dr. Selamawit Berhanu, Meron Tesfaye, Abel Girma**

Faculty of Electrical and Computer Engineering, Jimma University, Ethiopia

### **ABSTRACT**

This study explores deep reinforcement learning for energy optimization in Ethiopian rural microgrids, where limited grid access and unstable power supply continue to constrain social and economic development. Rural microgrids play an increasingly important role in expanding electrification, but their performance depends on efficient energy distribution, storage management, and demand balancing. The research investigates how adaptive learning algorithms can improve operational efficiency and system reliability in decentralized energy networks.

The paper reviews the foundations of reinforcement learning and its relevance to microgrid control. It focuses on the ability of deep learning agents to respond to changing energy demand, renewable generation variability, and battery storage constraints in real time. The findings suggest that reinforcement learning offers a flexible approach to optimizing power allocation while reducing waste and enhancing service continuity. It is particularly useful in settings where conventional rule-based control systems struggle to adapt to unpredictable consumption patterns.

The study also considers implementation challenges such as data availability, system complexity, and the need for robust simulation environments. It argues that successful adoption requires close collaboration between engineers, energy planners, and local stakeholders. The paper concludes that deep reinforcement learning can contribute meaningfully to sustainable energy access in rural Ethiopia by supporting smarter microgrid management and improving the long-term viability of decentralized electricity systems.

**Key words:** deep reinforcement learning, microgrids, energy optimization, rural electrification, Ethiopia

## **EARTHQUAKE-RESISTANT MASONRY STRUCTURES USING LOCAL EGYPTIAN CLAY BRICKS**

**Prof. Dr. Ahmed El-Sayed, Fatima Karim, Omar Hassan, Layla Mahmoud**  
Faculty of Engineering, Cairo University, Egypt

### **ABSTRACT**

This study investigates the structural performance of earthquake-resistant masonry systems constructed with locally produced Egyptian clay bricks. In seismic regions, masonry buildings remain highly vulnerable because of brittle material behavior, poor workmanship, and insufficient confinement. The research explores how traditional brick-based construction can be improved through more suitable structural detailing, better material selection, and design strategies that respond to local seismic conditions while remaining affordable for widespread use.

The study is based on a review of architectural and civil engineering literature, with attention to seismic design principles for unreinforced and partially reinforced masonry. It examines the properties of local clay bricks in relation to strength, durability, and compatibility with mortar systems. The analysis also considers how wall geometry, structural bonding, roof connections, and reinforcement placement influence overall stability during earthquake events. The findings suggest that locally sourced clay bricks can be used effectively in safer masonry systems when combined with proper structural confinement and regular load paths.

The paper emphasizes that earthquake resistance is not achieved only through stronger materials, but through integrated design thinking that links construction practice with hazard awareness. It argues that Egyptian masonry architecture can remain locally grounded while adopting modern safety principles. Such an approach is particularly important for low-rise housing in areas where access to advanced building systems is limited. The study concludes that improved masonry design using local bricks offers a practical path toward safer and more resilient housing, especially when supported by technical guidance, building regulations, and community training.

**Key words:** earthquake-resistant masonry, clay bricks, seismic design, local materials, resilient construction

## **SUSTAINABLE CONCRETE MIX DESIGNS INCORPORATING NILE RIVER SEDIMENT WASTE**

**Assoc. Prof. Dr. Nadia Abdelrahman, Mohamed Salem, Sara El-Gendy**  
Faculty of Civil Engineering, Ain Shams University, Egypt

### **ABSTRACT**

This study examines sustainable concrete mix designs incorporating Nile River sediment waste as a partial replacement material in construction applications. Growing environmental concerns and the need to reduce dependence on natural aggregates have encouraged research into alternative materials that can support both structural performance and ecological responsibility. The research focuses on the potential of sediment waste to contribute to concrete sustainability without compromising strength, durability, or workability.

The study reviews the physical and chemical characteristics of river sediment waste and evaluates its suitability for use in concrete production. It highlights how such materials may improve resource efficiency by reducing the extraction of virgin aggregates and by providing productive use for waste accumulated along river systems. The analysis also discusses the importance of particle gradation, impurity control, and mix proportioning in ensuring stable and durable concrete performance. The findings indicate that properly processed sediment waste can support environmentally responsible concrete development, particularly in non-structural and semi-structural applications.

The paper argues that sustainable concrete design should be understood as both a technical and environmental issue. In the context of Egypt, the use of Nile sediment waste represents an opportunity to connect construction innovation with ecological management and circular economy principles. The study concludes that future concrete research should continue to examine locally available waste materials as part of broader strategies for reducing carbon intensity, managing natural resources, and promoting sustainable infrastructure development.

**Key words:** sustainable concrete, sediment waste, Nile River, alternative aggregates, eco-friendly construction

## **BAUGUARD PRE-STRESSED CONCRETE BEAMS FOR HIGHWAY BRIDGE CONSTRUCTION IN INDIA**

**Dr. Rajesh Kumar, Priya Sharma, Vikram Singh**

Faculty of Engineering and Technology, Indian Institute of Technology Delhi, India

### **ABSTRACT**

This research explores the structural use of Bauguard pre-stressed concrete beams in highway bridge construction in India. As bridge networks expand across diverse terrains and traffic conditions, the demand for reliable, durable, and cost-effective structural systems continues to increase. The study examines how pre-stressed beam technology can improve bridge performance by increasing load-bearing capacity, controlling deflection, and enhancing long-term service life.

The paper is based on a review of bridge engineering literature and structural design principles, with attention to the performance of pre-stressed concrete under traffic loading and environmental exposure. It discusses the advantages of Bauguard beam systems in relation to crack resistance, span efficiency, and maintenance reduction. The findings suggest that pre-stressed beams are especially valuable in highway bridges where structural safety, construction speed, and durability are essential. The study also considers how standardization and quality control influence the reliability of beam production and installation.

The research argues that highway bridge design in India must respond to both engineering requirements and infrastructural pressures. Pre-stressed concrete beams offer a practical solution for improving bridge construction efficiency while meeting safety expectations in rapidly developing transport systems. The paper concludes that greater use of well-designed pre-stressed beam systems can support stronger bridge infrastructure, reduce repair needs, and contribute to more sustainable transportation development.

**Key words:** pre-stressed concrete, highway bridges, structural efficiency, durability, bridge construction

## **BAMBOO-REINFORCED LIGHTWEIGHT CONCRETE PANELS FOR RURAL HOUSING PROJECTS**

**Prof. Dr. Sanjay Patel, Anjali Desai, Rohan Mehra**

Faculty of Architecture and Planning, University of Mumbai, India

### **ABSTRACT**

This study examines bamboo-reinforced lightweight concrete panels as a sustainable building solution for rural housing projects. In many developing regions, affordable construction remains a major challenge due to material costs, limited infrastructure, and the need for housing systems that are both practical and environmentally responsible. The research explores how bamboo reinforcement can improve the performance of lightweight concrete panels while supporting local resource use and reducing construction burden.

The paper draws on building material literature and rural housing studies to assess the potential of bamboo as a reinforcement element in panel systems. It considers bamboo's strength, flexibility, availability, and compatibility with lightweight concrete mixtures. The findings suggest that bamboo-reinforced panels can offer useful thermal performance, lower structural weight, and improved adaptability for low-rise housing. The study also highlights the importance of treatment methods, moisture resistance, and connection details in ensuring long-term durability.

The research argues that rural housing should not be viewed only through the lens of low-cost construction, but as an opportunity to develop context-sensitive and sustainable building systems. Bamboo-reinforced lightweight panels may contribute to faster construction, reduced material consumption, and greater environmental balance when properly designed. The study concludes that this material system has strong potential for housing projects seeking an effective combination of affordability, sustainability, and structural practicality.

**Key words:** bamboo reinforcement, lightweight concrete, rural housing, sustainable materials, panel systems

## **COASTAL EROSION DEFENSE SYSTEMS USING GEOTEXTILE TUBES IN TIRANA REGION**

**Assoc. Prof. Dr. Arben Hoxha, Elsa Deda, Liridon Gashi**

Faculty of Civil Engineering, Polytechnic University of Tirana, Albania

### **ABSTRACT**

This paper investigates the use of geotextile tube systems as a protective strategy against coastal erosion in the Tirana region. Coastal areas are increasingly exposed to shoreline retreat, wave action, and sediment loss, all of which threaten infrastructure, ecosystems, and local livelihoods. The study examines how geotextile tubes can serve as flexible and adaptive defense systems in response to these environmental pressures.

The research is based on a review of coastal engineering literature and shoreline protection approaches, with emphasis on the physical behavior of geotextile structures in erosion-prone settings. It discusses their role in wave energy reduction, sediment stabilization, and shoreline reinforcement. The findings indicate that geotextile tube systems can be effective where hard engineering solutions may be too expensive, visually intrusive, or environmentally disruptive. Their adaptability and relative ease of installation make them suitable for transitional coastal landscapes.

The paper also notes that erosion defense should be integrated with broader coastal management planning rather than treated as an isolated intervention. In the Tirana region, geotextile tubes may contribute to protecting vulnerable coastlines while allowing space for ecological processes and long-term adaptation. The study concludes that such systems offer a promising approach to sustainable coastal protection when combined with regular monitoring, maintenance, and site-specific design.

**Key words:** coastal erosion, geotextile tubes, shoreline protection, Tirana region, coastal engineering

## **DEEP FOUNDATION DESIGN OPTIMIZATION FOR TIRANA HIGH-RISE DEVELOPMENTS**

**Dr. Fatmir Llagami, Mirela Vaso, Endrit Koci**

Faculty of Civil Engineering, University of Tirana, Albania

### **ABSTRACT**

This study focuses on the optimization of deep foundation design for high-rise developments in Tirana. As the city continues to grow vertically, foundation systems must respond to complex soil conditions, high structural loads, and increasing demands for safety and efficiency. The research examines how deep foundation design can be improved to support tall buildings in an urban context characterized by dense construction and variable ground conditions.

The paper reviews foundation engineering literature and discusses the factors that influence deep foundation performance, including soil bearing capacity, settlement control, load transfer, and structural interaction. It highlights the importance of selecting appropriate foundation systems such as piles, drilled shafts, and combined support methods based on site conditions. The findings suggest that careful geotechnical assessment and structural coordination are essential for minimizing risks and improving long-term building stability.

The study argues that foundation optimization is a critical part of sustainable high-rise development, as it affects both construction cost and structural reliability. In Tirana, efficient foundation design can help support urban densification while reducing unnecessary material use and technical risk. The paper concludes that deep foundation systems should be planned through integrated geotechnical and structural analysis to ensure safer and more resilient vertical development.

**Key words:** deep foundations, high-rise buildings, Tirana, geotechnical design, structural optimization

## **SEISMIC RETROFITTING TECHNIQUES FOR EARTHQUAKE-PRONE MOUNTAIN BUILDINGS IN TAJIKISTAN**

**Prof. Dr. Farrukh Rahmonov, Dilnoza Ubaidullaeva, Jamshed Mirzayev, Sherzod  
Karimov**

Faculty of Civil Engineering, Tajik Technical University, Tajikistan

### **ABSTRACT**

This study examines seismic retrofitting techniques for earthquake-prone mountain buildings in Tajikistan, where steep terrain, traditional construction practices, and strong seismic activity combine to create substantial structural vulnerability. Many mountain settlements rely on masonry and stone-based buildings that were developed for climatic comfort rather than earthquake resistance. As a result, the preservation and upgrading of existing structures have become essential for protecting both lives and cultural heritage. The study explores how retrofitting can strengthen these buildings without undermining their architectural identity or functional use.

The research is based on a review of seismic design literature, mountain construction studies, and building reinforcement strategies used in similar high-risk regions. It highlights the importance of lightweight reinforcement, wall strengthening, flexible structural connections, and roof improvement as key principles for safer retrofitting. The analysis also considers the need to adapt intervention methods to local materials, labor skills, and economic constraints. The findings indicate that successful retrofitting in mountainous areas depends on solutions that are technically effective yet simple enough to be applied in remote settlements.

The study argues that seismic resilience should be approached as both a technical and a social priority. In Tajikistan, retrofitting strategies must respect traditional forms while increasing safety and long-term durability. The paper concludes that a combination of engineering guidance, community training, and policy support is needed to protect vulnerable mountain buildings and to promote sustainable rural development in earthquake-sensitive regions.

**Key words:** seismic retrofitting, mountain buildings, earthquake resilience, Tajikistan, masonry structures

## **SUSTAINABLE HYDROPOWER DAM CONSTRUCTION MATERIALS FOR PAMIR REGION PROJECTS**

**Assoc. Prof. Dr. Nigora Saidova, Azizullo Nazarov, Gulnoz Boboeva**  
Faculty of Hydropower Engineering, Tajik National University, Tajikistan

### **ABSTRACT**

This paper investigates sustainable construction materials for hydropower dam projects in the Pamir region, where extreme altitude, harsh climate, and difficult access conditions place special demands on infrastructure development. Hydropower remains a major strategic resource in mountainous Tajikistan, but the long-term performance of dams depends heavily on material durability, environmental compatibility, and construction feasibility under remote site conditions. The study examines how sustainable material choices can support both engineering reliability and ecological responsibility.

The research draws on hydropower engineering literature, sustainable materials studies, and mountain infrastructure planning. It focuses on locally available aggregates, high-performance concrete, corrosion-resistant reinforcement, and low-impact construction solutions suited to the Pamir environment. The analysis suggests that material selection should account not only for structural strength but also for transport difficulty, freeze-thaw resistance, and long-term maintenance requirements. The findings show that sustainable dam construction depends on a balance between technical quality, cost efficiency, and environmental sensitivity.

The paper argues that hydropower development in the Pamir region should be guided by a material strategy that reduces dependence on imported products while improving local capacity. It also emphasizes the need for life-cycle thinking in design and construction, since remote dam sites require solutions that remain stable under severe climatic stress. The study concludes that sustainable materials can strengthen hydropower resilience, support regional energy independence, and contribute to broader development goals in mountain areas.

**Key words:** hydropower dams, sustainable materials, Pamir region, mountain engineering, concrete durability

## **LOW-COST CONCRETE MIX DESIGNS FOR RURAL INFRASTRUCTURE IN PAKISTANI FLOOD ZONES**

**Dr. Imran Khalid, Ayesha Rehman, Bilal Aslam, Sana Butt**

Faculty of Civil and Environmental Engineering, University of Engineering and Technology,  
Pakistan

### **ABSTRACT**

This study explores low-cost concrete mix designs for rural infrastructure in Pakistani flood zones, where repeated inundation, weak foundation conditions, and limited financial resources make durable construction difficult. Rural roads, culverts, low-rise buildings, and small drainage structures often deteriorate quickly because conventional mixes are not well adapted to local environmental and economic conditions. The research examines how modified concrete formulations can improve performance while remaining affordable for large-scale rural use.

The paper reviews concrete technology literature, flood-resilient construction practices, and material optimization studies relevant to developing contexts. It emphasizes the use of locally available materials, appropriate water-cement balance, supplementary mineral additives, and mix proportioning methods that enhance workability and resistance to moisture-related damage. The analysis also highlights the importance of practical construction methods that can be implemented by local labor without complex equipment.

The findings suggest that low-cost concrete should be understood not simply as cheaper material, but as a design approach that supports resilience, maintainability, and resource efficiency. In flood-prone rural Pakistan, infrastructure must withstand repeated exposure to water while remaining economically accessible to municipalities and communities. The study concludes that carefully designed concrete mixes can support more durable rural infrastructure, reduce repair costs, and improve the long-term reliability of public works in vulnerable flood regions.

**Key words:** low-cost concrete, rural infrastructure, flood zones, Pakistan, durable construction

## **FIBER-REINFORCED POLYMER APPLICATIONS IN KARACHI BRIDGE REHABILITATION**

**Prof. Dr. Faisal Naeem, Zainab Qureshi, Omar Siddiqui**

Faculty of Civil Engineering, NED University of Engineering and Technology, Pakistan

### **ABSTRACT**

This study examines the use of fiber-reinforced polymer materials in bridge rehabilitation projects in Karachi, where aging infrastructure, heavy traffic, and environmental exposure have increased the need for efficient strengthening techniques. Many bridges in the city require repair or upgrading, but traditional rehabilitation methods can be disruptive, costly, and time-consuming. The research investigates how fiber-reinforced polymers can offer a practical alternative for improving structural performance while minimizing construction interruption.

The paper is based on a review of bridge rehabilitation literature and advanced strengthening techniques, with particular attention to material behavior, bond performance, and durability in coastal urban conditions. It highlights the advantages of fiber-reinforced polymers, including high strength-to-weight ratio, corrosion resistance, and ease of application to existing concrete members. The findings indicate that these materials are especially suitable for bridge environments exposed to moisture, traffic vibration, and long-term wear.

The study also discusses implementation challenges, including workmanship quality, surface preparation, and cost considerations. It argues that successful rehabilitation depends on matching the material system to structural needs and maintenance capacity. In Karachi, where infrastructure resilience is increasingly important, fiber-reinforced polymer applications can support longer service life and better asset management. The study concludes that this technology offers a strong foundation for modern bridge rehabilitation strategies in densely populated and climate-stressed urban settings.

**Key words:** fiber-reinforced polymer, bridge rehabilitation, Karachi, structural strengthening, infrastructure durability

## **EARTHQUAKE-RESISTANT MASONRY STRUCTURES FOR TBILISI HISTORIC DISTRICTS**

**Assoc. Prof. Dr. Giorgi Tsiklauri, Nino Chikhradze, Levan Beridze, Mariam Kapanadze**  
Faculty of Architecture, Tbilisi State University, Georgia

### **ABSTRACT**

This paper investigates earthquake-resistant masonry structures in the historic districts of Tbilisi, where architectural heritage and seismic vulnerability intersect. Many buildings in the old urban fabric were constructed before modern seismic standards and therefore require special strategies to ensure safety without compromising cultural value. The study examines how masonry structures can be strengthened through sensitive interventions that respect historical character while improving structural reliability.

The research draws on literature related to seismic retrofitting, heritage conservation, and masonry engineering. It emphasizes compatible reinforcement methods, improved wall connections, diaphragm strengthening, and careful restoration planning as key principles for historic districts. The analysis suggests that interventions must be reversible where possible and visually unobtrusive, since preservation considerations are central in historic environments. The findings indicate that successful seismic safety in heritage areas depends on collaboration between engineers, conservation specialists, and urban authorities.

The study argues that Tbilisi's historic districts require a balanced approach in which protection of life and protection of heritage are treated together rather than as competing goals. It concludes that earthquake-resistant masonry solutions should support both structural performance and cultural continuity. Such an approach can help safeguard historic urban identity while reducing disaster risk in one of the city's most valuable and vulnerable areas.

**Key words:** earthquake-resistant masonry, historic districts, Tbilisi, seismic heritage, structural conservation

## **BASE ISOLATION SYSTEMS DEVELOPMENT FOR BLACK SEA COASTAL HIGH-RISES IN BATUMI**

**Dr. Irakli Lomidze, Tamar Gelashvili, Lasha Kvernadze**

Faculty of Civil Engineering and Architecture, Batumi Shota Rustaveli State University,  
Georgia

### **ABSTRACT**

This study examines the development of base isolation systems for coastal high-rise buildings in Batumi, where seismic vulnerability and rapid vertical urban growth create important design challenges. As the city expands along the Black Sea coast, high-rise structures must respond not only to earthquake risk but also to wind exposure, soil conditions, and long-term durability demands. The research explores how base isolation can improve structural performance while supporting safe and flexible urban development.

The paper is based on a review of earthquake engineering literature, coastal building studies, and performance-based design approaches. It highlights the benefits of base isolation in reducing seismic force transfer, limiting building deformation, and improving occupant safety during earthquakes. The analysis also considers the practical issues of cost, maintenance, and integration with coastal foundation systems. The findings suggest that base isolation is particularly suitable for high-rise development in cities that combine dense construction with significant seismic exposure.

The study argues that future tall-building design in Batumi should move toward resilience-oriented engineering that treats seismic performance as a core urban quality. It concludes that base isolation systems can contribute to safer coastal growth, especially when combined with proper site investigation and design coordination. This approach offers an effective pathway for balancing urban expansion with disaster preparedness in Black Sea metropolitan areas.

**Key words:** base isolation, high-rise buildings, Batumi, seismic design, coastal resilience

## **ENERGY-EFFICIENT BUILDING ENVELOPES FOR CHISINAU WINTER CLIMATE CONDITIONS**

**Prof. Dr. Ion Cebanu, Maria Popescu, Andrei Lupu, Ecaterina Rusu**

Faculty of Urbanism and Architecture, Technical University of Moldova, Moldova

### **ABSTRACT**

This paper explores energy-efficient building envelopes for winter climate conditions in Chisinau, where prolonged cold seasons and high heating demand place pressure on urban energy systems. Building envelope performance is a critical factor in reducing energy use, improving indoor comfort, and lowering operational costs in colder climates. The study examines how architectural design and material selection can enhance thermal efficiency in residential and public buildings.

The research draws on literature related to sustainable building design, energy conservation, and climate-responsive architecture. It focuses on insulation quality, window performance, airtightness, thermal bridges, and façade composition as major elements affecting winter energy efficiency. The analysis shows that well-designed envelopes can significantly improve thermal stability while reducing dependence on external energy input. It also highlights the importance of building retrofitting in existing urban stock, where many structures were not designed for contemporary efficiency standards.

The study argues that energy-efficient envelopes should be considered a central part of sustainable urban development in Chisinau. It emphasizes that technical solutions must be adapted to local construction practices, affordability constraints, and long-term maintenance needs. The paper concludes that stronger building envelopes can support both climate adaptation and energy policy goals, making them a key element in the transition toward more resilient winter urban environments.

**Key words:** building envelope, energy efficiency, Chisinau, winter climate, sustainable architecture

## **EARTHQUAKE-RESISTANT TIMBER ARCHITECTURE INNOVATIONS FOR JAPANESE RURAL REVITALIZATION**

**Prof. Dr. Hiroshi Tanaka, Kenji Sato, Aiko Nakamura, Yuki Mori**  
Department of Architecture, Faculty of Engineering, University of Tokyo, Japan

### **ABSTRACT**

This study explores innovative timber-based architectural strategies aimed at enhancing earthquake resilience while supporting rural revitalization in Japan. With declining populations and aging infrastructure in rural regions, there is a pressing need for sustainable and culturally responsive building solutions. Timber, as a traditional and renewable material, offers both structural flexibility and cultural continuity. The research examines contemporary engineered wood systems, including cross-laminated timber and hybrid joinery techniques, that improve seismic performance without compromising architectural identity.

Field observations and design simulations were conducted to evaluate the adaptability of modular timber systems in rural settlements. The findings indicate that lightweight timber structures reduce seismic loads and allow for faster reconstruction in post-disaster scenarios. Additionally, integrating local craftsmanship into modern construction processes contributes to regional economic recovery and social cohesion. The study also highlights the environmental benefits of timber, including reduced carbon footprint and improved lifecycle performance.

By combining advanced engineering with vernacular knowledge, the proposed framework offers a resilient and sustainable approach to rural development. The results suggest that timber architecture can play a central role in balancing safety, sustainability, and cultural preservation in earthquake-prone regions.

**Keyword:** timber architecture, earthquake resilience, rural revitalization

## **POST-DISASTER URBAN RECONSTRUCTION FRAMEWORKS IN TOKYO METROPOLITAN REGION**

**Assoc. Prof. Dr. Mika Yamamoto, Takeshi Ikeda, Reiko Fujimoto**  
Department of Urban Planning, Graduate School of Architecture, Waseda University, Japan

### **ABSTRACT**

This research investigates post-disaster urban reconstruction strategies within the Tokyo metropolitan region, focusing on adaptive frameworks that enhance resilience and long-term urban sustainability. Tokyo's vulnerability to seismic events necessitates comprehensive planning approaches that integrate infrastructure recovery, social stability, and economic continuity. The study evaluates existing reconstruction models and identifies gaps in coordination between governmental agencies, communities, and private stakeholders.

Through comparative case analysis and policy review, the research proposes a flexible reconstruction framework emphasizing phased development, community participation, and multi-functional land use. Particular attention is given to the role of temporary housing, infrastructure redundancy, and decentralized urban systems in accelerating recovery processes. The findings reveal that participatory planning significantly improves community acceptance and long-term urban resilience.

The proposed model integrates disaster preparedness into everyday urban planning practices, ensuring that reconstruction efforts contribute to a more adaptive and inclusive urban environment. This approach supports not only rapid recovery but also the transformation of urban systems into more resilient and sustainable structures.

**Keyword:** post-disaster reconstruction, urban resilience, Tokyo

## **TROPICAL CLIMATE-ADAPTIVE HOUSING DESIGNS FOR JAKARTA FLOOD-PRONE DISTRICTS**

**Dr. Sari Wijaya, Budi Santoso, Lina Pratiwi, Agus Setiawan**

Department of Architecture, Faculty of Engineering, University of Indonesia, Indonesia

### **ABSTRACT**

This study addresses the challenges of housing design in flood-prone districts of Jakarta, focusing on climate-adaptive architectural solutions. Rapid urbanization and climate change have intensified flooding risks, requiring innovative approaches to residential design. The research explores elevated housing typologies, permeable materials, and passive ventilation strategies tailored to tropical conditions.

Field studies and prototype evaluations demonstrate that adaptable housing systems can significantly reduce flood damage while improving thermal comfort. The integration of raised structures and water-resistant materials enhances durability, while open-plan layouts support airflow and reduce indoor heat accumulation. Community-based design approaches also play a key role in ensuring the practicality and acceptance of these solutions.

The findings suggest that climate-responsive housing can improve living conditions while minimizing environmental impact. By aligning architectural design with local climate dynamics, the study contributes to sustainable urban development in flood-prone regions.

**Keyword:** climate-adaptive design, flood resilience, Jakarta

## **CULTURAL HERITAGE CONSERVATION THROUGH SUSTAINABLE TOURISM ARCHITECTURE IN BALI**

**Prof. Dr. Nyoman Sujana, I Made Artawa, Dewi Ratna, Rina Kusuma**

Department of Architecture, Faculty of Cultural Studies, Udayana University, Indonesia

### **ABSTRACT**

This research examines the role of sustainable tourism architecture in preserving cultural heritage in Bali. Increasing tourism pressure has led to environmental degradation and cultural commodification, threatening the island's identity. The study proposes architectural strategies that balance tourism development with heritage conservation.

Through site analysis and design evaluation, the research highlights the importance of integrating traditional Balinese architectural principles with sustainable materials and construction methods. The findings demonstrate that culturally sensitive design enhances visitor experience while protecting local traditions and landscapes.

The study emphasizes community involvement and policy support as key factors in achieving sustainable outcomes. By promoting responsible tourism practices, the proposed framework contributes to long-term cultural and environmental sustainability.

**Keyword:** cultural heritage, sustainable tourism, Bali

## **MOUNTAIN ECO-ARCHITECTURE MODELS FOR TBILISI SUBURBAN EXPANSION PROJECTS**

**Assoc. Prof. Dr. Nino Tsiklauri, Giorgi Beridze, Mariam Kapanadze, Levan Lomidze**  
Department of Architecture, Faculty of Engineering, Tbilisi State University, Georgia

### **ABSTRACT**

This study explores eco-architecture models suitable for mountainous suburban expansion in Tbilisi. Rapid urban growth has led to environmentally sensitive areas being developed without adequate planning. The research proposes design strategies that respond to topography, climate, and ecological constraints.

Through case studies and environmental analysis, the study identifies key principles such as minimal land disturbance, energy efficiency, and integration with natural landscapes. The findings indicate that eco-sensitive design improves environmental performance while enhancing quality of life.

The proposed models support sustainable suburban development by aligning architectural practices with ecological preservation. This approach offers a balanced solution for urban expansion in mountainous regions.

**Keyword:** eco-architecture, suburban development, Tbilisi

## **HISTORIC CITY CENTER REGENERATION USING BIOPHILIC DESIGN PRINCIPLES IN BATUMI**

**Dr. Tamar Gelashvili, Irakli Chikhradze, Lasha Kvernadze**

Department of Urban Design, Faculty of Architecture, Batumi State University, Georgia

### **ABSTRACT**

This research investigates the application of biophilic design principles in the regeneration of Batumi's historic city center. Urbanization has led to the loss of green spaces and reduced environmental quality. The study explores how integrating natural elements into urban design can enhance livability and cultural value.

Through design analysis and urban assessment, the research demonstrates that biophilic interventions improve microclimate conditions and social interaction. The findings highlight the importance of green infrastructure, natural materials, and human-centered design.

The proposed strategies contribute to the revitalization of historic areas while promoting sustainability and well-being.

**Keyword:** biophilic design, urban regeneration, Batumi

## **MEDITERRANEAN CLIMATE HOUSING WITH PASSIVE COOLING SYSTEMS IN BARCELONA**

**Prof. Dr. Javier Morales, Elena Castillo, Carlos Ruiz, Maria Lopez**

Department of Architecture, School of Architecture, Polytechnic University of Catalonia,  
Spain

### **ABSTRACT**

This study examines passive cooling strategies in housing design for Mediterranean climates, focusing on Barcelona. Rising temperatures and energy demand necessitate sustainable cooling solutions. The research evaluates traditional and modern passive techniques, including shading, ventilation, and thermal mass.

Simulation and design analysis reveal that passive systems significantly reduce energy consumption while maintaining indoor comfort. The integration of vernacular design principles enhances performance and cultural relevance.

The findings support the adoption of passive cooling strategies as a key component of sustainable housing design in Mediterranean regions.

**Keyword:** passive cooling, Mediterranean climate, Barcelona

## **HIIT TRAINING EFFECTS ON CARDIORESPIRATORY FITNESS IN JAPANESE MIDDLE-AGED OFFICE WORKERS**

**Prof. Dr. Hiroshi Tanaka, Dr. Aiko Nakamura, Kenji Sato, Yumi Ikeda**

Department of Sports Science, Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba,  
Japan

### **ABSTRACT**

This study examines the effects of high-intensity interval training on cardiorespiratory fitness among Japanese middle-aged office workers. Sedentary work routines and limited physical activity have increased concerns about declining cardiovascular health in this population. The research investigates whether a structured interval-based exercise approach can improve aerobic capacity, heart rate response, and perceived energy levels in a practical workplace-related setting.

A supervised training program was designed to fit into the daily schedules of office employees and to encourage adherence without requiring extensive time commitment. The intervention emphasized alternating bouts of intense effort with short recovery periods, allowing participants to achieve meaningful physiological stimulation in a manageable format. The study also considered participant motivation, fatigue, and overall exercise tolerance, since long-term acceptance is essential for workplace health programs.

Findings suggest that this type of training can support improved cardiovascular efficiency and may offer a realistic exercise option for busy adults. Beyond physical benefits, the program appeared to encourage greater awareness of health behaviors and fostered a more active lifestyle mindset. The results indicate that brief but intensive exercise models can be effective in occupational health promotion when they are carefully structured and monitored. This approach may be especially valuable in societies where sedentary work patterns are common and time constraints limit participation in traditional fitness routines.

**Keyword:** HIIT, cardiorespiratory fitness, office workers

## **TRADITIONAL KARATE PRACTICE IMPACT ON MENTAL WELLBEING AMONG JAPANESE UNIVERSITY STUDENTS**

**Assoc. Prof. Dr. Takeshi Yamamoto, Mai Suzuki, Ryoji Kobayashi**

Department of Physical Education, Faculty of Education, Osaka University of Education,  
Japan

### **ABSTRACT**

This study explores the impact of traditional karate practice on mental wellbeing among Japanese university students. University life often brings academic pressure, emotional strain, and reduced opportunities for balanced physical activity. The research examines how regular engagement in karate may contribute to emotional stability, concentration, self-discipline, and stress management in student populations.

Karate is understood not only as a physical discipline but also as a practice that integrates mental focus, respect, and controlled breathing. The study reviews how these features may support psychological resilience and a stronger sense of self-control. Attention is given to the relationship between movement, ritual, and mental clarity, since traditional martial arts often provide both physical exercise and structured personal development. Participants reported that training created a disciplined environment that helped them manage academic tension and improve confidence in daily life.

The findings suggest that karate may function as a valuable complementary activity in higher education contexts where mental health support is increasingly important. Its cultural grounding also appears to strengthen student connection to tradition while promoting personal well-being. The study indicates that martial arts practice can contribute to holistic student development by linking physical activity with emotional balance and social responsibility. This makes traditional karate a meaningful model for wellness-oriented university programs.

**Keyword:** karate, mental wellbeing, university students

## **VOLLEYBALL-SPECIFIC AGILITY TRAINING PROGRAMS FOR INDONESIAN NATIONAL TEAM ATHLETES**

**Dr. Budi Santoso, Sari Wijaya, Agus Pramono, Lina Kusuma**

Department of Sport Coaching, Faculty of Sports Sciences, Universitas Negeri Yogyakarta,  
Indonesia

### **ABSTRACT**

This study investigates volleyball-specific agility training programs designed for Indonesian national team athletes. Volleyball performance depends heavily on rapid directional changes, explosive movement, and precise reaction timing. The research focuses on how structured agility training can improve court movement efficiency, defensive responsiveness, and overall competitive performance.

The training model was developed to reflect the physical and tactical demands of elite volleyball. Emphasis was placed on movement patterns that resemble game situations, including short accelerations, lateral transitions, and quick recovery actions. The study also considered how sport-specific drills may improve coordination and decision-making under pressure. By aligning training content with match requirements, the program aimed to create more transferable physical gains than general conditioning alone.

Results indicate that targeted agility work supports sharper movement execution and better readiness during play. Athletes appeared to benefit from exercises that combined speed, balance, and spatial awareness. The study suggests that customized agility preparation can play an important role in the performance development of national-level volleyball players. It also highlights the importance of ongoing adaptation in training design so that physical preparation remains closely tied to tactical demands.

**Keyword:** volleyball, agility training, elite athletes

## **NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR RECOVERY IN INDONESIAN ENDURANCE RUNNING ATHLETES**

**Prof. Dr. Nyoman Artawa, Dewi Ratna Setiawan**

Department of Nutrition and Sports Performance, Faculty of Medicine, Udayana University,  
Indonesia

### **ABSTRACT**

This study examines nutritional interventions that support recovery in Indonesian endurance running athletes. Endurance training places substantial physiological stress on the body, making recovery nutrition essential for maintaining performance, reducing fatigue, and lowering the risk of overtraining. The research focuses on how appropriate food timing, nutrient balance, and hydration strategies can assist post-exercise restoration.

The study considers the role of carbohydrates, protein, and fluid replacement in rebuilding energy stores and supporting muscle repair. It also discusses how recovery nutrition may influence immune function, training consistency, and readiness for subsequent sessions. Special attention is given to practical dietary approaches that can be realistically adopted by athletes and coaches within local training environments. The findings emphasize that recovery is not only a matter of rest but also a structured nutritional process.

The results suggest that personalized nutrition strategies can improve recovery quality and enhance training adaptation over time. Athletes who follow consistent recovery practices appear better prepared to sustain demanding endurance workloads. The study highlights the need for greater nutritional education within athletic programs and encourages integrated support between coaches, sports nutrition specialists, and medical staff.

**Keyword:** sports nutrition, recovery, endurance athletes

## **WEIGHT TRAINING EFFECTS ON BONE DENSITY IN GEORGIAN FEMALE ATHLETES**

**Assoc. Prof. Dr. Nino Tsiklauri, Giorgi Beridze, Mariam Kapanadze, Lasha Lomidze,  
Nato Javakhishvili**

Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport and Health Sciences, Tbilisi State  
University, Georgia

### **ABSTRACT**

This study explores the effects of weight training on bone density in Georgian female athletes. Bone health is a critical component of long-term athletic performance and injury prevention, especially in women who engage in intensive physical activity. The research investigates whether resistance-based exercise can contribute to stronger skeletal adaptation and improved musculoskeletal resilience.

The study highlights the mechanical loading effects of weight training as a stimulus for bone formation and maintenance. It also considers how structured resistance programs may support overall physical strength, movement stability, and protection against stress-related injuries. In athletic populations, maintaining bone integrity is especially important because high training demands can place repeated strain on the skeletal system. The findings indicate that progressive resistance training can serve as an effective method for supporting bone-related health.

The study suggests that inclusion of weight training in women's athletic preparation may offer benefits beyond muscle development. It may contribute to a stronger foundation for performance and a reduced risk of future bone complications. The research supports the broader integration of resistance exercise into athlete development programs, particularly for female competitors who require balanced conditioning and long-term physical protection.

**Keyword:** weight training, bone density, female athletes