CONFERENCE BOOK

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
MARCH 27-29 , 2026
BINGOL

ISBN: 978-625-5694-96-6

BINGOL 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
MARCH 27-29 , 2026
BINGOL

Edited By
PROF. DR. BAŞAK HANEDAN

Issued: 30.04.2026
ISBN: 978-625-5694-96-6

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :
In the conference 42 papers have been presented by Turkish participants and 59 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

BINGOL 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE

MARCH 27-29 , 2026
BINGOL

ORGANIIZATION

ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

EVALUATION PROCESS

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

PARTICIPATING COUNTRIES

Turkey Georgia -India – Iran – Kazakhstan- Saudi Arabia- Ethiopia- Taiwan- Egypt - Serbia- Eritrea – Russia – Kyrgyzstan – Singapore- Oman- Pakistan – Philippines – Brazil. Chile- Colombia- Netherlands – Japan- Italy- Algeria- Belarus-

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

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Universitesi

Prof. Dr. Ali Bilgili - Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Naile Bilgili - Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Başak Hanedan - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Hajar Huseynova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Dwi Sulisworo - Ahmad Dahlan University

Prof. Zain Musa - Royal Academy of Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain - NICMAR University

Prof Yakup Babayev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Suyatno - Ahmad Dahlan University

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

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

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Belkıs Özkara - Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna - Zarmed University

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

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

Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - Ataturk Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Munzur Üniversitesi

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

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

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

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Dicle Üniversitesi

Assoc. Prof. Dody Hartanto - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Nazile Abdullazade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

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

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

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

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - New Bulgarian Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari - Tebriz Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş - Gazi Üniversitesi

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

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

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi

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

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

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

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

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Universitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Turkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Turkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Turkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Turkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Turkiye

Prof Dr. Bülent Kurtişoğlu – Turkiye

Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan

Prof. Dr. Dwi Sulisworo – Indonesia

Prof. Dr. Natalia Latygina – Ukraina

Prof. Dr. Yunir Abdrahimov – Russia

Prof. Muntazir Mehdi – Pakistan

Prof. Dr. T.Venkat Narayana Rao – India

Prof. Dr. İzzet Gümüş – Turkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Turkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Turkiye

Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China

Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan

Prof. Dr. Suyatno – Indonesia

Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain – India

Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran

Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia

Prof. Dr. Guler Yenice – Turkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Turkiye

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye

Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye

Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Turkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Ali Vandshoari – İran

Assoc. Prof. Dr. Dinara Fardeeva – Rusya

Assoc. Prof. Dr. Göksel Ulay – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizhstan

Assist. Prof. K. R. Padma – India

Assist. Prof. Dr. Omid Afghan - Afghanistan

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

Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich Altayev - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Amina Salihi Bayero – Nigeria

Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif Fakheer - Jordania

Assist. Prof. Dr. Dody Hartanto - Indonesia

Assist. Prof. Dr. Ihwan Ghazali - Malaysia

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heyladou – Iran

Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Ozbekistan

Assist. Prof. Dr. Kalemkas Kalibaeva – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Bouaraour Kamel – Algeria

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

Assist. Prof. Dr. Amanbay Moldibaev - Kazakhstan

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

Assist. Prof. Dr. Bhumika Sharma - India

Assist. Prof. Dr. Gulşat Şugaeva – Kazakhstan

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

Assist. Prof. Dr. Cholpon Toktosunova – Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Hoang Anh Tuan – Vietnam

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Türkiye

Assist. Prof. Dr. Botagul Turgunbaeva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Dinarakhan Tursunalieva - Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Yang Zitong – China

Assist. Prof. Dr. Gulmira Abndirasulova – Kazakhstan

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

Assist. Prof. Dr. Murat Genç – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India

Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania

Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Turkiye

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

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines

Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Turkiye

Dr. Mehmet Nuri Ödük – Turkiye

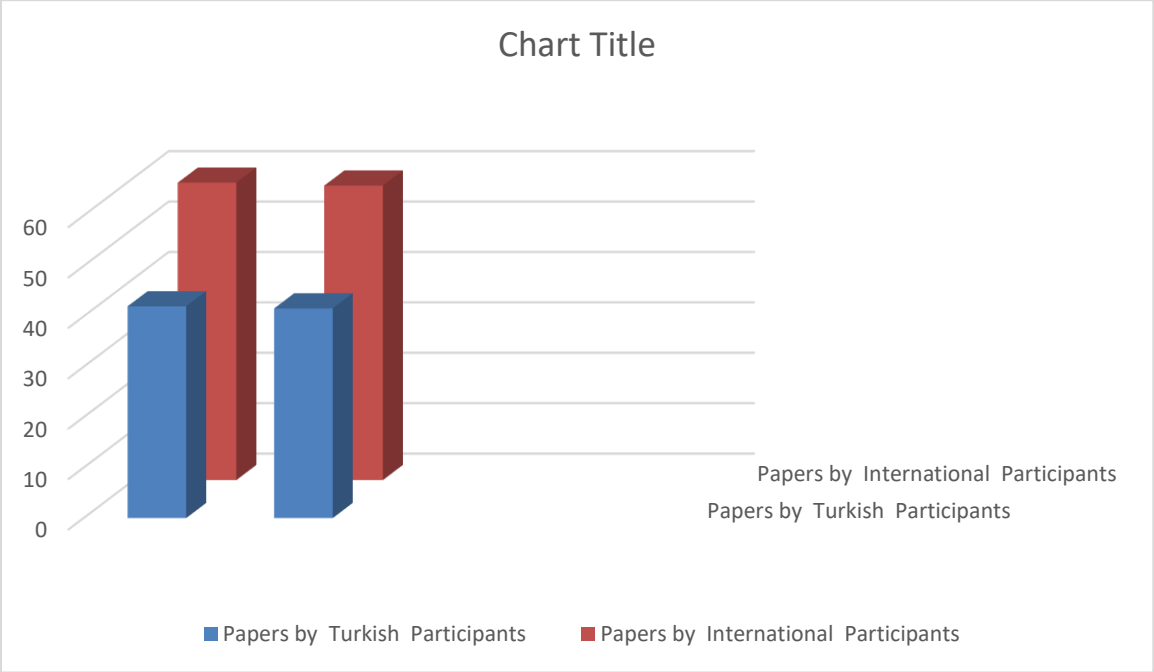
Dr. Ayşe Baran - Turkiye

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan

Dr. Sonali Malhotra – India

Dr. Amaneh Manafidizaji – Iran

	Number of paper	*%*
Papers by Turkish Participants	42	41,58
Papers by International Participants (24 Countries.)	59	58,42



Evrak Tarih ve Sayısı: 23/06/2025-606980

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Spor Bilimleri Fakültesi Dekanlığı

Sayı : E-21619327-900-606980 23/06/2025
Konu : Kurum İzin Talebi

Sayın Doç.Dr. Nurkan YILMAZ
Beden Eğitimi ve Spor Öğretmenliği Bölüm Başkanlığı - Öğretim Üyesi

"Academy Global Conferences & Publishing (https://www.akademikongre.org/registration)" tarafından önümüzdeki tarihlerde düzenlenecek olan uluslararası kongrelerde; kongre başkanı, kongre düzenleme ve bilim kurulu üyesi olarak görev alabilmenize yönelik talebiniz Dekanlığımızca uygun bulunmuştur.

Gereğini bilgilerinize rica ederim.

Prof.Dr. Cemal GÜNDOĞDU
Dekan

Ek:Dilekçe

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu :BSLCLRAH2Y Pin Kodu :53482

Belge Takip Adresi :
https://turkiye.gov.tr/ebd?eK=3837&eD=BSLCLRAH2Y&eS=606980

Adres:Spor Bilimleri Fakültesi/Malatya
Telefon:04223774940 Faks:0 422 341 00 32
e-Posta:spor.bilimleri@inonu.edu.tr Web:http://www.inonu.edu.tr/sporbilimleri
Kep Adresi:inonuuniversitesi@hs03.kep.tr

Bilgi için: Güler CANPOLAT
Unvanı: Bilgisayar İşletmeni
Tel No: 04223774974

Bu belge,güvenli elektronik imza ile imzanlamıştır.

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
March 27-29 , 2026
BINGOL

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

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

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224

ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

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

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

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

TECHNICAL INFORMATION

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

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 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	**Doktora Öğrencisi, Mehtap OK**	1	AN EXAMINATION OF CYBERLOAFING BEHAVIORS IN SERVICE ENTERPRISES	Yüksek Lisans Öğrencisi, Aleyna ŞAHİN Doç. Dr. Yeliz PEKERŞEN Doç. Dr. Yılmaz SEÇİM
		2	THE IMPORTANCE OF HONEY BEEKEEPING: A STUDY ON SEYDİŞEHİR PROVINCE	Yüksek Lisans Öğrencisi Erva Aişe KANDEMİR Doç. Dr. Yılmaz SEÇİM Doç. Dr. Yeliz PEKERŞEN
		3	THE HISTORICAL NARRATIVES OF KONYA'S GEOGRAPHICALLY INDICATED DISHES: CEREMONIAL MEALS	Doktora Öğrencisi, Mehtap OK Doç. Dr. Eda GÜNEŞ Prof. Dr. Hatice Ferhan NİZAMLIOĞLU
		4	TÜRKİYE'DE YETİŞTİRİLEN TROPİKAL MEYVELERİN GASTRONOMİDE KULLANIM POTANSİYELİ ÜZERİNE BİR İNCELEME	Doktora Öğrencisi, Gizem Sena KESKİN Doçent Doktor, Yılmaz Seçim Doçent Doktor, Eda GÜNEŞ

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 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	**Prof. Dr., Fahrettin GEÇEN**	1	RESİMSEL MEKÂNDA GÖRSEL KUVVET ALANLARININ KOMPOZİSYONEL GERİLİM VE ESTETİK ALGILAMA ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Uzman, Nihat LEVENT Prof. Dr., Fahrettin GEÇEN
		2	PİKTORAL MEKÂNDA GÖRSEL HİYERARŞİ VE VURGU DİNAMİKLERİNİN ESTETİK VE GÖRSEL ALGI ÜZERİNDEKİ BELİRLEYİCİLİĞİ	Uzman, Nihat LEVENT Prof. Dr., Fahrettin GEÇEN
		3	TÜRK KÜLTÜRÜNDE PEŞKİRİN SEMBOLİK VE GÜNLÜK KULLANIMI: ÖZEL KOLEKSİYON ÖRNEKLERİ ÖZELİNDE BİR ÇALIŞMA	Doç.Dr. Tülay Gümüşer Esra Erdoğan Karagöz
		4	OSMANLI MİNYATÜRLERİ ÜZERİNDEN GÜNLÜK YAŞAMDA TEKSTİL	Doç.Dr. Tülay Gümüşer Esra Erdoğan Karagöz
		5	COMPOSERS FROM TOKAT IN THE HISTORY OF TURKISH MUSIC	Doç. Dr. Ahmet Hakan BAŞ Turhan TAŞAN
		6	COSTUME AND COLOR IN THE RELIGIOUS PAINTINGS OF TITIAN AND BRONZINO: AN ICONOGRAPHIC AND ICONOLOGICAL COMPARISON	Graduate Student Burcu ÖZER Assoc. Prof. Hüda SAYIN YÜCEL
		7	LOUVRE MÜZESİNDEN ÖRNEK ESERLERLE ÇİNİ SANATI VE LÜSTER TEKNİĞİ	Doç.Dr., Mine Erdem Köroğlu

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 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	**Prof. Dr. Kelime ERDAL**	1	CHRISTY BROWN'S NOVEL MY LEFT FOOT EXPLORES OVERCOMING OBSTACLES AND THE TRANSFORMATIVE POWER OF PERSEVERANCE	Prof. Dr. Kelime ERDAL
		2	CHILDREN'S BOOKS IN THE CONTEXT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION AND SUSTAINABILITY THEMES	Prof. Dr. Kelime ERDAL
		3	MAARİF MODELİ PERSPEKTİFİNDEN OKULLARDA GELENEKSEL SANAT EĞİTİMİNİN YÖNETİMİ	Dr. YASİN DEMİRCİ Öğr. Gör. HAMİDE SOYSAL DEMİRCİ
		4	SANAT EĞİTİMİ VE OKUL NEZAKET KÜLTÜRÜ: OKUL MÜDÜRLERİNİN LİDERLİK ROLÜ	Dr. YASİN DEMİRCİ Öğr. Gör. HAMİDE SOYSAL DEMİRCİ
		5	FEN BİLİMLERİ DERSİ 7. SINIF HÜCRE KONUSUNUN ÖĞRETİMİNDE ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMASININ ETKİLİLİĞİ	Graduate Student Gülşah AYSAN Assoc. Prof. Dr. Serpil KALAYCI
		6	SUBJECTS THAT MIDDLE SCHOOL STUDENTS FIND DIFFICULT IN SCIENCE AND THEIR LEARNING PREFERENCES	Yüksek Lisans Öğrencisi Nuran ÖNÜR Doç. Dr. Serpil KALAYCI
		7	BINGÖL FOLK DANCES IN THE HÜADK BINGÖL 1944 ARCHIVE CARDS	Dr. Muharrem FERATAN
		8	THE TRANSFORMATION OF RELIGIOUS AUTHORITY IN THE DIGITAL AGE: INSTITUTIONAL, NETWORKED, AND ALGORITHMIC AUTHORITY	Ülkü Koçak

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Dr. Amnneh Manafidizaji**	1	THE RELATIONSHIP BETWEEN LOGIC AND COMMUNICATION	Dr. Yağmur YILDIRIM
		2	EDUCATION OF YOUTH IN THE GORGIAS: ARE POLUS AND CALLICLES FIGURES OF WARNING?	Dr. Yağmur YILDIRIM
		3	AMR B. ÜMEYYE'NİN ELÇİLİK GÖREVLERİ: CAHİLİYE VE İSLAM DÖNEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI	Betül ÇİRKİN Doç. Dr. Murat BIYIKLI
		4	ARAP BELÂGATİNDE İLTİFÂT: ANLAMIN SÖYLEM İÇİNDE YENİDEN YÖNLENDİRİLMESİ	Dr. Hüseyin Dursun
		5	MANEVİ DANIŞMANLIĞA GİRİŞ	Doktora Öğrencisi Bahadır Şahin KAMAS Doç. Dr. Tolga SEKİ Prof. Dr. Bülent DİLMAÇ
		6	MANEVİ DANIŞMANLIKTA ÖLÇME ve DEĞERLENDİRME	Doktora Öğrencisi Bahadır Şahin KAMAS Doç. Dr. Tolga SEKİ Prof. Dr. Bülent DİLMAÇ

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assoc. Prof. Dr. Umut Can Öztürk,**	1	THE ROLE OF MICRO-RECREATION IN DAILY QUALITY OF LIFE: THE EFFECT OF SHORT-TERM RECREATIONAL ACTIVITIES ON PSYCHOLOGICAL RESTORATION	İsmet SEVAL Dr. Okan SARI Doç. Dr. Şakir TÜFEKÇİ
		2	THE RISE OF QUIET RECREATION: THE ROLE OF NATURE-BASED SOLITARY RECREATIONAL ACTIVITIES IN PSYCHOLOGICAL WELL-BEING AND EMOTIONAL REGULATION	İsmet SEVAL Dr. Okan SARI Doç. Dr. Şakir TÜFEKÇİ
		3	GÖÇ VE ENTEGRASYON TARTIŞMALARINDA KİMLİK: KÜLTÜREL VE HİBRİT KİMLİĞE DAİR KAVRAMSAL ANALİZ	Tuğba DÜZBİÇER Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül Aycan SOLAKER
		4	YÜKSEKÖĞRETİMİN DİJİTAL VİTRİNLERİNDE TOPLUMSAL CİNSİYET DUYARLILIĞI: BATI AKDENİZ ÜNİVERSİTELERİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZ	Assoc. Prof. Dr. Umut Can Öztürk,

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Doç. Dr. Cumhur ŞAHİN**	1	SERMAYE YATIRIMLARI İÇERİSİNDE GAYRİMENKUL YATIRIMININ ÖNEMİ: ŞANLIURFA ÖRNEĞİ	Hacer ÇETİZ SAVAŞÇI Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kurt
		2	DO BEHAVIORAL INTERVENTIONS IMPROVE CREDIT CARD REPAYMENT? EVIDENCE FROM CONSUMER CREDIT DATA	Asst. Prof. Dr. Çağlar HAMARAT
		3	THE WELL-BEING ECONOMY IN LOW-DENSITY REGIONS: A HUMAN-CENTRIC MARKETING ANALYSIS OF THETH, VALBONA, AND VOSKOPOJA	Msc. Marsida Dyrmishi
		4	COĞRAFİ İŞARETLİ ÜRÜNLER KONUSUNDA TR DİZİNDE İNDEKSLENEN ÇALIŞMALARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ	Öğretim Görevlisi Meryem SET
		5	KÜLTÜREL DİPLOMASİNİN LEZZET YÜZÜ: KÜRESEL İLETİŞİM VE YUMUŞAK GÜÇ ARACI OLARAK GASTRODİPLOMASİ	Öğretim Görevlisi Meryem SET
		6	22 YEARS OF HEALTH TOURISM: A BIBLIOGRAPHIC MAPPING (2003-2025)	Öğr. Gör. İlker VURAL
		7	BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF SPORTS TOURISM LITERATURE (1996-2025): CONCEPTUAL MAPPING USING MULTIPLE CORRESPONDENCE ANALYSIS (MCA)	Öğr. Gör. İlker VURAL
		8	THE IMPORTANCE OF CENTRAL BANK DIGITAL CURRENCY IN A GLOBALISING WORLD	Doç. Dr. Cumhur ŞAHİN

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Doç. Dr., Mustafa SOLMAZ**	1	TBMM TARAFINDAN İSTİKLAL MADALYASI İLE ÖDÜLLENDİRİLEN TOPAL OSMAN AĞA VE GİRESUNLULAR	Murat BIYIK
		2	A TRADITION LINKING THE PAST TO THE FUTURE: LOG THROWING	Doç. Dr., Mustafa SOLMAZ
		3	OSMANLI DEVLETİ'NİN ASKERİ, EKONOMİK VE TOPLUMSAL YAPISI İÇİNDE PİYADE ÇİFTLİKLERİ	Doç. Dr. Kadir ADAMAZ
		4	H. 1125-1126 TARİHLİ ŞERİYYE SİCİLİNE GÖRE LEFKOŞA	Doç. Dr. Kadir ADAMAZ

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI**	1	ASSESSMENT OF SPEAKING SKILLS IN ARABIC LANGUAGE DEPARTMENTS IN TURKEY: CURRENT SITUATION AND CHALLENGES	Doç.Dr Ahmed ALDYAB
		2	LANGUAGE FLUENCY IN SPEAKING SKILLS AMONG NON-NATIVE ARABIC LEARNERS: CURRENT SITUATION AND DEVELOPMENT STRATEGIES	Doç.Dr Ahmed ALDYAB
		3	TÜRK ROMANINDA SOSYAL DARWİNİST ALEGORİ: TEKÂMÜL VE YABAN ROMANLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	Dr. Öğr. Üyesi Ragıp ERGÜN
		4	TÜRKİYE TARİHÇİLİĞİNDE MEDENİYETE KARŞI KÜLTÜRCÜLÜK: SADRİ MAKSUDİ ARSAL İLE FUAT KÖPRÜLÜNÜN KARŞILAŞTIRILMALI ANALİZİ	Dr. Öğr. Üyesi Ragıp ERGÜN
		5	FELAKETİN EŞİĞİNDE DİRENÇ: KASIRGA TUTULMASI'NDA YOKSULLUK, DOĞA VE HAYATTA KALMA ETİĞİ	Dr. Öğr. Üyesi, Mahmut AKAR
		6	CHILD EXPLOITATION IN CHARLES DICKENS'S "OLIVER TWIST"	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. Almazbek Sadykov**	1	THE EVOLUTION OF DIGITAL CONTRACT LAW IN CROSS-BORDER E-COMMERCE	Prof. Dr. Somchay Vannasith Assoc. Prof. Dr. Kethkeo Inthavong Anousone Phommalath
		2	LEGAL FRAMEWORKS FOR ENVIRONMENTAL JUSTICE: A COMPARATIVE STUDY OF RIVER POLLUTION CASES	Dr. Viengkeo Chansamouth Souksavanh Latdavong
		3	PROTECTION OF INDIGENOUS LAND RIGHTS UNDER CONSTITUTIONAL LAW	Keophilavanh Thongbay Sayasith
		4	THE ROLE OF JUDICIAL REVIEW IN STRENGTHENING CONSTITUTIONAL DEMOCRACY	Prof. Dr. Almazbek Sadykov
		5	CYBERSECURITY AND PRIVACY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE REGULATION	Nursultan Akmatov Dr. Gulmira Bektemirova
		6	THE LEGAL DIMENSIONS OF GENDER EQUALITY IN CONTEMPORARY FAMILY LAW	Assis. Prof. Dr. Ulanbek Erkinov
		7	MARITIME LAW CHALLENGES IN SOUTHEAST ASIAN TRADE ROUTES	Dr. Rizky Aditya Saputra Assis. Prof. Dr. Dian Kusumawardani Meerim Duyshenalieva
		8	THE EVOLVING INTERPRETATION OF HUMAN RIGHTS IN INDONESIAN CONSTITUTIONAL COURT DECISIONS	Rendra Mahardika Putri Ayu Prameswari

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Ainura Ermekova**	1	INNOVATIVE APPROACHES TO ENHANCING RURAL EDUCATION THROUGH DIGITAL LEARNING PLATFORMS	Assoc. Prof. Dr. Khamphay Vilayphong Sengchanh Thammavong Dr. Nalinh Phommasane
		2	ASSESSING THE IMPACT OF BILINGUAL CURRICULA ON STUDENT PERFORMANCE IN PRIMARY SCHOOLS	Prof. Dr. Viengkham Phanouvong Souksavanh Keosavang
		3	TEACHER TRAINING AND PEDAGOGICAL TRANSFORMATION IN THE CONTEXT OF INCLUSIVE EDUCATION REFORMS	Dr. Khamphet Souvannavong Thidachan Inthavong
		4	DIGITAL PEDAGOGY AND ITS ROLE IN IMPROVING STEM EDUCATION AMONG SECONDARY STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. Aigul Bekmuratova Prof. Dr. Ruslan Nogoibekov Bakyt Sadykova
		5	EVALUATING STUDENT MOTIVATION AND SELF-EFFICACY IN HYBRID LEARNING ENVIRONMENTS	Dr. Nurgul Dzhumabayeva Aizada Omurbekova Nurzada Altynbek
		6	INTEGRATING CULTURAL VALUES INTO HIGHER EDUCATION CURRICULA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT	Assoc. Prof. Dr. Ainura Ermekova
		7	THE ROLE OF PROJECT-BASED LEARNING IN DEVELOPING CRITICAL THINKING SKILLS AMONG UNIVERSITY STUDENTS	Dr. Siti Marlina Assoc. Prof. Dr. Rini Kartikasari Andi Prayogo
		6		

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Dr. Narmin Aliyeva**	1	POETIC SYMBOLISM AND MYSTICAL EXPRESSION IN CONTEMPORARY PERSIAN LITERATURE	Assoc. Prof. Dr. Shirin Tabrizi Dr. Mehran Daryaei Leila Bahrami Rashad Ismayilov
		2	TRANSLATION AS CULTURAL NEGOTIATION: COMPARATIVE STUDY OF CLASSIC PERSIAN TEXTS IN ENGLISH RENDITIONS	Dr. Roya Sadighi
		3	LINGUISTIC HYBRIDITY AND POSTCOLONIAL IDENTITY IN MODERN AZERBAIJANI PROSE	Prof. Dr. Elchin Rahimov Assoc. Prof. Dr. Leyla Gurbanova
		4	THE ROLE OF ORAL TRADITION IN PRESERVING NATIONAL CONSCIOUSNESS IN AZERBAIJANI LITERARY HERITAGE	Assoc. Prof. Dr. Narmin Aliyeva Dr. Samir Huseynzade
		5	NARRATIVE STRUCTURES AND MYTHIC ELEMENTS IN AZERBAIJANI EPIC POETRY	Dr. Aysel Mahmudova Tural Hasanli
		6	ROMANIAN LITERATURE IN TRANSITION: INTERTEXTUALITY AND CULTURAL MEMORY AFTER 1989	Prof. Dr. Ioana Muresan Assoc. Prof. Dr. Andrei Petrescu Dr. Ruxandra Iliescu
		7	LINGUISTIC LANDSCAPES OF MINORITY LANGUAGES IN ROMANIA: A SOCIOLINGUISTIC APPROACH	Dr. Sorin Ionescu Cristina Marin

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Prof. Dr. Aizada Sultangazi**	1	THE INTERPLAY OF TRADITION AND MODERNITY IN CONTEMPORARY KYRGYZ CERAMIC ART	Prof. Dr. Aizada Sultangazi
		2	VISUAL NARRATIVES OF NOMADIC HERITAGE: SYMBOLISM IN KYRGYZ TEXTILE DESIGN	Assoc. Prof. Dr. Bakytbek Amanov Ainura Toktosheva Dr. Chyngyz Turgunov Dr. Ermek Kubatov Nurzhamal Kudaibergenova
		3	REINTERPRETING THE EPIC OF MANAS THROUGH DIGITAL ART PRACTICES	Aidai Ergeshbekova Dr. Tilek Omuraliev Prof. Dr. Marat Zholdoshov
		4	AESTHETIC VALUES IN TRADITIONAL ETHIOPIAN ICONOGRAPHY: A CONTEMPORARY READING	Assoc. Prof. Dr. Mekdes Abebe Tsegaye Girma Dr. Selamawit Alemu
		5	EXPERIMENTAL MATERIALITY IN MODERN ETHIOPIAN SCULPTURE	Prof. Dr. Dawit Tadesse Hana Bekele Assis. Prof. Dr. Yonas Girmay
		6	CULTURAL MEMORY AND URBAN IDENTITY IN ADDIS ABABA STREET ART	Dr. Rediet Fikadu Mulugeta Admasu Netsanet Lemma
		7	POST-SOVIET TRANSFORMATIONS IN RUSSIAN PERFORMANCE ART	Prof. Dr. Natalia Karpova Dr. Sergey Belov Elena Chudinova

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 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	**Dr. Raden Bayu Nugroho**	1	ECONOMIC IMPACT OF TOURISM SERVICE SECTOR ON REGIONAL DEVELOPMENT	Nino Beridze Prof. Dr. Giorgi Mchedlishvili Levan Kalandadze
		2	DIGITAL TRANSFORMATION IN BANKING SERVICES AND CUSTOMER SATISFACTION	Wayan Suardana Assoc. Prof. Dr. Putu Adi Pranata Ni Luh Ayu Puspitasari
		3	THE ROLE OF MICROFINANCE IN EMPOWERING RURAL ENTREPRENEURS	Ahmad Fahim Dr. Sayed Noor Rahimi
		4	SERVICE INDUSTRY INFLUENCE ON EMPLOYMENT RATES IN URBAN AREAS	Tamar Kvaratskhelia Lasha Gabisonia
		5	ANALYSIS OF E-COMMERCE SERVICES AND CONSUMER TRUST IN INDONESIA	Eka Prasetya Prof. Dr. Anak Agung Putri Dewi Ni Made Ayuningtyas
		6	FINANCIAL INCLUSION THROUGH MOBILE PAYMENT SERVICES	Dr. Raden Bayu Nugroho
		7	STRATEGIC MANAGEMENT IN HOSPITALITY SERVICES: A CASE STUDY	Zarifa Ahmadi Assis. Prof. Dr. Fawad Noori
		8	THE EFFECT OF LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN SERVICES ON ECONOMIC GROWTH	Shorena Japaridze Prof. Dr. Giorgi Lomidze

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr. Ferdinand Morales**	1	ELITE FORMATIONS AND POLITICAL POWER IN MEDIEVAL GEORGIA	Nino Kalandadze Prof. Dr. Levan Tsintsadze Assoc. Prof. Dr. Maka Chikhradze
		2	THE ROLE OF TRADE ROUTES IN THE ECONOMIC DEVELOPMENT OF ANCIENT GEORGIA	Giorgi Beridze Dr. Salome Gogolashvili Mariami Lomidze
		3	CULTURAL EXCHANGES BETWEEN GEORGIA AND THE BYZANTINE EMPIRE	Assoc. Prof. Dr. Irakli Japaridze
		4	SPANISH COLONIAL IMPACT ON LOCAL GOVERNANCE IN PHILIPPINES	Juan Carlos Rivera Prof. Dr. Maria Elena Santos
		5	RELIGIOUS INFLUENCES ON FILIPINO SOCIETY DURING THE 16TH CENTURY	Assis. Prof. Dr. Angelica Cruz Ramon dela Fuente
		6	REVOLUTIONARY MOVEMENTS AND NATIONAL IDENTITY IN PHILIPPINES	Dr. Ferdinand Morales Lourdes Reyes
		7	SOCIAL REFORMS AND EDUCATION POLICIES IN 19TH CENTURY BANGLADESH	Md. Kamrul Hasan Prof. Dr. Farida Akter

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 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	**Prof. Dr. Thabo Ndlovu**	1	UNDERSTANDING ETHICAL DILEMMAS IN CONTEMPORARY SOCIETY	Prof. Dr. Leyla Huseynova Nigar Guliyeva Aysel Mammadova
		2	THE ROLE OF EXISTENTIALISM IN MODERN HUMAN IDENTITY	Assoc. Prof. Dr. Rashad Aliyev
		3	PHILOSOPHICAL FOUNDATIONS OF TECHNOLOGY AND HUMAN VALUES	Dr. Samir Hasanov Elvin Farzaliyev Leyla Karimova
		4	AFRICAN INDIGENOUS PHILOSOPHY AND COMMUNITY WELL-BEING	Prof. Dr. Thabo Ndlovu Amina Jalloh
		5	ETHICS AND SOCIAL JUSTICE IN POSTCOLONIAL AFRICAN STATES	Dr. Kofi Mensah Yaa Asantewaa
		6	EXPLORING AFRICAN METAPHYSICS: SPIRITUALITY AND REALITY	Assis. Prof. Dr. Zanele Khumalo Kwame Boateng
		7	PHILOSOPHICAL PERSPECTIVES ON TRADITION AND MODERNITY IN MONGOLIA	Prof. Dr. Baatar Ganbaatar Saran Bold Erdene Batbold Bilegtsetseg Tsend
		8	THE INFLUENCE OF BUDDHIST THOUGHT ON MONGOLIAN ETHICS	Assis. Prof. Dr. Naranjargal Tsogt

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Dr. Giorgi Khachidze**	1	INNOVATIVE SERVICE QUALITY STRATEGIES FOR CUSTOMER RETENTION IN SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES	Prof. Dr. Levan Bakuridze Nino Gvaladze Assoc. Prof. Dr. Tamar Shengelia Prof. Dr. Maia Dolidze Natia Beridze
		2	DIGITAL TRANSFORMATION AND CUSTOMER EXPERIENCE MANAGEMENT IN MODERN BUSINESS SERVICES	Dr. Giorgi Khachidze
		3	SUSTAINABLE BUSINESS SERVICE MODELS: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN THE POST-PANDEMIC ERA	Assoc. Prof. Dr. Irakli Maisuradze Dr. David Gelashvili
		4	SERVICE INNOVATION AND TECHNOLOGY ADOPTION IN INDONESIAN HOSPITALITY ENTERPRISES	Assoc. Prof. Dr. Diah Kurniawati
		5	ENHANCING CUSTOMER LOYALTY THROUGH DIGITAL MARKETING AND SOCIAL MEDIA IN SERVICE SECTORS	Made Surya Mahendra Assoc. Prof. Dr. Putu Wibisana Prof. Dr. Ratna Kusumawardani
		6	HUMAN RESOURCE MANAGEMENT PRACTICES AND SERVICE PERFORMANCE IN INDONESIAN PUBLIC INSTITUTIONS	Assoc. Prof. Dr. Anisa Rahmawati
		7	ENTREPRENEURIAL LEADERSHIP AND BUSINESS SERVICE DEVELOPMENT IN AFGHAN STARTUPS	Prof. Dr. Ahmadullah Hamidi Dr. Laila Rahmani Faridullah Sahil
		8	CUSTOMER SATISFACTION AND SERVICE RECOVERY STRATEGIES IN AFGHAN FINANCIAL INSTITUTIONS	Assoc. Prof. Dr. Zabiullah Noori Dr. Mariam Sultani Mohammad Javid

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 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	**Prof. Dr. Amine Belkacem**	1	THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENHANCING FINANCIAL INCLUSION THROUGH DIGITAL BANKING	Prof. Dr. Amine Belkacem Assoc. Prof. Dr. Lila Merabet Youssef Hadef
		2	ANALYSIS OF GREEN FINANCE INITIATIVES IN SUPPORTING SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT	Dr. Karim Benali
		3	THE IMPACT OF FINTECH SOLUTIONS ON MICROENTERPRISE GROWTH IN NORTH AFRICAN ECONOMIES	Assoc. Prof. Dr. Farida Bouzid Nadia Chettouh
		4	INFLUENCE OF CORPORATE GOVERNANCE ON FINANCIAL PERFORMANCE IN JAPANESE MANUFACTURING FIRMS	Prof. Dr. Hiroshi Nakamura Yuki Tanaka Dr. Keisuke Yamamoto
		5	EVALUATING MONETARY POLICY RESPONSES TO ECONOMIC SHOCKS IN POST-PANDEMIC JAPAN	Assoc. Prof. Dr. Aiko Fujimoto
		6	FINANCIAL LITERACY AND SAVINGS BEHAVIOR AMONG JAPANESE YOUTH IN THE DIGITAL AGE	Dr. Haruka Sato
		7	BLOCKCHAIN TECHNOLOGY AND ITS APPLICATION IN IMPROVING TRANSPARENCY OF EUROPEAN BANKING SYSTEMS	Prof. Dr. Willem de Jong Sanne Visser Dr. Pieter van Leeuwen Dr. Thomas Vermeer Eva van Dijk
		8	THE EFFECTS OF ESG INVESTING ON CORPORATE PERFORMANCE IN THE DUTCH FINANCIAL MARKET	Assoc. Prof. Dr. Marieke Bakker

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 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	**Prof.Dr. Ali Can YILMAZ**	1	METAL HİDRİTLER İLE HİDROJEN DEPOLAMA: MALZEME VE SİSTEM DÜZEYİNDE BİR DERLEME	Arş. Gör. , Zeynep ERDEM Prof. Dr. , Ahmet GÜRAL Prof. Dr. , Battal DOĞAN
		2	GÜÇ SİSTEMLERİNDE STATİK KONDENSER+TCSC İLE STATİK GERİLİM KARARLILIĞININ İNCELENMESİ	Prof. Dr., M. Kenan DÖŞOĞLU Dr. Öğr. Üyesi, Enes KAYMAZ Öğr. Gör., Muhammet DEMİRBAŞ
		3	ŞEBEKEYE BAĞLI ÇBAG TABANLI RÜZGAR ÇİFTLİĞİNDE ALT-SENKRON SALINIMLAR İÇİN EK SÖNÜMLEME VE REZONANS KONTROL MODELLERİN GELİŞTİRİLMESİ	Doç. Dr., Mustafa DURSUN Prof. Dr., Mehmet Kenan DÖŞOĞLU
		4	İHA İNİŞ DESTEK YAPISININ METALİK BİLEŞENLERİ İÇİN KARAR DESTEK ANALİZİ	ÜNAL YILMAZ PROF. DR. FİGEN BALO
		5	İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA KANAT MALZEMESİ SEÇİMİ İÇİN MABAC ANALİZİ	ÜNAL YILMAZ PROF. DR. FİGEN BALO
		6	GÜNEŞ YÜKÜNDE KIZILÖTESİ (IR) YANSITICI PİGMENTLİ TEKSTİL KAPLAMASI İLE ARAÇ KABİN ISINMASININ AZALTILMASI	Prof.Dr. Ali Can YILMAZ Doç.Dr. Özlem ERDEM YILMAZ
		7	ARAÇ KOLTUK DÖŞEMESİNDE HAVA GEÇİRGENLİĞİ VE AKUSTİK EMİLİM DENGESİ	Prof.Dr. Ali Can YILMAZ Doç.Dr. Özlem ERDEM YILMAZ

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 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	**Öğr.Gör. Ahmet KARAHAN**	1	BAĞ EVLERİ İÇİN DOĞAL GAZLI ISITMA SİSTEMLERİNDE ALÜMİNYUM BACA TİPLERİNİN PERFORMANSININ SİMÜLASYON DESTEKLİ İNCELENMESİ	Öğr.Gör. Ahmet KARAHAN Prof.Dr. Figen BALO
		2	BİNA İÇİ VE BİNA DIŞI BACA YERLEŞİMLERİNİN HAFİF BETON MALZEMELERLE ENERJİ–EMİSYON PERFORMANSININ SİMÜLASYON ANALİZİ	Öğr.Gör. Ahmet KARAHAN Prof.Dr. Figen BALO
		3	HDBSCAN TABANLI DENETİMSİZ ÖĞRENME YÖNTEMİ İLE ENERJİ SEKTÖRÜNDE TEDARİK ZİNCİRİ RİSK MODELLEMESİ	Ahmet GÜRGAŞİN
		4	PROPHET VE TBATS MODELLERİ KULLANILARAK ENERJİ SEKTÖRÜNDE TALEP TAHMİNİ	Ahmet GÜRGAŞİN
		5	ANALYSIS OF AIRPORT AND AIRCRAFT FACTORS AFFECTING LTO-RELATED CARBON EMISSIONS	Zeynep İrem ÖZFİDAN Doç. Dr. Beyzanur ÇAYIR ERVURAL

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 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	**Arş. Gör. Aleyna TAŞKIN**	1	SYNTHESİS OF DIOXOISOINDOLIN-2-YL-SUBSTTİTUTED-1,2,3- TRİAZOLE- CONTAINING NEW SULFONAMİDE DERİVATİVES	Sema KAYA Saliha GÜNDOĞDU Prof. Dr. Mustafa ARSLAN
		2	TOZ METALÜRJİSİ İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE BOR NİTRÜR TAKVİYESİNİN KOMPOZİTİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Arş. Gör. Aleyna TAŞKIN Doç. Dr. Mahmut Can ŞENEL
		3	C45E ÇELİĞİNDE MENEVİŞLEME SICAKLIĞI VE SÜRESİNİN ÖNCEKİ ÖSTENİT TANE SINIRLARINA ETKİSİ	Şevval KELEŞ Dr. Öğr. Üyesi Fulya KAHRIMAN
		4	ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ SARIÇAM'A FARKLI YAĞLAR NÜFUZ EDİLEREK BAHÇE MOBİLYALARINA ALTERNATİF OLUŞTURMASI	Yusuf YAŞAR Dr, Ramazan BÜLBÜL Dr.Öğr.Üyesi, İbrahim PAZARKAYA

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 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	**Assist. Prof. Dr. Feyza N. KAFADAR**	1	INTEGRATING JAL JEEVAN MISSION AND SWACHH BHARAT MISSION: LINKING WATER QUALITY, SANITATION DEFICITS AND DISEASE BURDEN IN RURAL INDIA WITH A FOCUS ON DELHI-NCR	Prof Mamta Sharma Prof Sandeep K Sharma
		2	VIRULENCE THROUGH ASSOCIATION: CORRELATING THE RELATIONSHIP BETWEEN VEGETATIVE COMPATIBILITY GROUPS AND FORMAE SPECIALES IN FUSARIUM OXYSPORUM AFFECTING ALLIUM SPECIES	PhD student: Nedaa M.M. Tanina Assist. Prof. Dr. Feyza N. KAFADAR Prof. Canan Can
		3	FERULA PLANT AND ITS EFFECTIVENESS IN DIABETES	Lec. Ayhan BEYAZPOLAT Assoc. Prof. Dr. Uğur ÖZDEK Prof. Dr. Yeter DEĞER
		4	PHARMACOLOGICAL EFFECTS OF URTICA DIOICA EXTRACT İN RAT MODELS: A REVIEW OF RECENT EXPERIMENTAL STUDIES	Lec. Ayhan BEYAZPOLAT Asst. Prof. Ali Kemal ZİREK
		5	THE EFFECT OF SMOKING ON POSTOPERATIVE NAUSEA AND VOMITING IN PATIENTS UNDERGOING GENERAL ANESTHESIA: A SINGLE-CENTER RETROSPECTIVE OBSERVATIONAL STUDY	Hazal Nur KILIÇ, MD Assoc. Prof. Dr. Leman Acun DELEN
		6	ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ ÖĞRENCİLERİNİN BESİN NEOFOBİSİ DÜZEYLERİ	Tünay KONTAŞ AŞKAR Esile Kübra ELÇİ Esmanur ENGEL Selin Müzeyyen ERDOĞAN
		7	BESİN NEOFOBİSİ VE SEÇİCİ BESLENME ARASINDAKİ İLİŞKİ	Esile Kübra ELÇİ Tünay KONTAŞ AŞKAR
		8	SUMACH (Rhus coriaria L.) AND ITS POTENTIAL THERAPEUTIC BENEFITS ON HUMAN HEALTH	Prof. Dr H.Ahmet DEVECİ Lecturer Ayla DEVECİ
		9	ANTIOXIDANT AND ANTIMICROBIAL EFFECTS OF CURCUMIN	Prof. Dr H.Ahmet DEVECİ Lecturer Ayla DEVECİ
		10	PATOLOJİDE FARKLI DOKU TİPLERİNE GÖRE GÖMME YÖNTEMLERİ: TEKNİK YÖNLENDİRME VE TANISAL ÖNEMİ	Doktor Öğretim Üyesi, Özlem ÖNEN ÇELEBİ Uzman Biyolog, Hatice BEŞEREN Doktor Öğretim Üyesi, Yasemin Sezgin
		11	HİSTOKİMYA LABORATUVARLARINDA OTOMATİK BOYAMA CİHAZLARININ VERİMLİLİK VE TEKNİK UYGUNLUK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	Doktor Öğretim Üyesi, Özlem ÖNEN ÇELEBİ Uzman Biyolog, Hatice BEŞEREN Doktor Öğretim Üyesi, Yasemin Sezgin

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Öğr. Üyesi Ramazan TOSUN**	1	QUALITIES OF EXPANDED PERLITE IN AGRICULTURAL USE	Zeyni DUYMAZ Prof. Dr. Haluk BAŞAR
		2	EFFECTS OF SOLID-STATE FERMENTATION ON THE NUTRIENT CONTENT AND DIGESTIBILITY OF STRAW	Dr. Öğr. Üyesi Ramazan TOSUN Prof. Dr. Ali İhsan ATALAY
		3	EFFECTS OF FERMENTATION WITH DIFFERENT INOCULATES ON IN VITRO PARAMETERS OF WHEAT STRAW	Dr. Öğr. Üyesi Ramazan TOSUN Araş. Gör. Ali KAYA Prof. Dr. Ali İhsan ATALAY
		4	THE EFFECT OF FERMENTATİON USİNG DİFFERENT MİCROBİAL INOCULANTS ON THE IN VİTRO PARAMETERS OF CORN STRAW	Prof. Dr. Ali İhsan ATALAY Araş. Gör. Ali KAYA Dr. Öğr. Üyesi Ramazan TOSUN
		5	THE EFFECT OF REGIONAL VARIATION ON CONDENSED TANNINE CONTENT IN LOTUS CORNICULATUS	Prof. Dr. Ali İhsan ATALAY Dr. Öğr. Üyesi Ramazan TOSUN

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Prof. Dr. Musa GÖGEBAKAN**	1	TÜRKİYE'DE ENERJİ KAYNAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ALAŞIMLARIN HİDROJEN DEPOLAMA PERFORMANSI	Prof. Dr. Musa GÖGEBAKAN
		2	DOĞADAKİ DÜZENSİZLİK: ENTROPİ	Prof. Dr. Musa GÖGEBAKAN
		3	06 ŞUBAT 2023 DEPREMLERİNİN TARİHİ YIĞMA MİNARELERDEKİ ETKİSİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA: ADIYAMAN ÖRNEĞİ	Prof. Dr. Ercan IŞIK Doç. Dr. Fatih AVCİL Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ
		4	ZEMİN SORUNLARI	Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ Prof. Dr. Ercan IŞIK Doç. Dr. Fatih AVCİL
		5	EFFECT OF USING WASTE MARBLE POWDER INSTEAD OF CEMENT IN CONCRETE PRODUCTION ON COMPRESSIVE STRENGTH AND MATERIAL CHARACTERISTICS	FURKAN EREN MUHAMMET ZEKİ ÖZYURT Ömer Fatih SANCAK Zainab Nafea ABDULRAHMAN ABDULRAHMAN
		6	EFFECT OF DIFFERENT REINFORCEMENT LAYOUTS ON THE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS UNDER AXIAL LOAD	Zainab Nafea ABDULRAHMAN ABDULRAHMAN MUHAMMET ZEKİ ÖZYURT FURKAN EREN Ömer Fatih SANCAK

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Öğr. Gör. Dr. Celal CAN**	1	TOPLULUK ÖĞRENME YAKLAŞIMI İLE KİMLİK AVI WEB SİTELERİNİN TESPİTİ	Öğr. Gör. Dr. Celal CAN
		2	BEYİN TÜMÖRÜ TANISINDA DERİN ÖĞRENME YAKLAŞIMLARI	Arş. Gör. Vahap Bahadır BABACAN Doç. Dr. Yasin KAYA
		3	YENİLİKÇİ ŞEN METODU KULLANARAK MERSİN'DE YAĞIŞLI GÜN SAYILARINDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ	Prof. Dr. Murat KARABULUT Dr. Öğrencisi Hüsna KAZI
		4	DOĞU AKDENİZ GEÇİŞ KUŞAĞINDA TROPİK GECE EĞİLİMLERİNİN MEKÂNSAL-ZAMANSAL ANALİZİ: GAZİANTEP, KİLİS VE İSLÂHİYE ÖRNEĞİ	Prof. Dr. Murat KARABULUT Dr. Öğrencisi Hüsna KAZI

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assoc. Prof. Dr. Haruto Yamashita**	1	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIO-BASED POLYMER NANOCOMPOSITES FOR ENVIRONMENTAL APPLICATIONS	Prof. Dr. Arjun Mehta Dr. Kavita Ramesh Anil Verma
		2	INVESTIGATION OF CATALYTIC ACTIVITY IN TRANSITION METAL OXIDES FOR GREEN HYDROGEN PRODUCTION	Assoc. Prof. Dr. Priya Nair Rajesh Menon Prof. Dr. Harish Venkatesh Dr. Sandeep Choudhary Ryo Tanaka
		3	DESIGN OF NOVEL ORGANOMETALLIC COMPLEXES AS EFFICIENT PHOTOCATALYSTS UNDER VISIBLE LIGHT	Dr. Neha Kapoor
		4	ENHANCED SUPERCAPACITOR PERFORMANCE USING GRAPHENE-BASED HYBRID MATERIALS	Prof. Dr. Kenji Nakamura Dr. Aiko Matsuda
		5	ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CERIUM-DOPED OXIDE FILMS FOR SENSOR APPLICATIONS	Assoc. Prof. Dr. Haruto Yamashita Ayaka Fujimoto Takuya Morimoto
		6	DEVELOPMENT OF ADVANCED THERMALLY STABLE POLYIMIDES FOR SPACE MATERIALS	Dr. Naoki Sugahara Prof. Dr. Emi Kobayashi Hanae Watanabe
		7	SPECTROSCOPIC ANALYSIS OF METAL-LIGAND INTERACTIONS IN RARE EARTH COMPLEXES	Assoc. Prof. Dr. Viktar Kuzniatsou Dr. Hanna Barysava Aliaksandr Ramanau
		8	STRUCTURAL AND OPTICAL CHARACTERIZATION OF SILVER-DOPED ZINC OXIDE NANOPARTICLES	Dr. Maryia Karatkevich Prof. Dr. Pavel Zhurko Dzmitry Asanau

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Yumi Kagawa**	1	UNDERSTANDING THE MECHANICAL BEHAVIOR OF NOVEL COMPOSITE MATERIALS UNDER HIGH STRESS CONDITIONS	Prof. Dr. Karim Bensalem Ahmed Ziane
		2	ADVANCES IN NANOSTRUCTURED CERAMIC COATINGS FOR HIGH-TEMPERATURE APPLICATIONS	Assoc. Prof. Dr. Samira Haddad Dr. Mourad Belkacem Leila Ould Amar
		3	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FOR MEDICAL USE	Noureddine Boukhalfa Prof. Dr. Farida Benamara Yuki Matsumoto
		4	ENHANCING THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF GRAPHENE-BASED COMPOSITES	Hiroshi Tanaka Assoc. Prof. Dr. Keiko Sato
		5	DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT METAL ALLOYS FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY	Dr. Akira Fujimoto
		6	OPTIMIZATION OF THERMOELECTRIC MATERIALS FOR ENERGY HARVESTING	Assoc. Prof. Dr. Yumi Kagawa
		7	CORROSION RESISTANCE IMPROVEMENT IN ADVANCED STEEL GRADES	Dr. Martijn de Vries Lars van den Berg Sander Visser Femke de Groot
		8		

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Dr. Angelica Reyes**	1	UNDERSTANDING THE IMPACT OF NURSING INTERVENTIONS ON PATIENT RECOVERY RATES	Prof. Dr. Ahsan Malik Dr. Sana Qureshi Ali Raza Hamid Ali
		2	EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF COMMUNITY HEALTH NURSING PROGRAMS IN RURAL AREAS	Assoc. Prof. Dr. Farah Naz
		3	NURSES' ROLE IN PROMOTING MENTAL HEALTH AWARENESS AMONG ADOLESCENTS	Dr. Maria Lopez Catalina Rojas Sofia Alvarez
		4	ASSESSING THE QUALITY OF CARE IN INTENSIVE CARE UNITS THROUGH NURSING AUDITS	Claudia Herrera Prof. Dr. Ignacio Soto
		5	THE INFLUENCE OF CONTINUOUS PROFESSIONAL DEVELOPMENT ON NURSING PERFORMANCE	Isabel Vargas Dr. Felipe Molina
		6	EXPLORING PATIENT SATISFACTION LEVELS IN HOSPITAL NURSING SERVICES	Marie Santos Assoc. Prof. Dr. Juan dela Cruz
		7	NURSES' PERCEPTIONS OF TELEHEALTH IMPLEMENTATION DURING PANDEMIC TIMES	Dr. Angelica Reyes Ramon Bautista
		8		

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Prof. Dr. Chun-Yi Huang**	1	PHARMACEUTICAL NANOPARTICLE DELIVERY SYSTEMS FOR TARGETED CANCER THERAPY	Prof. Dr. Adeel Khan Dr. Maria Iqbal Assis. Prof. Dr. Salman Ahmed
		2	ADVANCES IN HERBAL MEDICINE FORMULATIONS AND THEIR PHARMACOLOGICAL EFFECTS	Dr. Hina Shah Assoc. Prof. Dr. Farhan Ali
		3	NOVEL SYNTHETIC ROUTES FOR ANTI-DIABETIC DRUGS AND THEIR BIOAVAILABILITY	Prof. Dr. Rizwan Qureshi Dr. Sana Tariq Dr. Imran Bashir
		4	APPLICATION OF LIPOSOMAL CARRIERS IN ANTIVIRAL THERAPY	Dr. Mei-Ling Chen Assis. Prof. Dr. Wei-Hao Lin
		5	PHARMACOKINETIC MODELING OF NEW ANTI-INFLAMMATORY COMPOUNDS	Prof. Dr. Chun-Yi Huang
		6	EVALUATION OF DRUG INTERACTIONS IN POLYPHARMACY AMONG ELDERLY PATIENTS	Dr. Salim Al-Mahri

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof. Dr. Nurzat Sadykova**	1	INNOVATIVE STRUCTURAL DESIGN APPROACHES FOR EARTHQUAKE-RESISTANT BUILDINGS USING ADVANCED SIMULATION TOOLS	Prof. Dr. Nurzat Sadykova Assoc. Prof. Dr. Bakytbek Tursunov Aizada Kalykova
		2	OPTIMIZATION OF HYDROPOWER TURBINE BLADES THROUGH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANALYSIS	Dr. Ulan Bekturov Nursultan Tashiev Zhypargul Aitmatova
		3	SMART SENSOR INTEGRATION FOR IMPROVED ROAD SAFETY IN AUTONOMOUS VEHICLE SYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Aibek Mamatov Tilek Kudaibergenov Asel Zhantoro
		4	DEVELOPMENT OF LOW-COST SOLAR WATER HEATING SYSTEMS FOR RURAL COMMUNITIES	Prof. Dr. Mekdes Abebe Abel Getachew Fikirte Degu
		5	ENHANCED BIOMASS GASIFICATION TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE ENERGY PRODUCTION	Dr. Tesfaye Alemu Assoc. Prof. Dr. Mulugeta Fikadu Sara Kidane
		6	STRUCTURAL OPTIMIZATION OF BAMBOO-BASED COMPOSITE MATERIALS FOR GREEN CONSTRUCTION	Hanna Girma Dr. Yonas Tilahun Prof. Dr. Lemlem Tadesse
		7	THERMAL MANAGEMENT IN ELECTRIC VEHICLES USING ADVANCED PHASE CHANGE MATERIALS	Assoc. Prof. Dr. Pavel Smirnov Dr. Irina Volkova Mikhail Andreev
		8		

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr. Meron Bekele**	1	IMMUNE RESPONSE AND VACCINE EFFICACY IN DAIRY CATTLE	Prof. Dr. Reza Moradi Dr. Sahar Ahmadi Ali Tavakoli
		2	ADVANCES IN DIAGNOSIS AND TREATMENT OF CANINE PARVOVIRUS INFECTIONS	Assoc. Prof. Dr. Nima Ghasemi Leila Farhadi
		3	EVALUATION OF ANTI-PARASITIC DRUGS IN SHEEP FLOCKS: RESISTANCE PATTERNS	Dr. Hossein Kiani Mohammad Rezaei
		4	PREVALENCE AND MOLECULAR CHARACTERIZATION OF AVIAN INFLUENZA IN POULTRY FARMS	Dr. Meron Bekele Assoc. Prof. Dr. Tsegaye Alemu
		5	NUTRITIONAL INTERVENTIONS TO IMPROVE REPRODUCTION IN DAIRY GOATS	Mesfin Tesfaye Dr. Hana Belay
		6	STRATEGIES FOR CONTROLLING BOVINE TUBERCULOSIS IN LARGE HERDS	Dr. Ahmed Hassan Prof. Dr. Mohamed El-Sayed
		7	EPIDEMIOLOGICAL STUDY OF FLEA-BORNE DISEASES IN DOMESTIC CATS	Sara Kamal Dr. Youssef Mansour Ali El-Mahdy
		8	EFFECT OF ENVIRONMENTAL STRESS ON POULTRY IMMUNE FUNCTION	Dr. Hani Salah Nouran Abdelrahman

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Dr. Lasha Kapanadze**	1	AI-ENABLED PREDICTIVE MAINTENANCE SYSTEMS FOR SEMICONDUCTOR FABRICATION EQUIPMENT	Prof. Dr. Wei-Lun Chen Dr. Ming-Hsuan Li Yi-Jen Wang
		2	FLEXIBLE WEARABLE ANTENNAS FOR 5G HEALTH MONITORING DEVICES USING GRAPHENE NANOMATERIALS	Assoc. Prof. Dr. Shu-Yi Lin Hao-Ting Wu Chia-Wei Chang
		3	LOW-POWER IOT SENSOR NETWORKS FOR PRECISION AGRICULTURE IN ETHIOPIAN HIGHLANDS	Dr. Abel Tadesse Meron Getachew
		4	MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR SOLAR PANEL FAULT DETECTION IN REMOTE ETHIOPIAN VILLAGES	Dr. Selamawit Bekele Dawit Asfaw Tigist Yohannes
		5	WIDEBAND MILLIMETER-WAVE ANTENNA ARRAYS FOR 5G BASE STATIONS IN SAUDI DESERT ENVIRONMENTS	Assis. Prof. Dr. Khalid Alghamdi Faisal Alotaibi
		6	GaN-BASED HIGH-EFFICIENCY POWER AMPLIFIERS FOR SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS	Dr. Noor Al-Mansour Abdullah Alharbi Sara Alghamdi
		7	RF ENERGY HARVESTING CIRCUITS FOR SMART CITY APPLICATIONS IN TBILISI URBAN INFRASTRUCTURE	Dr. Giorgi Tsiklauri Nino Chikhradze Mariam Gelashvili Irakli Beridze
		8	MACHINE VISION SYSTEMS FOR INDUSTRIAL QUALITY CONTROL IN GEORGIAN MANUFACTURING	Dr. Lasha Kapanadze

BINGOL 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES March 27-29 , 2026 BINGOL Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Mart / March 28, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Assoc. Prof. Dr. Gulnara Abayeva,**	1	MATERNAL NUTRITIONAL COUNSELING INTERVENTIONS BY NURSES FOR GESTATIONAL DIABETES PREVENTION IN RURAL KAZAKHSTAN	Prof. Dr. Aigerim Zhumadilova, Dr. Nursultan Bektasov, Dana Tolegenova, Aidana Kassenova
		2	NURSE-LED PRENATAL EDUCATION PROGRAMS IMPROVING BIRTH OUTCOMES AMONG ADOLESCENT MOTHERS IN URBAN KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Gulnara Abayeva, Yerzhan Nurtayev, Aizhan Sadykova
		3	EFFECTIVENESS OF NURSE-IMPLEMENTED NON-PHARMACOLOGICAL PAIN RELIEF DURING LABOR IN IRANIAN MATERNITY WARDS	Dr. Sara Langaroudi, Assoc. Prof. Dr. Mehran Tavakoli, Yasaman Sharifi
		4	IRANIAN NURSES' ROLES IN EARLY DETECTION AND MANAGEMENT OF HYPERTENSIVE DISORDERS IN PREGNANCY	Prof. Dr. Mina Hosseini, Leila Bahrami
		5	NURSE-DRIVEN COMMUNITY HEALTH WORKER MODELS FOR MATERNAL ANEMIA SCREENING IN RURAL INDIAN VILLAGES	Dr. Anjali Mehta, Assoc. Prof. Dr. Prakash Nair, Sameer Kulkarni
		6	INDIAN NURSES' TRAINING PROTOCOLS FOR BREASTFEEDING SUPPORT AND LACTATION CONSULTATION IN POSTPARTUM CARE	Dr. Priya Neha
		7	GEORGIAN NURSES' IMPLEMENTATION OF MIDWIFERY-LED CARE MODELS FOR LOW-RISK PREGNANCIES	Assoc. Prof. Dr. Nino Chikhradze, Dr. Tamar Kapanadze, Giorgi Gelashvili
		8	CONTINUOUS MIDWIFE SUPPORT DURING LABOR AND ITS IMPACT ON CESAREAN SECTION RATES IN TBILISI HOSPITALS	Prof. Dr. Mariam Tsiklauri, Lasha Beridze

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Contents

METAL HİDRİTLER İLE HİDROJEN DEPOLAMA: MALZEME VE SİSTEM DÜZEYİNDE BİR DERLEME..... 1

ŞEBEKEYE BAĞLI ÇBAG TABANLI RÜZGAR ÇİFTLİĞİNDE ALT-SENKRON SALINIMLAR İÇİN EK SÖNÜMLEME VE REZONANS KONTROL MODELLERİN GELİŞTİRİLMESİ 16

GÜÇ SİSTEMLERİNDE STATİK KONDENSER+TCSC İLE STATİK GERİLİM KARARLILIĞININ İNCELENMESİ ... 26

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA KANAT MALZEMESİ SEÇİMİ İÇİN MABAC ANALİZİ 34

İHA İNİŞ DESTEK YAPISININ METALİK BİLEŞENLERİ İÇİN KARAR DESTEK ANALİZİ..... 43

ARAÇ KOLTUK DÖŞEMESİNDE HAVA GEÇİRGENLİĞİ VE AKUSTİK EMİLİM DENGESİ 53

GÜNEŞ YÜKÜNDE KIZILÖTESİ (IR) YANSITICI PİGMENTLİ TEKSTİL KAPLAMASI İLE ARAÇ KABİN ISINMASININ AZALTILMASI..... 58

BAĞ EVLERİ İÇİN DOĞAL GAZLI ISITMA SİSTEMLERİNDE ALÜMİNYUM BACA TİPLERİNİN PERFORMANSININ SİMÜLASYON DESTEKLİ İNCELENMESİ..... 63

BİNA İÇİ VE BİNA DIŞI BACA YERLEŞİMLERİNİN HAFİF BETON MALZEMELERLE ENERJİ–EMİSYON PERFORMANSININ SİMÜLASYON ANALİZİ..... 73

PROPHET VE TBATS MODELLERİ KULLANILARAK ENERJİ SEKTÖRÜNDE TALEP TAHMİNİ 81

HDBSCAN TABANLI DENETİMSİZ ÖĞRENME YÖNTEMİ İLE ENERJİ SEKTÖRÜNDE TEDARİK ZİNCİRİ RİSK MODELLEMESİ 82

ANALYSIS OF AIRPORT AND AIRCRAFT FACTORS AFFECTING LTO-RELATED CARBON EMISSIONS..... 83

SYNTHESİS OF DIOXOISOINDOLIN-2-YL-SUBSTTİTUTED-1,2,3- TRİAZOLE-CONTAINING NEW SULFONAMİDE DERİVATİVES..... 88

TOZ METALÜRJİSİ İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE BOR NİTRÜR TAKVİYESİNİN KOMPOZİTİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ 89

C45E ÇELİĞİNDE MENEVİŞLEME SICAKLIĞI VE SÜRESİNİN ÖNCEKİ ÖSTENİT TANE SINIRLARINA ETKİSİ 97

SIL İŞLEM GÖRMÜŞ SARIÇAM'A FARKLI YAĞLAR NÜFUZ EDİLEREK BAHÇE MOBİLYALARINA ALTERNATİF OLUŞTURMASI 105

INTEGRATING JAL JEEVAN MISSION AND SWACHH BHARAT MISSION: LINKING WATER QUALITY, SANITATION DEFICITS AND DISEASE BURDEN IN RURAL INDIA WITH A FOCUS ON DELHI-NCR..... 121

VIRULENCE THROUGH ASSOCIATION: CORRELATING THE RELATIONSHIP BETWEEN VEGETATIVE COMPATIBILITY GROUPS AND FORMAE SPECIALES IN *FUSARIUM OXYSPORUM* AFFECTING ALLIUM SPECIES 123

FERULA BİTKİSİ VE DİYABETTEKİ ETKİNLİĞİ 124

RAT MODELLERİNDE *URTİCA DİOİCA* EKSTRAKTININ *FARMAKOLOJİK* ETKİLERİ: GÜNCEL DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DERLEMESİ..... 136

THE EFFECT OF SMOKING ON POSTOPERATIVE NAUSEA AND VOMITING IN PATIENTS UNDERGOING GENERAL ANESTHESIA: A SINGLE-CENTER RETROSPECTIVE OBSERVATIONAL STUDY..... 148

BESİN NEOFOBİSİ VE SEÇİCİ BESLENME ARASINDAKİ İLİŞKİ 160

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ ÖĞRENCİLERİNİN BESİN NEOFOBİSİ DÜZEYLERİ 175

HİSTOKİMYA LABORATUVARLARINDA OTOMATİK BOYAMA CİHAZLARININ VERİMLİLİK VE TEKNİK UYGUNLUK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ 176

PATOLOJİDE FARKLI DOKU TİPLERİNE GÖRE GÖMME YÖNTEMLERİ: TEKNİK YÖNLENDİRME VE TANISAL ÖNEMİ 177

GENLEŞMİŞ PERLİTİN TARIMSAL KULLANIMINDAKİ NİTELİKLERİ QUALITIES OF EXPANDED PERLITE IN AGRICULTURAL USE 179

KATI-FAZ FERMANTASYONUN SAMANLARIN BESİN MADDE İÇERİĞİ VE SİNDİRİLEBİLİĞİNE ETKİLERİ .. 181

FARKLI İNOKULATLARLA FERMENTE EDİLEN BUĞDAY SAMANININ *İN VİTRO* PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ 191

LOTUS CORNİCULATUS'DA BÖLGESEL VARYASYONUN KONDANSE TANEN İÇERİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ 200

FARKLI MİKROBİYAL İNOKULANTLAR KULLANILARAK UYGULANAN FERMANTASYONUNUN MISIR SAMANININ *İN VİTRO* PARAMETRELERİNE ETKİSİ 202

TÜRKİYE'DE ENERJİ KAYNAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ALAŞIMLARIN HİDROJEN DEPOLAMA PERFORMANSI 211

DOĞADAKİ DÜZENSİZLİK: ENTROPİ 216

ZEMİN SORUNLARI 220

06 ŞUBAT 2023 DEPREMLERİNİN TARİHİ YIĞMA MİNARELERDEKİ ETKİSİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA: ADIYAMAN ÖRNEĞİ 230

FARKLI DONATI YERLEŞİM ŞEKİLLERİNİN EKSENEL YÜK ALTINDAKİ BETONARME KOLON DAYANIMINA ETKİSİ 243

TOPLULUK ÖĞRENME YAKLAŞIMI İLE KİMLİK AVI WEB SİTELERİNİN TESPİTİ 250

BEYİN TÜMÖRÜ TANISINDA DERİN ÖĞRENME YAKLAŞIMLARI 258

YENİLİKÇİ ŞEN METODU KULLANARAK MERSİN'DE YAĞIŞLI GÜN SAYILARINDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ 265

DOĞU AKDENİZ GEÇİŞ KUŞAĞINDA TROPİK GECE EĞİLİMLERİNİN MEKÂNSAL-ZAMANSAL ANALİZİ: GAZİANTEP, KİLİS VE İSLÂHİYE ÖRNEĞİ 276

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIO-BASED POLYMER NANOCOMPOSITES FOR ENVIRONMENTAL APPLICATIONS 286

INVESTIGATION OF CATALYTIC ACTIVITY IN TRANSITION METAL OXIDES FOR GREEN HYDROGEN PRODUCTION 287

DESIGN OF NOVEL ORGANOMETALLIC COMPLEXES AS EFFICIENT PHOTOCATALYSTS UNDER VISIBLE LIGHT 288

ENHANCED SUPERCAPACITOR PERFORMANCE USING GRAPHENE-BASED HYBRID MATERIALS 289

ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CERIUM-DOPED OXIDE FILMS FOR SENSOR APPLICATIONS 290

DEVELOPMENT OF ADVANCED THERMALLY STABLE POLYIMIDES FOR SPACE MATERIALS 291

SPECTROSCOPIC ANALYSIS OF METAL-LIGAND INTERACTIONS IN RARE EARTH COMPLEXES 292

STRUCTURAL AND OPTICAL CHARACTERIZATION OF SILVER-DOPED ZINC OXIDE NANOPARTICLES 293

UNDERSTANDING THE MECHANICAL BEHAVIOR OF NOVEL COMPOSITE MATERIALS UNDER HIGH STRESS CONDITIONS 294
ADVANCES IN NANOSTRUCTURED CERAMIC COATINGS FOR HIGH-TEMPERATURE APPLICATIONS 295
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FOR MEDICAL USE 296
ENHANCING THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF GRAPHENE-BASED COMPOSITES 297
DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT METAL ALLOYS FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY..... 298
OPTIMIZATION OF THERMOELECTRIC MATERIALS FOR ENERGY HARVESTING 299
CORROSION RESISTANCE IMPROVEMENT IN ADVANCED STEEL GRADES 300
UNDERSTANDING THE IMPACT OF NURSING INTERVENTIONS ON PATIENT RECOVERY RATES..... 301
EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF COMMUNITY HEALTH NURSING PROGRAMS IN RURAL AREAS 302
NURSES' ROLE IN PROMOTING MENTAL HEALTH AWARENESS AMONG ADOLESCENTS..... 303
ASSESSING THE QUALITY OF CARE IN INTENSIVE CARE UNITS THROUGH NURSING AUDITS..... 304
THE INFLUENCE OF CONTINUOUS PROFESSIONAL DEVELOPMENT ON NURSING PERFORMANCE 305
EXPLORING PATIENT SATISFACTION LEVELS IN HOSPITAL NURSING SERVICES..... 306
NURSES’ PERCEPTIONS OF TELEHEALTH IMPLEMENTATION DURING PANDEMIC TIMES..... 307
PHARMACEUTICAL NANOPARTICLE DELIVERY SYSTEMS FOR TARGETED CANCER THERAPY 308
ADVANCES IN HERBAL MEDICINE FORMULATIONS AND THEIR PHARMACOLOGICAL EFFECTS 309
NOVEL SYNTHETIC ROUTES FOR ANTI-DIABETIC DRUGS AND THEIR BIOAVAILABILITY..... 310
APPLICATION OF LIPOSOMAL CARRIERS IN ANTIVIRAL THERAPY..... 311
PHARMACOKINETIC MODELING OF NEW ANTI-INFLAMMATORY COMPOUNDS 312
EVALUATION OF DRUG INTERACTIONS IN POLYPHARMACY AMONG ELDERLY PATIENTS 313
INNOVATIVE STRUCTURAL DESIGN APPROACHES FOR EARTHQUAKE-RESISTANT BUILDINGS USING ADVANCED SIMULATION TOOLS 314
OPTIMIZATION OF HYDROPOWER TURBINE BLADES THROUGH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANALYSIS 315
SMART SENSOR INTEGRATION FOR IMPROVED ROAD SAFETY IN AUTONOMOUS VEHICLE SYSTEMS. 316
DEVELOPMENT OF LOW-COST SOLAR WATER HEATING SYSTEMS FOR RURAL COMMUNITIES..... 317
ENHANCED BIOMASS GASIFICATION TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE ENERGY PRODUCTION 318
STRUCTURAL OPTIMIZATION OF BAMBOO-BASED COMPOSITE MATERIALS FOR GREEN CONSTRUCTION 319
THERMAL MANAGEMENT IN ELECTRIC VEHICLES USING ADVANCED PHASE CHANGE MATERIALS 320
IMMUNE RESPONSE AND VACCINE EFFICACY IN DAIRY CATTLE 321
ADVANCES IN DIAGNOSIS AND TREATMENT OF CANINE PARVOVIRUS INFECTIONS..... 322
EVALUATION OF ANTI-PARASITIC DRUGS IN SHEEP FLOCKS: RESISTANCE PATTERNS..... 323
PREVALENCE AND MOLECULAR CHARACTERIZATION OF AVIAN INFLUENZA IN POULTRY FARMS..... 324
NUTRITIONAL INTERVENTIONS TO IMPROVE REPRODUCTION IN DAIRY GOATS 325

STRATEGIES FOR CONTROLLING BOVINE TUBERCULOSIS IN LARGE HERDS 326

EPIDEMIOLOGICAL STUDY OF FLEA-BORNE DISEASES IN DOMESTIC CATS 327

EFFECT OF ENVIRONMENTAL STRESS ON POULTRY IMMUNE FUNCTION 328

AI-ENABLED PREDICTIVE MAINTENANCE SYSTEMS FOR SEMICONDUCTOR FABRICATION EQUIPMENT 329

FLEXIBLE WEARABLE ANTENNAS FOR 5G HEALTH MONITORING DEVICES USING GRAPHENE NANOMATERIALS 330

LOW-POWER IOT SENSOR NETWORKS FOR PRECISION AGRICULTURE IN ETHIOPIAN HIGHLANDS 331

MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR SOLAR PANEL FAULT DETECTION IN REMOTE ETHIOPIAN VILLAGES 332

WIDEBAND MILLIMETER-WAVE ANTENNA ARRAYS FOR 5G BASE STATIONS IN SAUDI DESERT ENVIRONMENTS 333

GaN-BASED HIGH-EFFICIENCY POWER AMPLIFIERS FOR SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS 334

RF ENERGY HARVESTING CIRCUITS FOR SMART CITY APPLICATIONS IN TBILISI URBAN INFRASTRUCTURE 335

MACHINE VISION SYSTEMS FOR INDUSTRIAL QUALITY CONTROL IN GEORGIAN MANUFACTURING .. 336

NURSE-LED PRENATAL EDUCATION PROGRAMS IMPROVING BIRTH OUTCOMES AMONG ADOLESCENT MOTHERS IN URBAN KAZAKHSTAN 337

EFFECTIVENESS OF NURSE-IMPLEMENTED NON-PHARMACOLOGICAL PAIN RELIEF DURING LABOR IN IRANIAN MATERNITY WARDS 338

IRANIAN NURSES' ROLES IN EARLY DETECTION AND MANAGEMENT OF HYPERTENSIVE DISORDERS IN PREGNANCY 339

NURSE-DRIVEN COMMUNITY HEALTH WORKER MODELS FOR MATERNIA ANEMIA SCREENING IN RURAL INDIAN VILLAGES 340

INDIAN NURSES' TRAINING PROTOCOLS FOR BREASTFEEDING SUPPORT AND LACTATION CONSULTATION IN POSTPARTUM CARE 341

GEORGIAN NURSES' IMPLEMENTATION OF MIDWIFERY-LED CARE MODELS FOR LOW-RISK PREGNANCIES 342

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

METAL HİDRİTLER İLE HİDROJEN DEPOLAMA: MALZEME VE SİSTEM DÜZEYİNDE BİR DERLEME

Arş. Gör. , Zeynep ERDEM

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, zynperdm78@gmail.com - 0009-0004-8401-2638

Prof. Dr. , Ahmet GÜRAL

Gazi Üniversitesi, agural@gazi.edu.tr - 0000-0002-6211-8827

Prof. Dr. , Battal DOĞAN

Gazi Üniversitesi, battaldogan@gazi.edu.tr - 0000-0001-5542-4853

ÖZET

Bu derleme çalışması, hidrojen depolama imkânı sunan metal hidrit malzemeler üzerine yapılan güncel araştırmaları bir araya getirerek, mevcut durumu, karşılaşılan temel zorlukları ve gelecekte çalışılabilecek araştırma yönlerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Metal hidritlerin yüksek hacimsel depolama kapasitesi ve düşük basınçta çalışabilme gibi önemli avantajları ele alınmış; buna karşın ticarileşmeyi sınırlandıran yüksek termodinamik kararlılık, yavaş hidrojen adsorpsiyon ve desorpsiyon kinetiği ile tekrarlı kullanım sırasında oluşan yapısal bozulmalar değerlendirilmiştir. Literatüre dayalı bu çalışma kapsamında, endüstriyel saflıktaki hidrojenin malzeme üzerindeki mekanik etkileri ve sistem düzeyinde gereksinimleri gibi yeterince ele alınmamış konulara dikkat çekilmiştir. Elde edilen bulgular, mevcut malzeme ve sistem kısıtlarının net biçimde tanımlandığını ve bu kısıtların aşılmasına yönelik olarak veri temelli tasarım yaklaşımları ile farklı depolama yöntemlerini bir araya getiren çözümlerin öne çıktığını göstermektedir. Bu çalışma, metal hidritler ile hidrojen depolama alanındaki literatürü sistematik olarak analiz ederek, güncel bilgileri ve yeni yaklaşımları bir araya getirmiş ayrıca gelecekte yapılacak araştırmalar için kümülatif bir bilgi altyapısı sunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Metal Hidritler, Hidrojen Depolama, Temiz Enerji, Yeşil Hidrojen

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

1. GİRİŞ

Hidrojen, yüksek enerji yoğunluğu ve yanma ürünü olarak yalnızca su vermesi nedeniyle geleceğin temiz enerji taşıyıcısı olarak öne çıkmaktadır. Dünya genelinde artan enerji talebi ve fosil yakıtların neden olduğu çevresel sorunlar, temiz, yenilenebilir ve yüksek enerji yoğunluğuna (119,9 MJ/kg) sahip bir enerji taşıyıcısı olan hidrojen enerjisine olan ilgiyi artırmıştır (Krishna vd. 2012; Y. Liu vd. 2024; Qureshi, Khan, ve Pali 2024). Ancak, sürdürülebilir bir hidrojen ekonomisinin hayata geçirilmesi yolundaki en kritik teknik engel, hidrojenin güvenli, verimli ve ekonomik bir şekilde depolanmasıdır (Alobaid, Kamil, ve Abdelrazek Khalil 2025; Hassan vd. 2021; Osman vd. 2024). Hidrojenin birim kütle başına enerji içeriği çok yüksek olsa da ortam koşullarındaki aşırı düşük yoğunluğu (0,089 kg/m³), büyük ölçekli depolama ve taşımada ciddi hacimsel kısıtlamalar yaratmaktadır (Celestine vd. 2021; Nivedhitha vd. 2024). Günümüzde hidrojen depolama teknolojileri temel olarak fiziksel depolama ve malzeme tabanlı depolama olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır (Celestine vd. 2021; Hassan vd. 2021).

Malzeme düzeyinde, metal hidritler; geçiş metalleri ve nadir toprak metallerinden oluşan intermetalik hidritler, hafif metal hidritler ve karmaşık (kompleks) metal hidritler gibi çeşitli sınıflara ayrılmaktadır (A. vd. 2012; Alobaid, Kamil, ve Abdelrazek Khalil 2025; Rusman ve Dahari 2016; Sato vd. 2023). Magnezyum hidrit (MgH2), yüksek gravimetrik kapasitesi (7,6 wt.%), bol bulunurluğu ve düşük maliyetiyle iyi bir aday olarak görülse de, yüksek bağ kararlılığı ve yavaş reaksiyon kinetiği pratik uygulamalarını zorlaştırmaktadır (A. vd. 2012; Larpruenrudee vd. 2025; Sakintuna, Lamaridarkrim, ve Hirscher 2007). Bu engelleri aşmak için nano yapılandırma, katalizör ilavesi ve alaşımlama gibi stratejiler yoğun şekilde çalışılmaktadır (Y. Liu vd. 2024; Rusman ve Dahari 2016; Sakintuna, Lamaridarkrim, ve Hirscher 2007). Ayrıca, son yıllarda yüksek entropili alaşımlar (HEA), benzersiz kristal yapıları ve ayarlanabilir özellikleri sayesinde yeni nesil hidrojen depolama malzemeleri olarak büyük umut vadetmektedir (Alobaid, Kamil, ve Abdelrazek Khalil 2025; Kong vd. 2023; Qureshi, Khan, ve Pali 2024). Bu derleme çalışması, metal hidritler ile hidrojen depolama konusunu hem temel malzeme bilimi hem de mühendislik sistemleri perspektifinden ele almaktadır. Çalışmanın amacı, farklı metal hidrit sınıflarının güncel durumunu, kinetik ve termodinamik iyileştirme yöntemlerini ve sistem düzeyindeki ısıl yönetim zorluklarını kapsamlı bir şekilde özetleyerek, bu teknolojinin ticarileşme yolundaki fırsatlarını ve gelecekteki araştırma yönlerini belirlemektir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

2. HİDROJEN DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

Hidrojenin yaygın kullanımının önündeki en kritik engellerden biri, düşük hacimsel enerji yoğunluğuna sahip bu gazın güvenli ve verimli biçimde depolanmasıdır. Gaz fazında, standart koşullar altında hacimsel alt ısıl değeri (LHV) yalnızca 0,01 MJ/L olan hidrojen (Alobaid, Kamil, ve Abdelrazek Khalil 2025), diğer yakıtlarla kıyaslandığında depolama açısından ciddi zorluklar barındırmaktadır. Literatürde dört temel depolama yaklaşımı tanımlanmaktadır.

2.1. Sıkıştırılmış Hidrojen Depolama

Sıkıştırılmış gaz halinde depolama, hidrojenin yüksek basınçlı kompozit silindirlerde (Tip III veya Tip IV) 350–700 bar basınç altında tutulmasına dayanmaktadır (James vd. 2018). Bu yöntemde depolama yoğunluğu 28–42 kg H_2/m^3, enerji verimliliği ise %80–85 aralığındadır. Düşük sıcaklık gereksinimi ve görece basit sistem tasarımı, bu teknolojiyi hafif araçlarda ve ilk nesil yakıt hücreli uygulamalarda yaygın kılmaktadır. Bununla birlikte, yüksek basınç koşulları nedeniyle silindir maliyeti ve güvenlik riskleri temel sınırlılıklar arasında yer almaktadır (Schlapbach ve Züttel 2001). Yatırım maliyeti yaklaşık 20 $/kWh, işletme ve bakım maliyeti ise 122 $/kg H_2 düzeyindedir (Alobaid, Kamil, ve Abdelrazek Khalil 2025).

2.2. Sıvı Hidrojen Depolama

Sıvı hidrojen depolama, hidrojenin -253 °C'nin (20 K) altındaki kriojenik sıcaklıklarda sıvılaştırılarak depolandığı bir yöntemdir (Bossel, Eliasson, ve Taylor 2003). Sıvı fazda hacimsel enerji yoğunluğu 2331–2664 kWh/m³'e ulaşmakta; bu değer sıkıştırılmış gaz depolamaya kıyasla yaklaşık iki kat daha yüksek olmaktadır. Uzay ve havacılık uygulamalarında yaygın biçimde kullanılan bu yöntem, son yıllarda ağır taşımacılık sektöründe de ilgi görmektedir. Temel dezavantajları; yoğunlaştırma sürecinin yüksek enerji tüketimi (%30–40 verimlilik) ve uzun süreli depolamada kaçınılmaz buharlaşma (boil-off) kaybıdır (Schlapbach ve Züttel 2001). Yatırım maliyeti 15 $/kWh, işletme maliyeti ise 2.046 $/kg H_2 olarak belirtilmektedir (Alobaid, Kamil, ve Abdelrazek Khalil 2025).

2.3. Yeraltı Hidrojen Depolama

Yeraltı depolama, hidrojenin tuz kavernleri, tükenmiş doğalgaz rezervuarları veya akifer oluşumları gibi jeolojik yapılarda büyük hacimli olarak muhafaza edilmesini kapsamaktadır (Heinemann vd. 2021). Bu yöntem, mevsimsel enerji dengesizliklerini gidermeye yönelik uzun süreli ve büyük ölçekli depolama için en düşük maliyet seçeneğini sunmakta; yatırım maliyeti yalnızca 0,21–0,52 $/kWh düzeyinde kalmaktadır. Enerji verimliliği %70–85 aralığında olup

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

işletme maliyeti 363 $/kg H_2'dir (Alobaid, Kamil, ve Abdelrazek Khalil 2025). Ancak jeolojik koşullara bağımlılık, yeraltı basınç yönetimi ve mikrobiyolojik bozunma gibi zorluklar bu teknolojinin uygulanabilirliğini coğrafi konuma göre önemli ölçüde farklılaştırmaktadır (Heinemann vd. 2021).

2.4. Malzeme Tabanlı Hidrojen Depolama

Malzeme tabanlı depolama; metal hidritler, karbon nanotüpler, MOF (metal-organik kafes yapılar) ve kimyasal hidritler gibi katı ya da sıvı malzemelerde hidrojenin fiziksel adsorpsiyon veya kimyasal absorpsiyon mekanizmalarıyla tutulmasına dayanmaktadır (Sakintuna, Lamaridarkrim, ve Hirscher 2007). Metal hidritler bu grup içinde en olgun teknoloji olarak öne çıkmakta; depolama yoğunluğu 50–150 kg H_2/m^3, enerji verimliliği ise %75–90 aralığına ulaşmaktadır. 1–20 bar gibi düşük çalışma basıncı ve orta düzeyde güvenlik profili, bu teknolojiyi taşıt ve sabit sistem uygulamaları için uygun hale getirmektedir (Mykhaylo V. Lototskyy vd. 2017). Yatırım maliyeti 13,7–15,6 $/kWh ile sıkıştırılmış gaz ve sıvı hidrojene yakın olmakla birlikte, işletme maliyeti 66 $/kg H_2 ile diğer teknolojilerin belirgin biçimde altında seyretmektedir (Alobaid, Kamil, ve Abdelrazek Khalil 2025). Bu yöntemin temel zorlukları; yüksek çalışma sıcaklıkları (30–300 °C), kinetik yavaşlık ve çevrim ömrü ile ilgili malzeme bozunmasıdır. Çizelge 1, bu yöntemlerin temel parametreler açısından karşılaştırmalı özetini sunmaktadır (Alobaid, Kamil, ve Abdelrazek Khalil 2025).

Çizelge 1. Hidrojen depolama yöntemlerinin karşılaştırması (Alobaid, Kamil, ve Abdelrazek Khalil 2025).

	Sıkıştırılmış Gaz Hidrojen Depolama	Sıvı Hidrojen Depolama	Yeraltı Hidrojen Depolama	Malzeme Temelli Hidrojen Depolama
Depolama Yoğunluğu (kg H2/m3)	28 – 42	70 – 80	Jeolojiye bağlı	50 – 150
Enerji Yoğunluğu (kWh/m3)	931 – 1399	2331 – 2664	Jeolojiye bağlı	1665 – 4995
Eneri Verimliliği (%)	80 – 85	30 – 40	70 – 85	75 – 90
Sıcaklık Gereksinimleri	Ortam / Görece Sıcak	-253°C	Ortam	30 – 300°C
Basınç Gereksinimleri (bar)	350 – 700	Ortam	Yüksek	1 – 20
Güvenlik ve Statik	Orta (Riskli)	Düşük	Yüksek	Orta
Yatırım Maliyeti ($/kWh)	20	15	0,21 – 0,52	13,7 – 15,6
İşletme ve Bakım Maliyetleri ($/kg H2)	122	2,046	363	66

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

3. METAL HİDRİTLERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Hidrojen, 119,9 MJ/kg değerindeki alt ısıl değeri (LHV) ile yaygın yakıtlar arasında en yüksek kütlesel enerji yoğunluğuna sahip enerji taşıyıcısıdır. Bu değer metana göre yaklaşık %140, benzine göre ise yaklaşık %170 oranında daha yüksektir. Dolayısıyla eşit kütlede yakıtlar karşılaştırıldığında hidrojenin daha fazla enerji içerdiği görülmektedir. Bu durum, özellikle taşıt uygulamalarında sistem ağırlığının azaltılmasının önemli olduğu durumlarda hidrojeni avantajlı kılmaktadır (Bossel, Eliasson, ve Taylor 2003; Turner 2004).

Hidrojenin üst ısıl değeri (HHV) ile alt ısıl değeri (LHV) arasındaki fark yaklaşık 22 MJ/kg seviyesindedir. Buna karşılık bu fark benzinde yaklaşık 3 MJ/kg civarındadır. Bu farkın temel nedeni, hidrojenin yanma ürünü olarak su oluşturması ve açığa çıkan suyun buharlaşma gizli ısısının pratik sistemlerde genellikle geri kazanılamamasıdır. Bu nedenle enerji sistemlerinin performans değerlendirmelerinde LHV esas alınması daha gerçekçi sonuçlar vermektedir (Cengel ve Boles 2002; Moran vd. 2010). Bununla birlikte hidrojenin hacimsel enerji yoğunluğu oldukça düşüktür. Ortam koşullarında gaz hâlindeki hidrojenin hacimsel enerji yoğunluğu yaklaşık 0,01 MJ/L iken, benzinde bu değer yaklaşık 32,9 MJ/L'dir. Bu büyük fark, hidrojenin depolanması ve taşınmasının temel bir mühendislik problemi olduğunu göstermektedir. Bu sınırlamayı aşmak amacıyla yüksek basınçlı sıkıştırma (örneğin 700 bar), kriyojenik sıvılaştırma (−253 °C) ve katı hâlde depolama yöntemleri geliştirilmiştir (Sakintuna, Lamaridarkrim, ve Hirscher 2007; Schlapbach ve Züttel 2001; Züttel 2003).

Çizelge 2. Hidrojen depolama yöntemlerinin karşılaştırması (Alobaid, Kamil, ve Abdelrazek Khalil 2025).

Yakıt	*Ortam Sıcaklığı ve Basıncındaki Hali*	*Üst Isıl Değer (HHV) (MJ/kg)*	*Alt Isıl Değer (LHV) (MJ/kg)*	*Hacimsel Alt Isıl Değer (LHV) (MJ/L)*
Hidrojen	Gaz	141,9	119,9	0,01
Metan	Gaz	55,5	50,0	0,03
Etan	Gaz	51,9	47,8	0,06
Benzin	Sıvı	47,5	44,5	32,90
Dizel	Sıvı	44,8	42,5	35,30
Metanol	Sıvı	20,0	18,1	14,30

Metal hidritler, hidrojenin metal atomlarının kristal yapı içine absorbe edilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu süreç üç aşamalı bir mekanizma izler: (i) hidrojen moleküllerinin metal yüzeyine adsorpsiyonu, (ii) moleküler hidrojenin atomik hidrojene ayrışması ve (iii) atomik hidrojenin metal kafesine absorpsiyonu ve difüzyonu (Schlapbach ve Züttel 2001). Bu süreç aşağıdaki temel reaksiyon denklemi ile ifade edilmektedir:

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

$$M + x/2\ H_2 \rightleftharpoons MH_x + \Delta H$$

↑ Basınç artışı / Sıcaklık düşüşü → Absorpsiyon (H_2 depolanır) | Sıcaklık artışı → Desorpsiyon (H_2 salınır)

Yukarıdaki denklemde M metal veya intermetalik alaşımı, MH_x ise oluşan metal hidriti ΔH ise bu reaksiyonda ortaya çıkan veya verilen ısı miktarını temsil etmektedir. Reaksiyon tersinir nitelikte olup denge konumu, sisteme uygulanan sıcaklık ve basınca göre yönlendirilebilmektedir (Sakintuna, Lamaridarkrim, ve Hirscher 2007). Bu reaksiyon tersinir nitelikte olup sıcaklık ve basınç koşullarıyla kontrol edilebilmektedir. Hidrojenin metale absorpsiyonu ekzotermik bir süreçtir (ΔH = -20 ila -100 kJ/mol H_2); buna karşılık desorpsiyon işlemi endotermik karakter sergilemektedir. Bu enerji dengesi, metal hidrit sistemlerinin tasarımında termal yönetimi kritik bir bileşen haline getirmektedir.

Absorpsiyon ΔH	Desorpsiyon	Hacimsel Genleşme	Geri Dönüşüm
−20 ile −100 kJ/mol H_2	Endotermik	%10–25	Tersinir (reversible)

Hidrojen gazı metal yüzeyiyle temas ettiğinde, H_2 molekülleri önce Langmuir adsorpsiyonu ile yüzeye adsorplanır ardından; Lennard-Jones potansiyel eğrisine göre fizisorpsiyon (~5–10 kJ/mol) ve ardından kemisorpsiyon (~20–50 kJ/mol) basamakları gerçekleşir (Jain, Lal, ve Jain 2010). Atomik hâle geçen hidrojen daha sonra kafes içindeki tetrahedral ve oktahedral boşluklara difüze olarak hidrür fazını oluşturur. Bu süreç ekzotermik olup açığa çıkan ısının uzaklaştırılması sistem tasarımının temel gerekliliklerinden birini oluşturmaktadır (Schlapbach ve Züttel 2001).

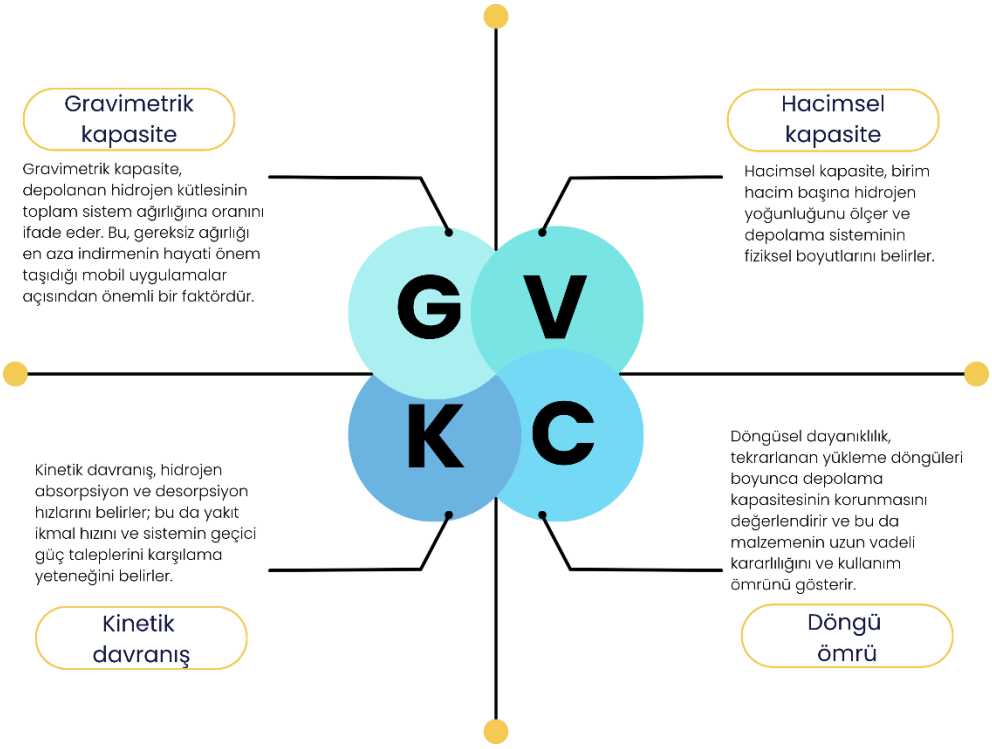
Sistemin sıcaklığı artırıldığında ya da basıncı denge basıncının altına düşürüldüğünde reaksiyon tersi yönde ilerler ve hidrür fazındaki hidrojen tekrar gaz formuna dönüşerek serbest kalır. Desorpsiyon endotermik bir süreçtir; bu nedenle pratikte atık ısı veya dışarıdan sağlanan termal enerji kullanılmaktadır. $LaNi_5$ gibi referans malzemelerde denge basıncı oda sıcaklığında 1–2 bar iken, MgH_2' de 300 °C üzeri sıcaklık gerektiği görülmektedir (Sakintuna, Lamaridarkrim, ve Hirscher 2007).

Metal hidrit sistemlerinin termodinamiği, PCT (Pressure-Composition-Temperature) izotermleri ile karakterize edilir. İzotermde belirgin bir plato bölgesi gözlenir; bu bölge, α (katı çözelti) ve β (hidrür) fazlarının birlikte bulunduğu iki fazlı dönüşüm aralığına karşılık gelir (Völkl ve Alefeld 1978). Plato basıncının sıcaklıkla logaritmik değişimi van 't Hoff bağıntısıyla ifade edilir:

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

$$ln(P) = \Delta H / RT - \Delta S / R$$

Burada; ΔH oluşum entalpisi, ΔS entropi değişimi, R gaz sabiti ve T mutlak sıcaklıktır. Bu bağıntı, malzemenin çalışma sıcaklığı ile kullanım basıncını belirlemede temel tasarım aracı olarak kullanılmaktadır (Völkl ve Alefeld 1978).

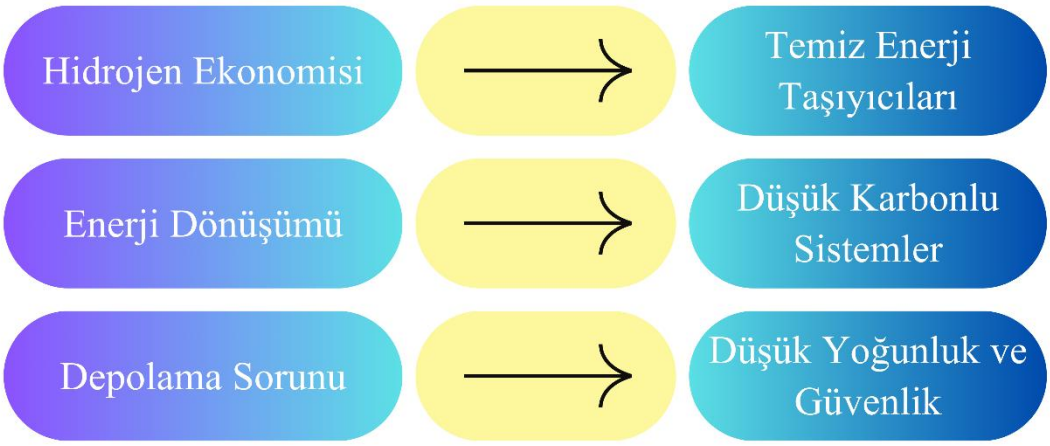


Görsel 1. Metal hidrit tabanlı hidrojen depolama sistemlerinin performansını belirleyen temel parametreler: gravimetrik kapasite (G), hacimsel kapasite (V), kinetik davranış (K) ve döngü ömrü (C). Gravimetrik kapasite, depolanan hidrojenin sistem ağırlığına oranını ifade ederken; hacimsel kapasite birim hacim başına depolanan hidrojen miktarını temsil etmektedir. Kinetik davranış hidrojenin absorpsiyon ve desorpsiyon hızlarını belirlerken, döngü ömrü malzemenin uzun süreli kararlılığını göstermektedir (DOE 2020).

Hidrojen absorpsiyonu sırasında metal kafesinde %10–25 oranında hacimsel genleşme meydana gelir (Alobaid, Kamil, ve Abdelrazek Khalil 2025). Tekrarlanan absorpsiyon–desorpsiyon döngüleri, bu hacimsel değişimler nedeniyle malzemede mekanik gerilme ve toz oluşumuna (pulverizasyon) yol açar. Oluşan ince partiküller yüzey alanını artırarak kinetik performansı iyileştirebilirken, aynı zamanda reaktör tıkanması ve ısı transferi sorunlarına da neden olabilmektedir (M.V. Lototskyy vd. 2014). Bu nedenle metal hidrit reaktörlerinin tasarımında filtre sistemleri, esnek ısı değiştiricileri ve parçacık boyutunu kontrol eden bağlayıcı matrisler kullanılmaktadır (M.V. Lototskyy vd. 2014).

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Hidrojen absorpsiyon ve desorpsiyon döngüleri, malzemenin kristal yapısında hacimsel değişime yol açmaktadır. Bu değişimler zaman içinde mekanik gerilmeye ve toz oluşumuna neden olabilmekte; dolayısıyla depolama kabı ve ısı değiştiricisi tasarımında bu faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.



Görsel 2. Hidrojenin enerji sistemlerindeki avantajları ve temel sınırlamalarının şematik gösterimi.

Hidrojen, küresel enerji dönüşümü sürecinde hidrojen, sıfır karbon hedefine ulaşmamızı sağlayacak en güçlü temiz enerji taşıyıcılarından biridir. Yenilenebilir kaynaklarla entegre edildiğinde, farklı enerji sistemleri arasında esnek bir köprü görevi görerek enerji arz güvenliğini teminat altına alır. Ancak hidrojenin kütlesel olarak hafif bir gaz olması, pratik hacimlerde depolanmasını ve taşınmasını oldukça zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, güvenli ve verimli depolama teknolojilerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir bir hidrojen ekonomisinin hayata geçebilmesi için aşılması gereken en kritik adımdır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

4. GÜNCEL MALZEME İYİLEŞTİRMELERİ

Metal hidrit alanında 2022–2025 yılları arasında yayımlanan çalışmalar, malzeme performansını artırmaya yönelik üç temel yaklaşımın öne çıktığını ortaya koymaktadır: (i) magnezyum bazlı hidritlerin nano-mühendislik ve ileri katalizörlerle iyileştirilmesi, (ii) yüksek entropili alaşımların (HEA) yeni bir malzeme sınıfı olarak geliştirilmesi ve (iii) makine öğrenmesi ile hesaplamalı yöntemlerin malzeme keşfinde kullanılması (Alobaid, Kamil, ve Abdelrazek Khalil 2025; Nivedhitha vd. 2024). Çizelge 3, bu gelişmelerin özet karşılaştırmasını sunmaktadır.

Çizelge 3. Seçilmiş metal hidrit sınıflarındaki 2022–2025 dönemi gelişmelerinin karşılaştırması (Alobaid, Kamil, ve Abdelrazek Khalil 2025; Jangir, Jain, ve Mirabile Gattia 2023; Jiang vd. 2024; Luo vd. 2024; Nivedhitha vd. 2024; Zhu vd. 2025).

Malzeme Sınıfı	*Temel Gelişme (2022–2025)*	*Kapasite (wt%)*	*Öne Çıkan Özellik*
MgH_2 (Nano yapılandırılmış)	MXene, MOF-türevli C, CoFe@C katalizörler	6,0–6,8	Düşük E_a, hızlı kinetik
Yüksek Entropili Alaşımlar	TiVZrNbHf, TiZrCrMnFeNi; BCC tek faz	1,8–2,5	Oda sıcaklığında tersinir
Kompleks Hidritler	MgH_2–$LiBH_4$, $NaAlH_4$ katkılı	8–10 (teorik)	Yüksek kapasite, düşük T
TiFe tabanlı alaşımlar	Mn/Ce/Zr ikame, ön aktivasyon iyileştirmesi	1,8–1,9	Düşük maliyet, pratik T

MgH_2, %7,6 teorik gravimetrik kapasitesi ve düşük maliyetiyle en yoğun incelenen depolama malzemesi olmaya devam etmektedir. Bu metal hidritin dezavantajı ise, 300 °C'ye yakın desorpsiyon sıcaklığı ve 160 kJ/mol aktivasyon enerjisi olarak pratik kullanımının önündeki başlıca engeller bulunmasıdır. Güncel çalışmalar bu kısıtlamaları birkaç ölçekte ele almaktadır.

MXene tabanlı katalizörler önemli bir ilerleme kaydettirmiştir. Ti_3C_2 MXene üzerine yerleştirilen Ni nanoparçacıklarından oluşan Ni@Ti-MX kompoziti, 125 °C'de 25 saniyede 5,4 wt% H_2 absorpsiyonu sağlamış; desorpsiyon başlangıç sıcaklığı ise 221 °C'ye düşürülmüştür

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

(Jangir, Jain, ve Mirabile Gattia 2023). Metal-organik kafes (MOF) türevli karbon kaplı katalizörler de benzer etki göstermiştir: Ni-MOF kökenli yapılar aktivasyon enerjisini 77,6 kJ/mol'e indirirken 10 çevrim sonunda %6,0 wt% kapasite korunmuştur (Zhu vd. 2025).

Çift metalik oksit katalizörlerinde de çarpıcı sonuçlar elde edilmiştir. $NiO/NiFe_2O_4/Ni$ katkılı MgH_2, 150 °C ve 3 MPa koşullarında 1 dakikada 5,93 wt% H_2 absorplamış; desorpsiyon aktivasyon enerjisi saf MgH_2'nin 181,4 kJ/mol değerinden 88,38 kJ/mol'e gerilemiş ve 10 çevrim boyunca kapasitenin %98'i korunmuştur (Jiang vd. 2024). $CoMoO_4/rGO$ katkılı sistemlerde ise 300 °C'de 10 dakikada 6,25 wt% H_2 desorpsiyonu gerçekleştirilmiştir .

Yüksek entropili alaşımlar (High-Entropy Alloys, HEA), beş veya daha fazla temel elementin eşit oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen çok bileşenli malzemelerdir. Yüksek karışım entropisi sayesinde tek fazlı katı çözeltiler oluşturan bu alaşımlar, kafes distorsiyonu, yavaş difüzyon ve kokteyl etkisi gibi dört temel özellik aracılığıyla üstün hidrojen depolama potansiyeli sergilemektedir (Luo vd. 2024).

TiVZrNbHf alaşımı, bileşenlerinin bireysel depolama kapasitelerini aşan H/M = 2,5 oranına ulaşmıştır (Sahlberg vd. 2016). BCC yapılı Ti-V tabanlı HEA'lar oda sıcaklığında >2 wt% tersinir hidrojen tutabilmektedir (Luo vd. 2024). Öte yandan $Ti_{21}Zr_{21}Fe_{41}Ni_{17}$ orta-entropili alaşımı, 1000 çevrim boyunca aktivasyon veya katalizör gerektirmeksizin kararlı depolama sergilemiş ve kapasitesi $LaNi_5$'i geçmiştir (Keith, Zlotea, ve Szilágyi 2024). Bunların yanı sıra HEA katalizörlerin MgH_2 sistemlerine eklenmesinin de kinetik performansı belirgin biçimde artırdığı gösterilmiştir; FeCoNiCrMn katkılı MgH_2 sistemlerinde aktivasyon enerjisi yaklaşık %40 azalmıştır (Wan vd. 2023).

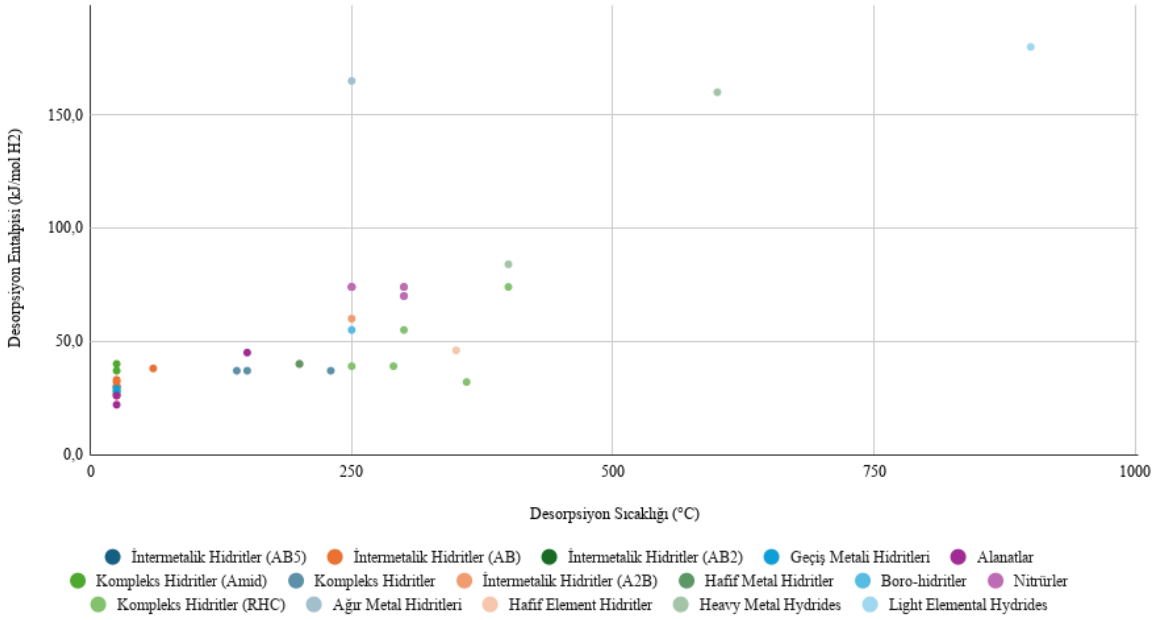
AB tipi TiFe alaşımları, oda sıcaklığına yakın çalışma koşulları ve düşük maliyetleriyle sanayi uygulamaları için önemli adaylar olmaya devam etmektedir. Mn, Ce ve Zr gibi unsurların TiFe yapısına ikame edilmesi, birden fazla hidritleme döngüsü gerektiren ön aktivasyon sürecini ortadan kaldırmış ya da önemli ölçüde kısaltmıştır (Alobaid, Kamil, ve Abdelrazek Khalil 2025). Özellikle TiZrXMnFeNi (X = Cr, Mo, W) bileşimleri üzerine 2023 yılında yürütülen çalışmalar, bu tür ikamelerle yapısal kararlılığın ve hidrojen kapasitesinin eş zamanlı iyileştirilebildiğini doğrulamıştır (Keith, Zlotea, ve Szilágyi 2024).

2023–2025 döneminin en dikkat çekici gelişmelerinden biri, makine öğrenmesi (ML) ve hesaplamalı yoğunluk fonksiyoneli teorisi (DFT) yöntemlerinin metal hidrit malzeme keşfine entegrasyonudur. Bu yaklaşımlar; deneysel deneme-yanılma süreçlerini kısaltmakta, yüksek verimli tarama (high-throughput screening) yoluyla geniş bileşim uzaylarında ümit vaat eden

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

adayları hızla belirlemektedir (Verma, Wilson, ve Joshi 2024). BCC-HEA sistemleri için oda sıcaklığında depolama amacıyla ML destekli tasarım çalışmaları %91 doğruluk oranına ulaşmış; HEA'ların oluşum entalpilerini tahmin eden grafik sinir ağları (GNN) modelleri de doğrulanmıştır (Halpren vd. 2024). DFT tabanlı çalışmalar ise LiH sisteminin silikon nanotellerle destabilizasyonu gibi ince termodinamik ayarlara yönelik mekanistik açıklamalar sunmaktadır (Nivedhitha vd. 2024).

Malzeme geliştirmenin ötesinde, sistem düzeyindeki çalışmalar da hız kazanmaktadır. ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL), 2024 yılında GKN Hydrogen ile iş birliği içinde megavat ölçeğinde ilk metal hidrit demonstrasyon sistemini (HEVHY METAL) devreye almıştır. Bu sistem, 1,25 MW'lık PEM elektrolizörüyle üretilen hidrojenin 500 kg kapasiteli metal hidrit tankında depolanmasını ve ardından 1 MW'lık yakıt hücresiyle geri dönüştürülmesini kapsamaktadır (Heavy Metal Debut: A World-Class Metal Hydride System | NLR t.y.). Eş zamanlı yürütülen tekno-ekonomik analizler, $TiFe_{0,85}Mn_{0,05}$ hidritinin 350 bar sıkıştırılmış gazla kıyaslanabilir 0,45 $/kWh depolama maliyetine ulaşabileceğini ve alan ihtiyacını %65 oranında azaltabileceğini göstermiştir (Wang vd. 2025).



Görsel 3. Farklı metal hidrit türleri için desorpsiyon sıcaklığına bağlı desorpsiyon entalpisinin karşılaştırmalı dağılımı.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

AB_5 ve AB sistemleri gibi intermetalik hidritler düşük sıcaklıklarda çalışır ancak sınırlı bir depolama kapasitesi sunar. Magnezyum bazlı hidritler daha yüksek depolama kapasitesi sağlamakla birlikte, yüksek entalpileri nedeniyle önemli ölçüde daha yüksek çalışma sıcaklıkları gerektirmektedir. Bu durum, depolama performansı ile pratik kullanılabilirlik arasında belirgin bir denge gerektirmektedir. Orta seviyede konumlanan TiFe gibi malzemeler, her iki gereksinim açısından da umut vaat eden adaylar olarak değerlendirilmektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, metal hidritlerin hidrojen depolama performansının çok boyutlu kriterlere bağlı olduğu ve hiçbir malzemenin tüm gereksinimleri aynı anda karşılayamadığı görülmektedir. Yüksek gravimetrik kapasite sunan hafif ve kompleks hidritler genellikle zayıf kinetik davranış ve yüksek çalışma sıcaklıkları ile sınırlanırken, intermetalik hidritler daha düşük kapasiteye rağmen iyi kinetik özellikler, yüksek tersinirlik ve güvenlik avantajları ile öne çıkmaktadır. Bu durum, hidrojen depolama malzemelerinde kapasite ile pratik kullanılabilirlik arasında belirgin bir denge olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, malzeme seçiminde tek bir özelliğin maksimize edilmesi yerine, tüm performans kriterlerinin birlikte optimize edilmesi gerekmektedir.

Görsel 4. Metal hidritler ile hidrojen depolamada temel sınırlamalar ve avantajlarının sistematik değerlendirilmesi.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

5. SONUÇ

Metal hidritler, hidrojenin güvenli ve yüksek yoğunlukta depolanması için umut verici malzemeler arasında yer almaktadır. Bu derleme çalışması, literatürdeki çalışmalar ışığında metal hidritlerin hidrojen depolama performansının çok boyutlu kriterlere bağlı olduğunu ve hiçbir malzemenin tüm gereksinimleri eş zamanlı olarak karşılayamadığını ortaya koymaktadır. Termodinamik stabilite ile çalışma sıcaklığı arasında doğrudan bir ilişki bulunmakta olup yüksek kapasiteye sahip malzemeler genellikle daha yüksek sıcaklıklarda hidrojen salımı gerektirmektedir. Bu durum, malzeme seçiminde kapasite ile kullanılabilirlik arasında belirgin bir denge ortaya çıkarmaktadır. Yüksek gravimetrik kapasite sunan hafif ve kompleks hidritler genellikle zayıf kinetik davranış ve yüksek çalışma sıcaklıkları ile sınırlanırken, intermetalik hidritler daha düşük kapasiteye rağmen iyi kinetik özellikler, yüksek tersinirlik ve güvenlik avantajları ile öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, intermetalik hidritler dengeli kinetik, güvenlik ve tersinirlik özellikleri ile pratik uygulamalar açısından önde gelen malzeme sınıfı olarak değerlendirilmektedir. Gelecekte, malzeme geliştirme çalışmalarının yanı sıra sistem düzeyinde ısı yönetimi ve tasarım optimizasyonları metal hidritlerin yaygın kullanımında belirleyici rol oynayacaktır. Dolayısıyla malzeme seçiminde tek bir özelliğin maksimize edilmesi yerine tüm performans kriterlerinin birlikte optimize edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

A., Vladimir, Dejan G., Jasmina Grbovic, ve Dragica M. 2012. "Hydrogen Economy: Modern Concepts, Challenges and Perspectives". Içinde *Hydrogen Energy - Challenges and Perspectives*, ed. Dragica Minic. InTech. doi:10.5772/46098.

Alobaid, Ahmad, Mohammed Kamil, ve Khalil Abdelrazek Khalil. 2025. "Metal Hydrides for Solid Hydrogen Storage: Experimental Insights, Suitability Evaluation, and Innovative Technical Considerations for Stationary and Mobile Applications". *International Journal of Hydrogen Energy* 128: 432-56. doi:10.1016/j.ijhydene.2025.04.232.

Bossel, Ulf, Baldur Eliasson, ve Gordon Taylor. 2003. "The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak?" *Cogeneration & Distributed Generation Journal* 18(3): 29-70. doi:10.1080/15453660309509023.

Celestine, Asha-Dee N., Martin Sulic, Marika Wieliczko, ve Ned T. Stetson. 2021. "Hydrogen-Based Energy Storage Systems for Large-Scale Data Center Applications". *Sustainability* 13(22): 12654. doi:10.3390/su132212654.

Cengel, Yunus A., ve Michael A. Boles. 2002. "Thermodynamics: an engineering approach". *Sea* 1000(8862): 287-93.

DOE. 2020. "Hydrogen Storage Targets".

Halpren, Ethan, Xue Yao, Zhi Wen Chen, ve Chandra Veer Singh. 2024. "Machine Learning Assisted Design of BCC High Entropy Alloys for Room Temperature Hydrogen Storage". *Acta Materialia* 270: 119841. doi:10.1016/j.actamat.2024.119841.

Hassan, I.A., Haitham S. Ramadan, Mohamed A. Saleh, ve Daniel Hissel. 2021. "Hydrogen Storage Technologies for Stationary and Mobile Applications: Review, Analysis and Perspectives". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 149: 111311. doi:10.1016/j.rser.2021.111311.

"Heavy Metal Debut: A World-Class Metal Hydride System | NLR". https://www.nlr.gov/news/detail/program/2024/heavy-metal-debut-a-world-class-metal-hydride-system (30 Mart 2026).

Heinemann, Niklas, Juan Alcalde, Johannes M. Miocic, Suzanne J. T. Hangx, Jens Kallmeyer, Christian Ostertag-Henning, Aliakbar Hassanpouryouzband, vd. 2021. "Enabling Large-Scale Hydrogen Storage in Porous Media – the Scientific Challenges". *Energy & Environmental Science* 14(2): 853-64. doi:10.1039/D0EE03536J.

Jain, I.P., Chhagan Lal, ve Ankur Jain. 2010. "Hydrogen Storage in Mg: A Most Promising Material". *International Journal of Hydrogen Energy* 35(10): 5133-44. doi:10.1016/j.ijhydene.2009.08.088.

James, Brian D., Jennie M. Huya-Kouadio, Cassidy Houchins, ve Daniel A. DeSantis. 2018. "Mass production cost estimation of direct H2 PEM fuel cell systems for transportation applications: 2018 update". *Strategic Analysis Inc*: 134-39.

Jangir, Mukesh, Indra Prabh Jain, ve Daniele Mirabile Gattia. 2023. "Effect of Ti-Based Additives on the Hydrogen Storage Properties of MgH2: A Review". *Hydrogen* 4(3): 523-41. doi:10.3390/hydrogen4030034.

Jiang, Yi, Nan Si, Zan Wang, Hui Zhang, ve Wei Jiang. 2024. "Improved Hydrogen Storage Kinetic Properties of MgH_2 with $NiO/NiCo(Fe)_2$ O_4 /(Ni)". *Energy & Fuels* 38(24): 23804-14. doi:10.1021/acs.energyfuels.4c04640.

Keith, Aaron, Claudia Zlotea, ve Petra Ágota Szilágyi. 2024. "Perspective of Interstitial Hydrides of High-Entropy Alloys for Vehicular Hydrogen Storage". *International Journal of Hydrogen Energy* 52: 531-46. doi:10.1016/j.ijhydene.2023.01.141.

Kong, Lingjie, Bo Cheng, Di Wan, ve Yunfei Xue. 2023. "A review on BCC-structured high-entropy alloys for hydrogen storage". *Frontiers in Materials* 10: 1135864. doi:10.3389/fmats.2023.1135864.

Krishna, Rahul, Elby Titus, Maryam Salimian, Olena Okhay, Sivakumar Rajendran, Ananth Rajkumar, J. M. G. Sousa, vd. 2012. "Hydrogen Storage for Energy Application". Içinde *Hydrogen Storage*, ed. Jianjun Liu. InTech. doi:10.5772/51238.

Larpruenrudee, Puchanee, Nick S. Bennett, Zhen Luo, M. J. Hossain, Nawshad Haque, Emilie Sauret, Robert Fitch, ve Mohammad S. Islam. 2025. "A Review on the Overall Performance of Metal Hydride-Based Hydrogen Storage Systems". *Energies* 18(5): 1291. doi:10.3390/en18051291.

Liu, Yukun, Wei Chen, Shunlong Ju, Xuebin Yu, ve Guanglin Xia. 2024. "Stable Hydrogen Storage of Lithium Borohydrides via the Catalytic Effect of Ni2B Induced by Thermodynamic Destabilization Reaction". *Journal of Materials Science & Technology* 202: 192-200. doi:10.1016/j.jmst.2024.03.035.

Lototskyy, M.V., V.A. Yartys, B.G. Pollet, ve R.C. Bowman. 2014. "Metal Hydride Hydrogen Compressors: A Review". *International Journal of Hydrogen Energy* 39(11): 5818-51. doi:10.1016/j.ijhydene.2014.01.158.

Lototskyy, Mykhaylo V., Ivan Tolj, Lydia Pickering, Cordellia Sita, Frano Barbir, ve Volodymyr Yartys. 2017. "The Use of Metal Hydrides in Fuel Cell Applications". *Progress in Natural Science: Materials International* 27(1): 3-20. doi:10.1016/j.pnsc.2017.01.008.

Luo, Long, Liangpan Chen, Lirong Li, Suxia Liu, Yiming Li, Chuanfei Li, Linfeng Li, Junjie Cui, ve Yongzhi Li. 2024. "High-Entropy Alloys for Solid Hydrogen Storage: A Review". *International Journal of Hydrogen Energy* 50: 406-30. doi:10.1016/j.ijhydene.2023.07.146.

Moran, Michael J., Howard N. Shapiro, Daisie D. Boettner, ve Margaret B. Bailey. 2010. *Fundamentals of engineering thermodynamics*. John Wiley & Sons. https://books.google.com/books?hl=tr&lr=&id=oyt8iW6B4aUC&oi=fnd&pg=PA3&dq=Moran,+M.+J.,+Shapiro,+H.+N.,+Boettner,+D.+D.,+%26+Bailey,+M.+(2014).+Fundamentals+of+Engineering+Thermodynamics.&ots=9-M7ruoZNW&sig=VVQ0xwqL1fdOrAQl8-Utm4f3psg (01 Nisan 2026).

Nivedhitha, K.S., T. Beena, N.R. Banapurmath, M.A. Umarfarooq, Venkatesh Ramasamy, Manzoore Elahi M. Soudagar, ve Ümit Ağbulut. 2024. "Advances in Hydrogen Storage with Metal Hydrides: Mechanisms, Materials, and Challenges". *International Journal of Hydrogen Energy* 61: 1259-73. doi:10.1016/j.ijhydene.2024.02.335.

Osman, Ahmed I., Ali Ayati, Mahmoud Farrokhi, Sara Khadempir, Amin Reza Rajabzadeh, Mohamed Farghali, Pavel Krivoshapkin, vd. 2024. "Innovations in Hydrogen Storage Materials: Synthesis, Applications, and Prospects". *Journal of Energy Storage* 95: 112376. doi:10.1016/j.est.2024.112376.

Qureshi, Tabrez, Mohammad Mohsin Khan, ve Harveer Singh Pali. 2024. "The Future of Hydrogen Economy: Role of High Entropy Alloys in Hydrogen Storage". *Journal of Alloys and Compounds* 1004: 175668. doi:10.1016/j.jallcom.2024.175668.

Rusman, N.A.A., ve M. Dahari. 2016. "A Review on the Current Progress of Metal Hydrides Material for Solid-State Hydrogen Storage Applications". *International Journal of Hydrogen Energy* 41(28): 12108-26. doi:10.1016/j.ijhydene.2016.05.244.

Sahlberg, Martin, Dennis Karlsson, Claudia Zlotea, ve Ulf Jansson. 2016. "Superior Hydrogen Storage in High Entropy Alloys". *Scientific Reports* 6(1): 36770. doi:10.1038/srep36770.

Sakintuna, B, F Lamaridarkrim, ve M Hirscher. 2007. "Metal Hydride Materials for Solid Hydrogen Storage: A Review☆". *International Journal of Hydrogen Energy* 32(9): 1121-40. doi:10.1016/j.ijhydene.2006.11.022.

Sato, Toyoto, Hiroyuki Saitoh, Reina Utsumi, Junya Ito, Yuki Nakahira, Kazuki Obana, Shigeyuki Takagi, ve Shin-ichi Orimo. 2023. "Hydrogen Absorption Reactions of Hydrogen Storage Alloy LaNi5 under High Pressure". *Molecules* 28(3): 1256. doi:10.3390/molecules28031256.

Schlapbach, Louis, ve Andreas Züttel. 2001. "Hydrogen-Storage Materials for Mobile Applications". *Nature* 414(6861): 353-58. doi:10.1038/35104634.

Turner, John A. 2004. "Sustainable Hydrogen Production". *Science* 305(5686): 972-74. doi:10.1126/science.1103197.

Verma, Ashwini, Nikhil Wilson, ve Kavita Joshi. 2024. "Solid State Hydrogen Storage: Decoding the Path through Machine Learning". *International Journal of Hydrogen Energy* 50: 1518-28. doi:10.1016/j.ijhydene.2023.10.056.

Völkl, J., ve G. Alefeld. 1978. "Diffusion of hydrogen in metals". İçinde *Hydrogen in Metals I*, Topics in Applied Physics, ed. Georg Alefeld ve Johann Völkl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 321-48. doi:10.1007/3540087052_51.

Wan, Haiyi, Xiu Yang, Shiming Zhou, Lei Ran, Yangfan Lu, Yu'an Chen, Jingfeng Wang, ve Fusheng Pan. 2023. "Enhancing Hydrogen Storage Properties of MgH2 Using FeCoNiCrMn High Entropy Alloy Catalysts". *Journal of Materials Science & Technology* 149: 88-98. doi:10.1016/j.jmst.2022.11.033.

Wang, Xinyi, Peng Peng, Matthew D. Witman, Vitalie Stavila, Mark D. Allendorf, ve Hanna M. Breunig. 2025. "Technoeconomic Insights into Metal Hydrides for Stationary Hydrogen Storage". *Advanced Science* 12(21): 2415736. doi:10.1002/advs.202415736.

Zhu, Yong, Wenhao Ma, Xingzai Chai, Yunpeng Gu, Wenqi Wu, Haisheng Chen, ve Ting Zhang. 2025. "Advances in Catalysts for Magnesium-Based Hydrogen Storage Materials". *Research* 8: 1036. doi:10.34133/research.1036.

Züttel, Andreas. 2003. "Materials for Hydrogen Storage". *Materials Today* 6(9): 24-33. doi:10.1016/S1369-7021(03)00922-2.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ŞEBEKEYE BAĞLI ÇBAG TABANLI RÜZGAR ÇİFTLİĞİNDE ALT-SENKRON SALINIMLAR İÇİN EK SÖNÜMLEME VE REZONANS KONTROL MODELLERİN GELİŞTİRİLMESİ

Doç. Dr. Mustafa DURSUN

Düzce Üniversitesi, mustafadursun@duzce.edu.tr – 0000-0001-9952-9358

Prof. Dr. Mehmet Kenan DÖŞOĞLU

Düzce Üniversitesi, kenandosoglu@duzce.edu.tr – 0000-0001-8804-7070

ÖZET

Güç sistemlerine bağlı olarak çalışan Çift Beslemeli Asenkron Generatör (ÇBAG) tabanlı Rüzgar Çiftliğinde seri kompanzasyon ve farklı rüzgar hızları sonucunda Alt-Senkron salınım (SSO) oluşmaktadır. Bu durumda sistemde kararsızlık durumları ve salınımların büyümesi durumları meydana gelmektedir. Bu gibi olumsuz durumları ortadan kaldırmak için Ek Sönümleme Kontrolü (ESK) ve rezonans kontrol modellerin geliştirilmesi bu çalışmada amaçlanmaktadır. Şebeke Tarafındaki Evirici (GSC) devresinde geliştirilmesi amaçlanan ESK model ve Rotor Tarafındaki Evirici (RSC) devresinde geliştirilmesi amaçlanan rezonans kontrol modeller ile farklı seri kompanzasyon ve farklı rüzgar hızlarındaki analizler incelenmiştir. İki farklı senaryoda MATLAB-SIMULINK ortamında kararlılık ve salınım durumları detaylı olarak irdelenmiştir. ÇBAG'da rüzgar hızının 9 m/s olduğu durum için seri kompanzasyon oranı % 50 ve % 60 olduğu durumlar, rüzgar hızının 11 m/s olduğu durumlarda seri kompanzasyon oranının % 50 ve % 60 olduğu durumlar detaylı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada Geleneksel modelin kullanılması, geliştirilen ESK ve rezonans kontrol modellerin karşılaştırmaları yapılmıştır. Rezonans kontrol modelin geliştirilmesi ile sistemin kısa süre içerisinde kararlı hale geldiği ve oluşan salınımların sönümlendiği bu çalışmada görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : ÇBAG, SSO,GSC, ESK modeli, rezonans kontrol modeli

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

1. GİRİŞ

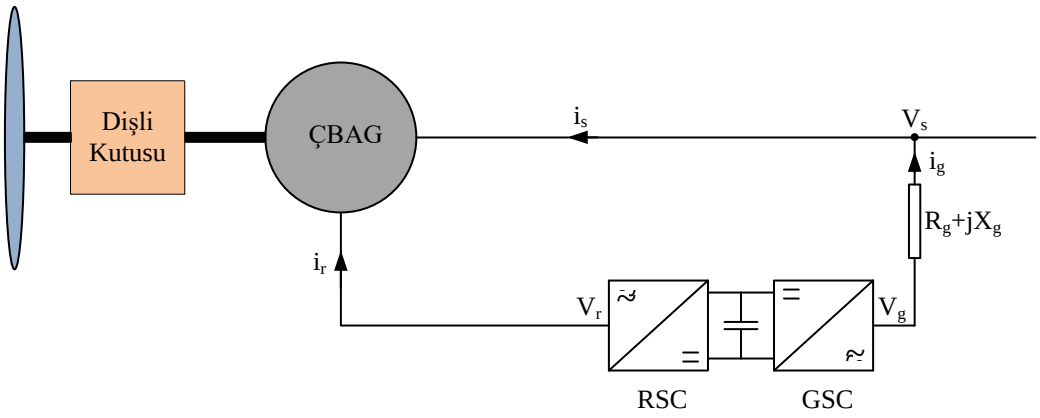
Rüzgar enerjisi günümüzde dünya çapında en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir ve her geçen gün kullanımı artmaktadır. Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinin uygun maliyetli bir şekilde devreye alınması, kayıpların azaltılması ve bakım maliyetlerinin az olması istenmektedir. Rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmesinde kullanılan Çift Beslemeli Asenkron Generatörü (ÇBAG) diğer generatörlere göre bir çok avantajı bulunmaktadır [1]. Ancak farklı seri kompanzasyon oranları ve rüzgar hızlarında kararsızlık durumları ile karşı karşıya kalınabilmektedir. Bu problemler alt senkron salınımlar (SSO)'a neden olmaktadır. Bunların ortadan kaldırılması için literatürde farklı çalışmalar incelenmektedir. DFIG'de evirici devresi kontrolünün ve seri kompanzasyon seviyesinin belirlenmesinde eşdeğer empedans modellemeleri kullanılmaktadır. SSO azalmada ve sistemin kararlılığının sağlamada empedans tabanlı nyquist kararlılık ve karmaşık vektör empedans modellerinin etkisi ilgili çalışmalarda ortaya konmuştur [2,3]. DFIG'de seri kompanzasyon oranlarının farklı olduğu ve düşük rüzgar hızlarında asenkron generatör etkisi yüzünden SSO durumları meydana gelebilmektedir. Bunların etkisini ortadan kaldırmak için empedansa dayalı kararlılık kriteri kullanılmaktadır. Empedansa dayalı kararlılık kriteri belirlemede geliştirilmiş iki serbestlik derece (2DOF) modelleri geliştirilmektedir. Bu modeller sayesinde farklı çalışma koşullarında etkili sonuçlar elde edilmiştir [4,5]. DFIG'de SSO analizlerinde sistemde empedans kontrolünün sağlanmasında Tristör Kontrollü Seri Kompanzatör (TCSC) ve Statik Senkron Seri Kompanzatör (SSSC) modelleri geliştirilmiştir. Sisteme harici olarak bağlanan TCSC ve SSSC'de farklı metodların geliştirilmesi ile DFIG'deki farklı rüzgar hızlarındaki analizler ve sistemdeki seri kompanzasyon oranlarının meydana getirdiği salınımların hızlı bir şekilde sönümlenmesinde oldukça iyi analiz sonuçları bulunmuştur [6,7]. ÇBAG tabanlı rüzgar çiftliğinde SSO etkisini azaltmak için empedans kontrolün dışında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan birisi Ek Sönümleme Kontrolü modelleridir. Farklı DFIG parametre tabanlı olarak hem Rotor Tarafındaki Evirici (RSC) hem de GSC devresinde ESK modelleri geliştirilmiştir. Farklı ESK modellerin geliştirilmesi ile SSO hızlı bir şekilde ortadan kaldırılmıştır [8-11].

Bu çalışmada literatürden farklı olarak ESK modelin yanısıra rezonans kontrol modelinde birlikte kullanılması amaçlanmıştır. Sırasıyla DFIG'de GSC ve RSC devresinde geliştirilen ESK model ve rezonans kontrol modelleri ile çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir. İki farklı senaryoda ESK ve rezonans kontrol modellerin etkileri geleneksel model ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda aktif güç, reaktif güç, elektriksel moment ve DC bara gerilimleri kullanılmıştır. ESK ve rezonans kontrol modellerin kullanılmasının farklı seri kompanzasyon oranlarında ve farklı rüzgar hızlarında etkili sonuçlar verdiği görülmüştür.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

2. ÇBAG MODELLEMESİ VE ALT-SENKRON SALINIM

ÇBAG devre modeli Görsel 1'de gösterilmiştir.



Görsel 1. ÇBAG devre modeli

Görsel 1'de görüldüğü gibi ÇBAG dişli kutusu, generatör, GSC ve RSC devresinden meydana gelmektedir. ÇBAG'nin statoru doğrudan şebekeye bağlanırken, rotoru RSC ve GSC devreleri yardımıyla şebekeye bağlanmaktadır [12]. ÇBAG'daki yapılan hesaplamalar için d-q ekseni kullanılmaktadır. Bu eksenlerin kullanımı nedeni hesaplamanın daha kolay ve doğru yapılabilmesidir. ÇBAG'da d-q eksen gerilim ifadeleri Denklem 1 ile Denklem 4 arasında verilmiştir.

$$v_{ds} = R_s i_{ds} - w_s \psi_{qs} + \frac{d}{dt}\psi_{ds} \tag{1}$$

$$v_{qs} = R_s i_{qs} + w_s \psi_{ds} + \frac{d}{dt}\psi_{qs} \tag{2}$$

$$v_{dr} = R_r i_{dr} - (w_s - w_r)\psi_{qr} + \frac{d}{dt}\psi_{dr} \tag{3}$$

$$v_{qr} = R_r i_{qr} + (w_s - w_r)\psi_{dr} + \frac{d}{dt}\psi_{dr} \tag{4}$$

Burada; v_{ds}, v_{dr}, v_{qs}, v_{qr}, sırasıyla d-q stator-rotor gerilimleri, i_{ds}, i_{dr}, i_{qs}, i_{qr}, d-q sırasıyla stator-rotor akımları, ψ_{ds}, ψ_{dr}, ψ_{qs}, ψ_{qr}, d-q sırasıyla stator-rotor akıları, w_s ve w_r sırasıyla stator-rotor açısal hızları, , R_s ve R_r, sırasıyla d-q stator-rotor dirençleridir [13].

ÇBAG'ün şebeke bağlı olarak çalışması esnasında sisteme seri kapasitör ilave edilmesi ile SSO durumları oluşmaktadır. Güç sistemlerinde oluşan SSO hat akımı iki farklı frekans olarak algılamaktadır. Bu frekanslar doğal frekans (f_n) ve temel frekans (f_e) olarak

isimlendirilmektedir. Seri kompanzasyon seviyesine göre doğal frekans ifadesi denklem 5'de gösterilmiştir.

$$f_n = f_e \times \sqrt{\frac{X_c}{X_{Toplam}}} \tag{5}$$

Burada, Xc ifadesi iletim hattına yerleştirilen sabit seri kapasitörün seri kapasitif reaktansı ve X_{Toplam} ifadesi ise iletim hattının, transformatörün ve sistemin toplam endüktif reaktansının toplam değeridir. ÇBAG'da SSO sonucu oluşan endüksiyon üretim aslında kayma (s) ile bağıntılı olmaktadır. ÇBAG'daki kayma ifadesi denklem 6'de verilmiştir.

$$s_n = \frac{f_n - f_r}{f_n} \tag{6}$$

Burada, f_r elektriksel frekanstır. ÇBAG'ün şebekeye bağlı olarak çalışmasında bazı durumlarda elektriksel frekans doğal frekanstan büyük olmaktadır. Bazı durumlar generatörlerin nominal hızında dönmesi ve sistemde seri kompanzasyonun olmasıdır. Generatörün negatif işaretli kayma değerinde olması rotor direnci değerini diğer sargı direnç değerlerinden daha büyük olmasına neden olmaktadır [14].

3. ÇBAG'DA ESK VE REZONANS KONTROL MODELİN GELİŞTİRİLMESİ

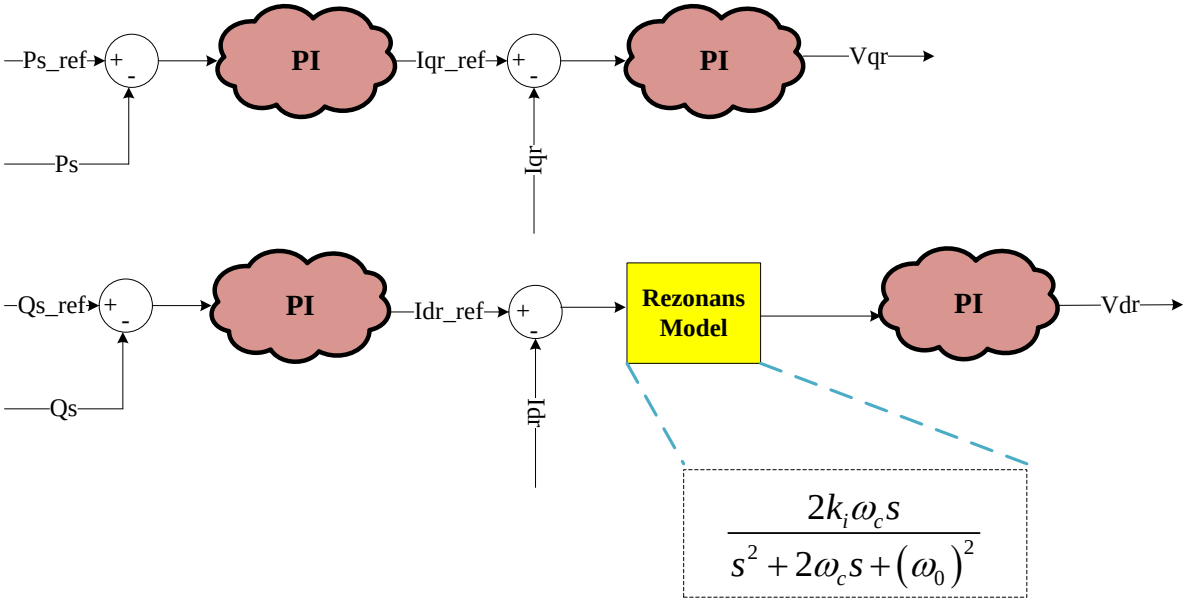
Bu çalışmada sistemdeki SSO'u azaltmak için ESK model ve rezonans kontrol modellerinin GSC'de birlikte kullanılması düşünülmüştür. ESK modelde girişler rotor ve referans açısal hız değerleri olarak belirlenmiştir. ESK modelde referans değeri sabit 1.25 olarak belirlenmiştir. Rotor açısal hız değeri ve referans olarak verilen rotor açısal hız değerlerinin farkı ÇBAG'ün açı değeri olarak hesaplanmaktadır. Bu açı değeri bir kazanç değeri ile çarpılmıştır. Bu kazanç değeri -250 olarak belirlenmiştir. Bu hesaplanan değer bir sınırlandırıcı bloğa girmiştir. Sınırlandırıcı bloğun alt ve üst limit değerleri -0.1 ile 0.1 arasındadır. Burada elde edilen değer toplama işlemine girmektedir. ÇBAG'daki hesaplamaların doğruluk kısıtlamalarının iyi belirlenmesi ve çalışmadaki sınırlı bant genişliği sebebiyle ESK model ile birlikte temel rezonans denetleyicinin kullanımı önem arz etmektedir. Bu çalışmada RSC devresinde uygun bir rezonans denetleyicinin kullanılması amaçlanmaktadır. Rezonans denetleyicisi tasarımında kullanılan eşitlik denklem 7'de gösterilmiştir.

$$G_{RC}(s) = \frac{2k_r\omega_c s}{s^2 + 2\omega_c s + \omega_0^2} \tag{7}$$

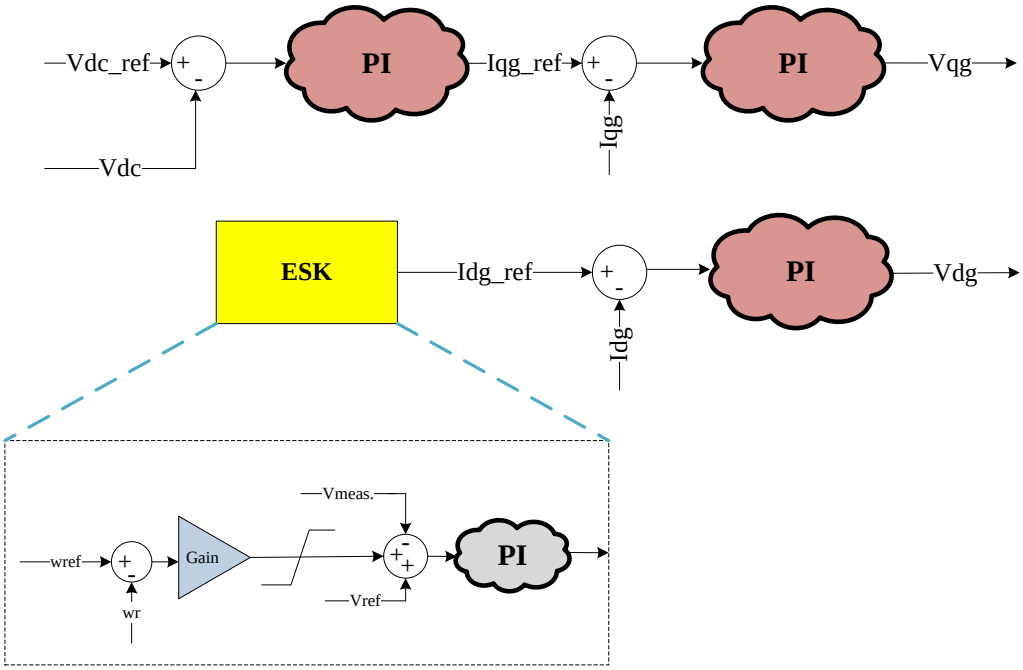
Burada ω_c, rezonans denetleyici kesme frekansı, ω_0 rezonans frekansı, k_r rezonans faktörüdür. Çalışmada rezonans kontrolün uygun parametrelerinin belirlenmesinde bazı denemeler yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda rezonans frekansı 1, kesme frekansı ise 15 olarak ayarlanmıştır. Bunun yanısıra bu çalışmada GSC devresinde ESK modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır. ÇBAG tabanlı rüzgar çiftlinde geliştirilen ESK modelde kazanç, sınırlandırıcı ve Oransal İntegral (PI) denetleyici kullanılmıştır. ESK modelin girişi olarak açısal hız ve açısal

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

hızın referans değerleri seçilmiştir. RSC ve GSC devresinde devresinde tasarlanan modeller sırasıyla Görsel 2 ve Görsel 3'de gösterilmiştir.



Görsel 2. RSC devresinde tasarlanan model



Görsel 3. GSC devresinde tasarlanan model

RSC devresinde aktif güç-referans aktif güç ve reaktif güç-referans reaktif güç ifadeleri çıkarma işlemine girdikten sonra PI denetleyiciye girmektedir. PI denetleyici çıkışlarında sırasıyla q-d eksen rotor referans akım değerleri elde edilmektedir. Burada q eksen rotor referans akım değeri q eksen rotor değeri ile çıkartma işlemine girerek PI denetleyici gelmektedir. Çıkışta q eksen

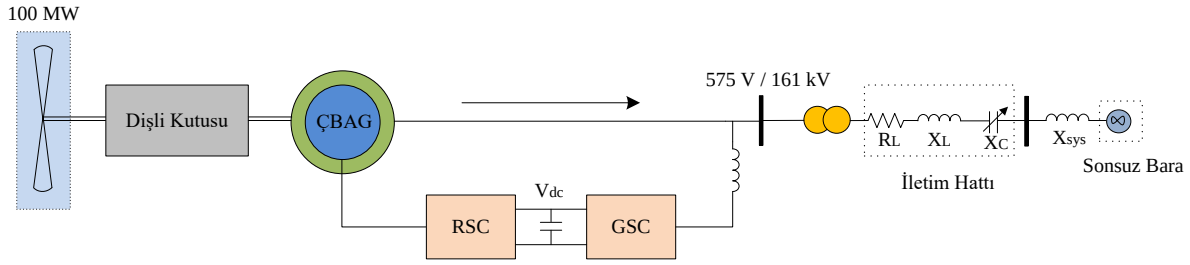
ISBN NR: 978-625-5694-96-6

rotor gerilimi elde edilmiştir. Öte yandan d eksen rotor referans akım değeri d eksen rotor değeri ile çıkartma işlemine girerek önce rezonans kontrole çıkışında ise PI denetleyici gelmektedir. Çıkışta d eksen rotor gerilimi elde edilmiştir.

GSC RSC devresinde DC-DC referans gerilimi ifadesi çıkarma işlemine girdikten sonra PI denetleyiciye girmektedir. PI çıkışı q eksen referans şebeke akımı ifadesine gelmektedir. Burada q eksen referans şebeke akımı-q eksen şebeke akımı farkı alınarak PI denetleyiciye girmektedir. PI denetleyici çıkışında q eksen şebeke gerilimi elde edilmektedir. Açısal hız-referans açısal hız ifadelerindeki çıkarma işlemi bir sınırlandırıcıya girmektedir. Sınırlandırıcı çıkışı PI denetleyici girmektedir. PI çıkışı d eksen şebeke referans gerilime girmektedir. Açısal hızdan itibaren belirtilen kısım ESK modeli oluşturmaktadır. Burada d eksen şebeke referans gerilim–referans d eksen şebeke referans gerilim farkı PI denetleyiciye girmiş olup, PI denetleyicinin çıkışı ile d- eksen şebeke gerilimi elde edilmiştir.

4. BENZETİM ÇALIŞMASI

Bu çalışmada analizi gerçekleştirilen sistem Görsel 4'te gösterilmiştir.



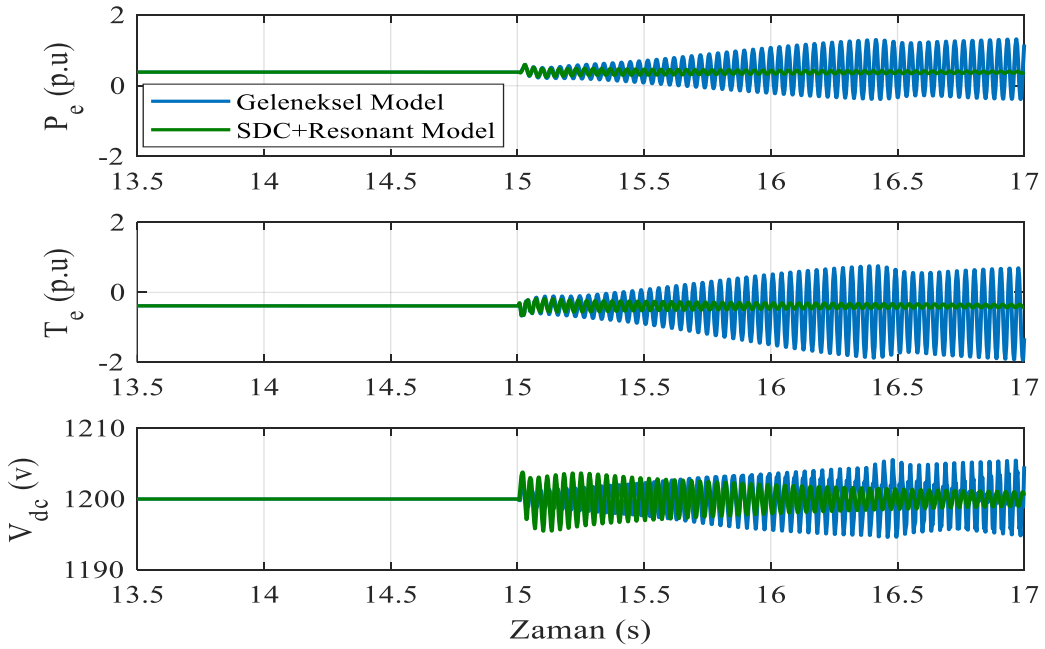
Görsel 4. Analizi gerçekleştirilen sistem

ÇBAG tabanlı rüzgar çiftliğinin gücü 100 MW değerindedir. ÇBAG'da 575 V gerilim üretmektedir. Bu çıkış gerilimi gerilim yükseltici transformatör ile 161 kV'a yükseltilmektedir. ÇBAG tabanlı rüzgar çiftliği sonsuz baraya bağlı şekilde çalışmaktadır. Sistemde kullanılan transformatörün primeri üçgen sekonderi yıldız bağlı olup, gücü 100 MVA olarak seçilmiştir. Bu transformatörün doyma olayı ihmal edilmiştir. Sistemde seri kompanzasyon için kondansatör kullanılmaktadır. Benzetim çalışmasında seri kompanzasyon için kullanılan kondansatör 15. saniyede sistemde devreye girmektedir. SSR durumlarındaki geleneksel model ve geliştirilen SDC+rezonans kontrol model karşılaştırmaları yapılmıştır. İki farklı analiz yapılarak sistemde kullanılan elektriksel güç, elektriksel moment ve DC link gerilimleri detaylı şekilde incelenerek yorumlanmıştır.

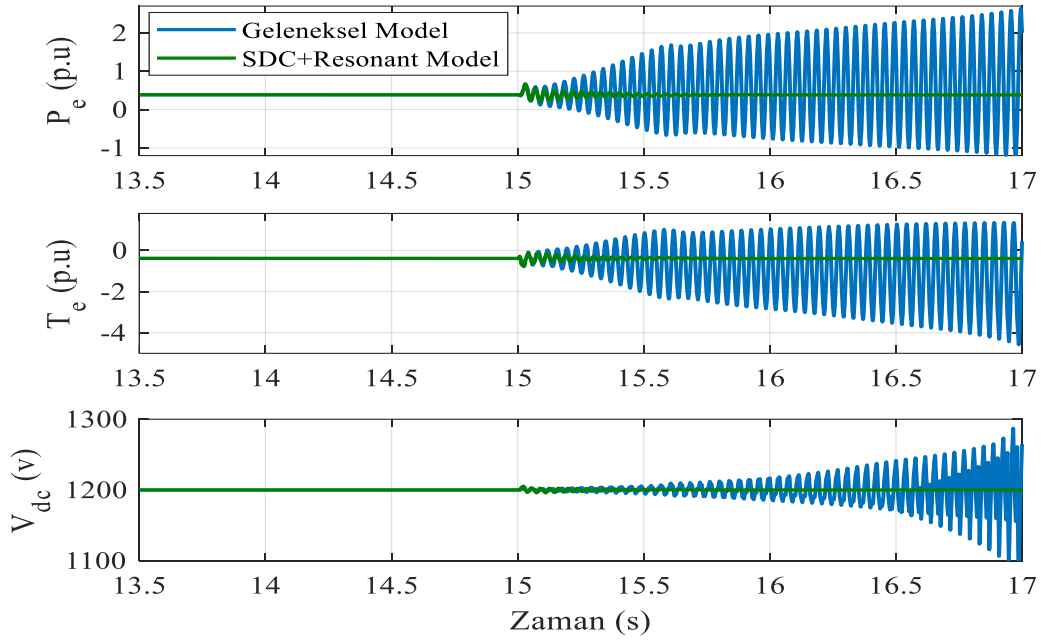
5. BENZETİM ÇALIŞMASI SONUÇLARI

İki farklı analizde gerçekleştirilen çalışmada ilk analiz olarak ÇBAG'da rüzgar hızının 9 m/s olduğu durumda seri kompanzasyon oranları % 50 ve % 60 olarak belirlenirken, ikinci analizde ÇBAG'da rüzgar hızının 11 m/s olduğu durum için seri kompanzasyon oranı 50 ve % 60 olarak belirlenmiştir. İki analizdeki ÇBAG elektriksel, güç, elektriksel moment ve DC link gerilim parametrelerindeki değişimler Görsel 5 ile Görsel 8 arasında gösterilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

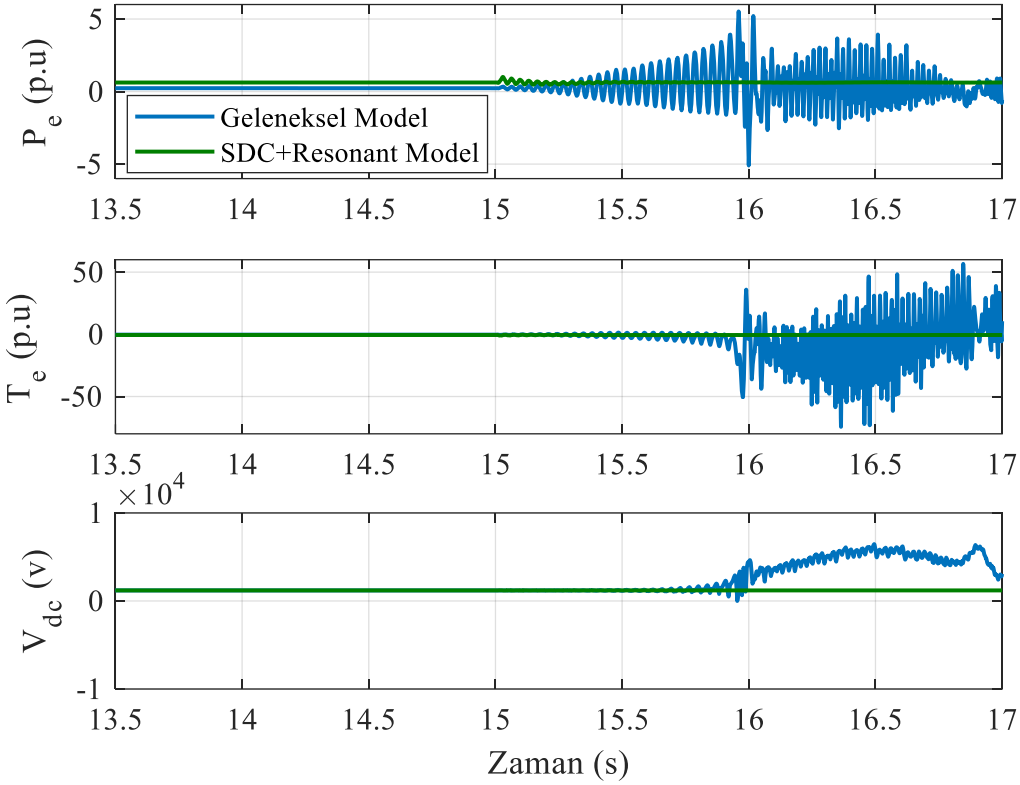


Görsel 5. 9 m/s rüzgar hızı ve kompanzasyon oranı %50 iken elde edilen sonuçlar

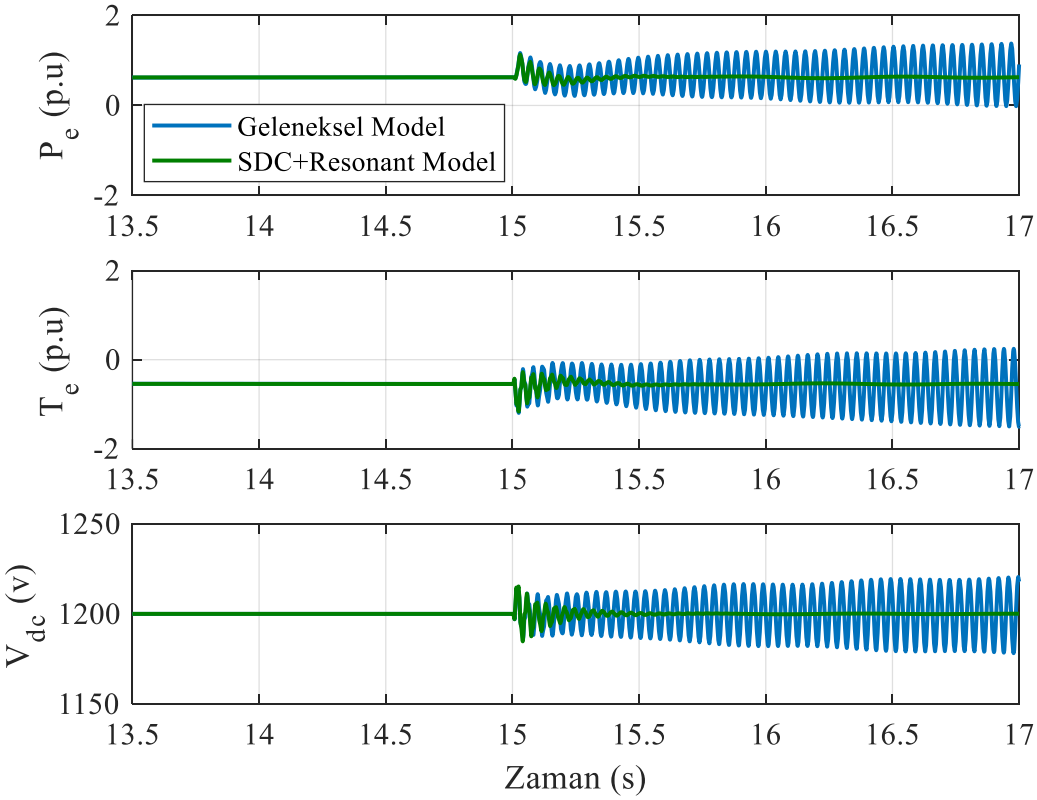


Görsel 6. 9 m/s rüzgar hızı ve kompanzasyon oranı %60 iken elde edilen sonuçlar

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Görsel 7. 11 m/s rüzgar hızı ve kompanzasyon oranı %50 iken elde edilen sonuçlar



Görsel 8. 11 m/s rüzgar hızı ve kompanzasyon oranı %60 iken elde edilen sonuçlar

Görsel 5 ile Görsel 6 detaylı olarak incelendiğinde ÇBAG'da rüzgar hızı 9 m/s ve kompanzasyon oranı % 60 olduğu durumda geleneksel modelin en kötü sonuç verdiği görülmüştür. Geleneksel modelin kullanılmasında rüzgar hızı 9 m/s ve kompanzasyon oranı % 50 olduğu durumda nispeten daha iyi sonuçlar alınabilmektedir. Görsel 5 ve Görsel 6'da SDC+rezonans kontrol modelin geliştirilmesi sistemin kararlılığın sağlandığı ve salınımların sönümlendiği görülmektedir. Görsel 7 ve Görsel 8 detaylı bir şekilde incelendiğinde rüzgar hızının 11 m/s ve kompanzasyon oranı %60 olduğu durumda sistemde kararsızlık olaylarının giderek arttığı görülmektedir. Nispeten ÇBAG'da rüzgar hızının 11 m/s ve seri kompanzasyon oranının %50 olduğu durumda salınımlar daha az olmaktadır. Geliştirilen SDC+rezonans kontrol modelin Görsel 7 ve Görsel 8'de sistemi kısa süre içerisinde kararlı hale getirdiği ve salınımları da hızlıca sönümlediği görülmektedir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada SSR durum analizi için GSC devresinde geliştirilen rezonans model ve RSC devresinde geliştirilen ESK modeller kullanılmıştır. Farklı analizler şeklinde incelenen çalışmada ÇBAG'da rüzgar hızının 9 m/s olduğu durum için seri kompanzasyon oranı % 50 ve % 60 olduğu durumlar ilk senaryoda incelenirken, rüzgar hızının 11 m/s olduğu durumlarda seri kompanzasyon oranının % 50 ve % 60 olduğu durumlar ikinci senaryoda incelenmiştir. Benzetim çalışmasında geleneksel model ve ESK+rezonans kontrol modelin karşılaştırmaları yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada ÇBAG'da RSC ve GSC devresinde ESK+rezonans kontrol modelin birlikte kullanılması elektriksel güç, elektriksel moment ve DC link gerilimlerinde kararlılık ve salınımlar açısından iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmada GSC devresinde geliştirilen ESK modelin RSC devresinde geliştirilecek olan farklı kontrol modeller ile beraber kullanılabilmesine zemin hazırlayacaktır. Bunun yanısıra bu çalışma ESK+rezonans kontrol modelleri kullanılarak arka arkaya bağlı evirici devrelerinde farklı frekans spektrumunda harmonik analizlerinin de yapılabilmesine olanak sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

[1] Musarrat, M. N., & Fekih, A. Event-Triggered robust control scheme for sub-synchronous resonance mitigation in DFIG-based WECS. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 148, 109006, 2023.

[2] Miao, Z. Impedance-model-based SSR analysis for type 3 wind generator and series-compensated network. IEEE Transactions on Energy Conversion, 27(4), 984-991, 2012.

[3] Zhang, X., Zhang, Y., Fang, R., & Xu, D. Impedance modeling and SSR analysis of DFIG using complex vector theory. IEEE Access, 7, 155860-155870, 2019.

[4] Huang, P. H., El Moursi, M. S., Xiao, W., & Kirtley, J. L. Subsynchronous resonance mitigation for series-compensated DFIG-based wind farm by using two-degree-of-freedom control strategy. IEEE Transactions on Power Systems, 30(3), 1442-1454, 2014.

[5] Bodapatla, S. K., Sarma, P. M., & Gaddam, M. A Robust UDE-Based 2DOF Controller for Mitigating Sub-Synchronous Control Interaction in Wind Power Plants. Electric Power Components and Systems, 52(4), 610-628, 2024.

[6] Piyasinghe, L., Miao, Z., Khazaei, J., & Fan, L. Impedance model-based SSR analysis for TCSC compensated type-3 wind energy delivery systems. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 6(1), 179-187, 2014.

[7] Rohit, C., Darji, P., & Jariwala, H. R. A preordainment approach for design of auxiliary damping controller and SSSC tuning to enhance SSR mode stability in DFIG based windfarm. Smart Science, 11(3), 605-628, 2023.

[8] Abdeen, M., El-Banna, S. H. A., Elgohary, S., Mostafa, H., Ghaly, N., Adel, N., ... & Kamel, S. Adaptive fuzzy supplementary controller for SSR damping in a series-compensated DFIG-based wind farm. IEEE Access, 11, 1467-1476, 2022.

[9] Abdeen, M., Li, H., Mohamed, M. A. E. H., Kamel, S., Khan, B., & Chai, Z. Sub-synchronous interaction damping controller for a series-compensated DFIG-based wind farm. IET Renewable Power Generation, 16(5), 933-944, 2022.

[10] Mohammadpour, H. A., & Santi, E. SSR damping controller design and optimal placement in rotor-side and grid-side converters of series-compensated DFIG-based wind farm. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 6(2), 388-399, 2015.

[11] Yao, J., Wang, X., Li, J., Liu, R., & Zhang, H. Sub-synchronous resonance damping control for series-compensated DFIG-based wind farm with improved particle swarm optimization algorithm. IEEE Transactions on Energy Conversion, 34(2), 849-859, 2018.

[12] Bekiroglu, E., & Yazar, M. D. MPPT control of grid connected DFIG at variable wind speed. Energies, 15(9), 3146, 2022.

[13] Fan, L. Kavasseri, R. Miao, Z.L. and Zhu, C. Modeling of DFIG-based wind farms for SSR analysis, IEEE Trans. Power Del., vol. 25, no. 4, pp. 2073–2082, Oct. 2010.

[14] Rohit, C., Darji, P., & Jariwala, H. R. A preordainment approach for design of auxiliary damping controller and SSSC tuning to enhance SSR mode stability in DFIG based wind farm. Smart Science, 11(3), 605-628, 2023.

[15] Touti, E., Abdeen, M., El-Dabah, M. A., Kraiem, H., Agwa, A. M., Alanazi, A., & Alanazi, T. I. Sub-synchronous oscillation mitigation for series-compensated DFIG-based wind farm using resonant controller. IEEE Access, 12, 66185-66195, 2024.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

GÜÇ SİSTEMLERİNDE STATİK KONDENSER+TCSC İLE STATİK GERİLİM KARARLILIĞININ İNCELENMESİ

Prof. Dr., M. Kenan DÖŞOĞLU

Düzce Üniversitesi, kenandosoglu@duzce.edu.tr- 0000-0001-8804-7070

Dr. Öğr. Üyesi, Enes KAYMAZ

Düzce Üniversitesi, eneskaymaz@duzce.edu.tr- 0000-0002-4774-0773

Öğr. Gör., Muhammet DEMİRBAŞ

Kastamonu Üniversitesi, muhammetdemirbas@kastamonu.edu.tr- 0000-0002-5223-1279

ÖZET

Çok baralı güç sistemlerinde yük taleplerindeki ve farklı çalışma koşullarındaki değişimler yük barası gerilimlerini etkilemektedir. Bu gerilim değişimlerinin belirli sınırlar içerisinde olması istenmektedir. Bunun için güç sistemlerinde statik gerilim kararlılığının analiz edilmesi gerekmektedir. Yapılan bu çalışmada Uluslararası Elektrik-Elektronik Mühendisliği (IEEE) 14 baralı güç sisteminde statik gerilim kararlılığı için Statik Kondenser ve Tristör Kontrollü Seri Kompanzatör (TCSC)'nin birlikte kullanıldığı durumdaki analizler detaylı olarak incelenmiştir. Statik gerilim kararlılığının incelenmesinde çalışmada Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) kullanılmıştır. 3 farklı analizde gerçekleştirilen çalışmada öncelikle sistemin maksimum yüklenme parametresi elde edilirken, ikinci analizde 100 MVA gücündeki statik kondenserin yüklenme parametresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üçüncü analizde de statik kondenser ile birlikte kullanılan 100 MVA'lık TCSC'nin sistemdeki yüklenme durumuna olan etkisi detaylı olarak ele alınmıştır. Sistemde statik kondenserin yerleşim yeri, yük akışı sonucundaki bara gerilimi en düşük olan bara olarak belirlenirken, TCSC'nin optimal yerleşim yerinde de yük akışı sonucunda hat kayıplarının en çok olduğu iletim hattı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre IEEE 14 baralı sistemde kullanılan statik kondenser ve TCSC sistemi ile yüklenme durumuna bağlı olarak statik gerilim kararlılığı analizinde diğer analizlere göre iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Statik gerilim kararlılığı, statik kondenser, TCSC, PSAT.

1. GİRİŞ

Çok baralı güç sistemlerinde üretim ve iletim tesislerinin eksikliği ile yük taleplerinin sürekli değişmesinden dolayı sistemin güvenli olarak çalışabilmesi için yük bara gerilimlerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Güç sistemlerinde yük barası geriliminin belirli sınırlar içerisinde kontrol edilmesindeki en önemli konu gerilim kararlılığı olarak karşımıza çıkmaktadır [1,2]. Güç sistemlerinde farklı gerilim kararlılığı analizleri literatürde yaygın bir şekilde

kullanılmaktadır. Güç sistemlerinde gerilim kararlılığı analizlerinde sürekli yük akışı yöntemi kullanılmaktadır. Benzetim çalışmasının hesaplama kolaylığının sağlanması ve performansının arttırılmasında geliştirilmiş sürekli yük akış yöntemlerinin etkili bir şekilde kullanıldığı ilgili çalışmalarda görülmektedir [3,4]. Güç sistemlerinde gerilim kararlılığını etkileyen önemli konulardan birisi de statik ve dinamik yük modelleridir. Statik ve dinamik yük modellerinin devreye girmesiyle bara gerilim profillerinde değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimlerin gerilim kararlılığı üzerinde oluşturmuş olduğu etkiler ilgili çalışmalarda gösterilmiştir [5-6]. Çok baralı güç sisteminde transformatörlerin 3 sargılı olarak farklı kullanımı ve kademe değiştirme oranları, transformatördeki açı değişimleri gibi parametrelerindeki değişimler gerilim kararlılığı etkileyen unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Belirtilen özelliklerin çok baralı farklı güç sistemlerinde yüklenme ve bara gerilim profilleri analizleri ilgili çalışmalarda gösterilmiştir [7-9]. Son yıllarda fosil yakıtlı kaynakların kullanımının kısıtlanması ve rezervlerinin azalmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlenmeler başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegre edilmesiyle çok baralı güç sistemlerinde gerilim kararlılığı analizleri detaylı olarak incelenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonu ile gerilim kararlılığı açısından güç sistemlerinin güvenli olarak çalıştığı ve yük barası gerilim profillerinde iyileşmeler ilgili çalışmalarda görülmektedir [10,11]. Güç sistemlerinde yük barası geriliminin kontrol edilmesinde paralel güç elektroniği tabanlı kompanzasyon sistemleri tercih edilmektedir. Paralel FACTS cihazları sistemde yük barası gerilimini kontrol etmektedir. Bu FACTS cihazlarının sistem gerilim kararlılığını istenen düzeyde ayarlandığı ilgili çalışmalarda gösterilmiştir [12,13].

Yapılan bu çalışmada IEEE 14 baralı güç sisteminde statik kondenser ile iletim hattına seri olarak bağlanan sistemin güç transferini arttıran ve empedans kontrolünde kullanılan TCSC'nin birlikte kullanılması amaçlanarak sistemin statik gerilim kararlılığı analizi incelenmiştir. Test sisteminde statik kondenserin optimal yerleşim yeri, yük akışına göre bara gerilim profili en düşük olan yük barası olarak belirlenirken, TCSC'nin yük akışı sonucuna göre kayıpların en fazla olduğu iletim hattına bağlanması optimum yerleşim yeri olarak bu çalışmada belirlenmiştir. 3 farklı senaryoda incelenen bu çalışmada statik kondenser ve TCSC'nin birlikte kullanılması ile sistemde bara gerilim profillerinin arttığı ve sistem maksimum yüklenme parametre değerinde iyileşmelerin olduğu tespit edilmiştir.

2. STATİK GERİLİM KARARLILIĞI

Güç sistemlerinde statik gerilim kararlılığı durumunu incelemek için sistemin reaktif güç durumuna ihtiyaç bulunmaktadır. Yük barası gerilimlerinin çeşitli çalışma koşullarına göre ayarlanmasında reaktif gücün hesap edilmesi gerekmektedir. Yük barasına bağlı tüketicilerin reaktif güç taleplerine göre gerilim profili davranışı değişmektedir. Buna bağlı olarak sistemin yüklenme durumu azalmaktadır ya da artmaktadır. Bara gerilimi ile sistem yüklenme parametresi arasındaki ilişkinin olması statik gerilim kararlılığını tanımlamaktadır [14].

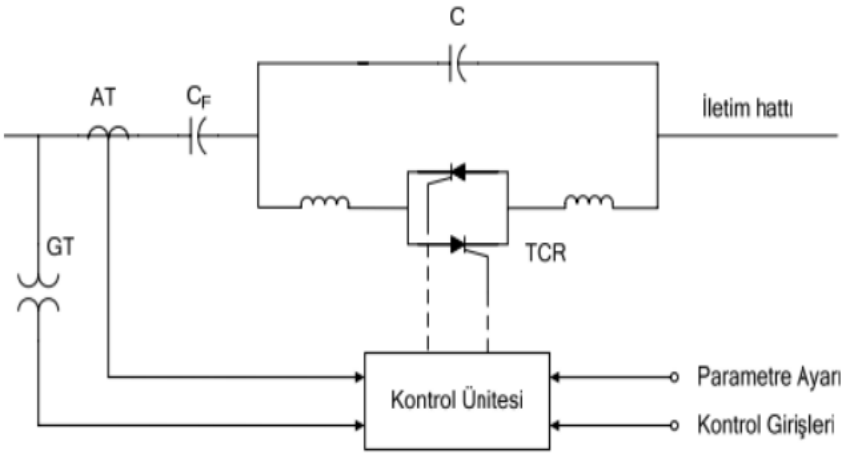
ISBN NR: 978-625-5694-96-6

3. STATİK KONDENSER

Üç fazlı bir eviricide oluşan statik kondenser aslında tristörlerden oluşan üç fazlı bir eviricidir. Statik kondenserde kullanılan evirici devresi bir doğru akım enerji depolama kondansatör geriliminden ve alternatif akım gerilimleriyle aynı fazda bulunan faz kaydırıcı transformatörü tarafından çalıştırılmaktadır. Statik kondenser çıkış gerilimleri alternatif akım şebeke gerilimlerinden daha büyük olduğunda, akım akışı öne doğru olmaktadır. Eğer çıkış gerilimleri alternatif akım şebeke gerilimlerinden daha küçükse, akım akışı geriye doğru olmaktadır. Statik kondenserde gerilim ile akım arasındaki genlik ilişkisi şekilde kontrol edilmektedir. Sistemin bu şekilde çalışması reaktif güç ve kutup polaritesi gerilimi kontrolü ile sağlanmaktadır. Statik kondenser kontrolünde ölçülen gerilim ile referans gerilimi fark bir kazanç ile belirlenen bir zaman dilimi katsayısına girmektedir. Bunun çıkışında bulunan bir sınırlandırıcı bloğu ile sınırlandırıcı gerilim istenen düzeyde ayarlanabilmektedir [15].

4. TRİSTÖR KONTROLLÜ SERİ KOMPANZATÖR (TCSC)

Tristör Kontrollü Seri Kompanzatör (TCSC) sisteme seri olarak bağlanan FACTS cihazlardan birisidir. Özellikle sistemde akıma bağlı empedans kontrolünü sağlamaktadır. TCSC modeli Görsel 1'de gösterilmiştir.



Görsel 1. TCSC modeli

Görsel 1'de görünen TCSC modelinde sistem kapasitörler, Tristör Kontrollü Reaktör (TCR) ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Sistemin çalışmasına bağlı olarak iletim hattına bağlanan TCSC sistemdeki kapasitif çalışma durumlarına göre tristör grupları sayesinde TCR devresini devreye alarak sistemin empedansını düzenlemektedir. TCSC'nin kapasitif çalışma durumundaki reaktans ifadesi Denklem 1'de gösterilmiştir.

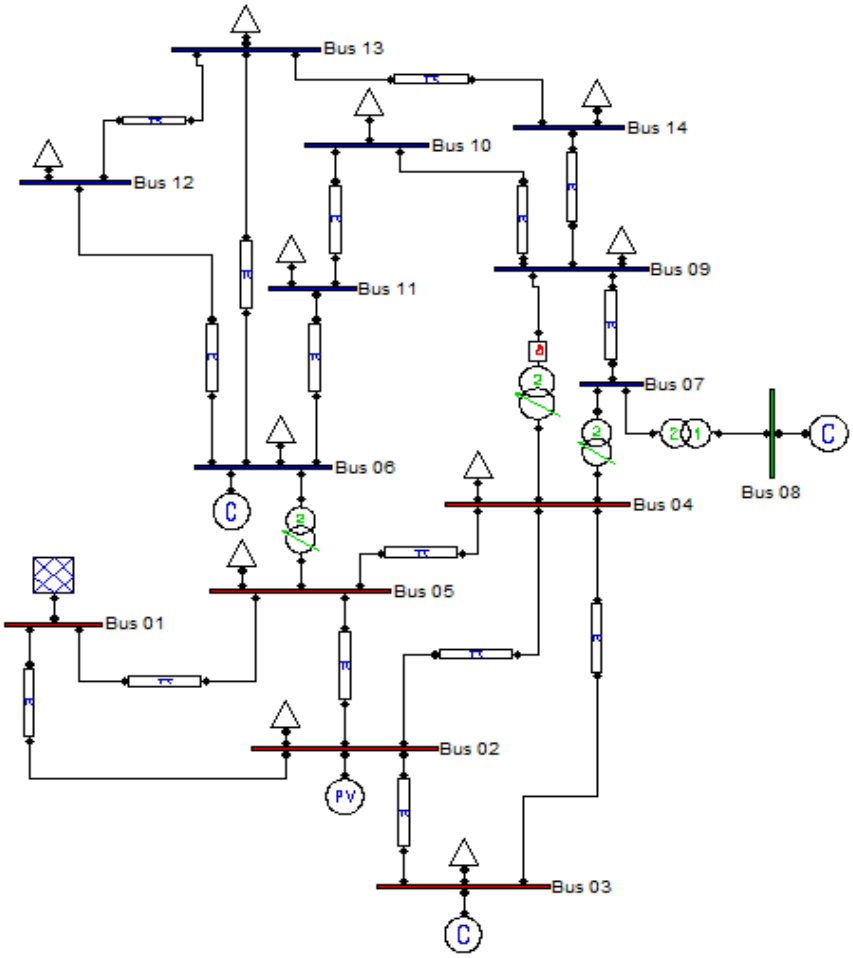
$$X_c = \frac{X_l X_c}{X_c[2(\pi-\alpha)+\sin 2\alpha]/\pi - X_l} \tag{1}$$

Burada, X_c kapasitif reaktans, X_l endüktif reaktans, α tristörlerin tetikleme açı değerleridir. [16].

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

5. BENZETİM ÇALIŞMASI VE SONUÇLARI

Bu çalışmada Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) analizlerde kullanılmıştır. [17]. IEEE 14 baralı sistem Görsel 2'de gösterilmiştir.

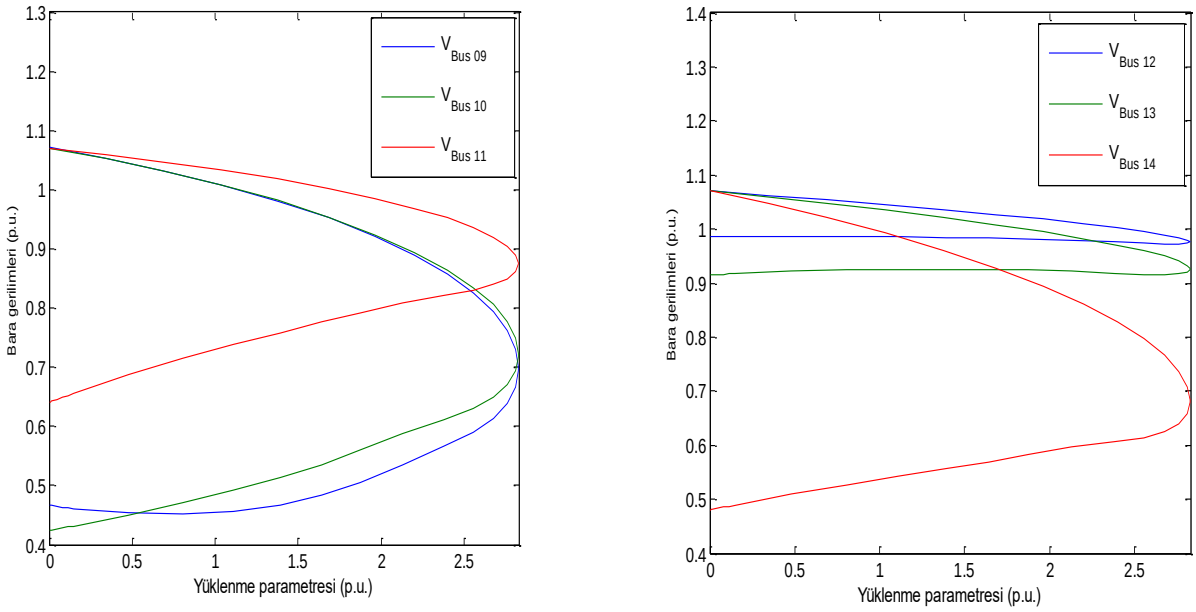


Görsel 2. IEEE 14 baralı sistem

IEEE 14 baralı sistemde 1 salınım barası 4 generatör barası ve 9 yük barası kullanılmaktadır. Bu test sisteminde 4 adet transformatör ve çok sayıda iletim hattı kullanılmaktadır. Sistemde öncelikle sürekli yük akışı yapılarak sistemin maksimum yüklenme parametre değeri elde edilmiştir. Sonraki aşamada statik kondenserin optimal yerleşim yeri için yük akışı yapılmıştır. Yük akışı sonucunda yük bara gerilim profili en düşük olan bara 14 numaralı bara olmuştur. 14 numaralı baraya 100 MVA gücünde statik kondenser bağlanarak sürekli yük akışı yapılarak sistemin maksimum yüklenme parametresi elde edilmiştir. Son analizde de TCSC'nin optimal yerleşimi için Görsel 2'de verilen sistemde yük akışı yapılarak hat kayıplarının en fazla olduğu hat belirlenmiştir. 1 ve 2 numaralı baralar arasındaki hatta en fazla kayıp oluştuğu görülmüştür. Bunun için 1 ve 2 numaralı baralar arasında bulunan hatta 100 MVA gücünde TCSC bağlanmıştır. Son analizde statik kondenser ve TCSC birlikte sisteme bağlıdır. Statik kondenser ve TCSC'nin bağlı olduğu durumda sistemin maksimum yüklenme parametre değeri elde

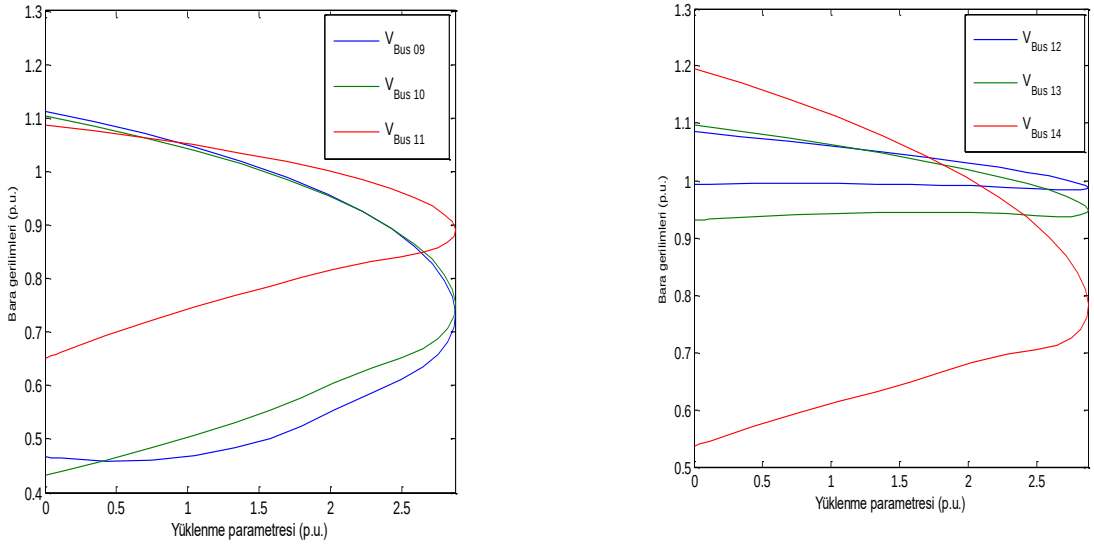
ISBN NR: 978-625-5694-96-6

edilmiştir. IEEE 14 baralı güç sisteminde statik kondenser ve TCSC'nin kullanılmadığı durumdaki sürekli yük akışı sonucunda elde edilen sonuçlar Görsel 3'te gösterilmiştir.



Görsel 3. Statik kondenser ve TCSC'nin kullanılmadığı durumdaki elde edilen sonuçlar

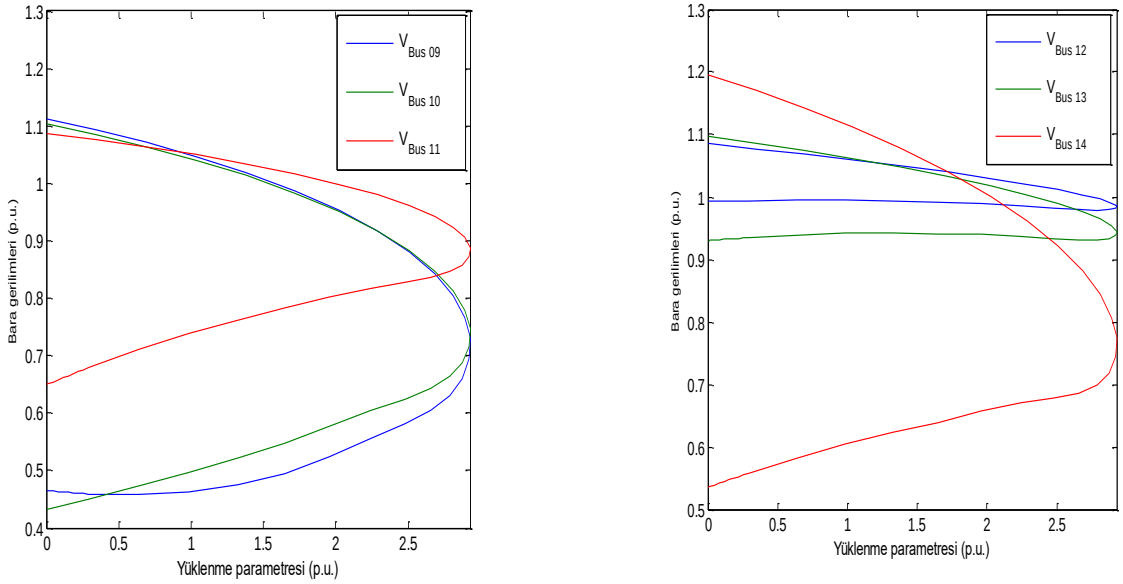
İlk analizde Görsel 3'te görüldüğü gibi 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 numaralı yük baraları incelenmiştir. IEEE 14 baralı sistemde sürekli yük akışı yapılarak statik kondenser ve TCSC'nin kullanılmadığı durumdaki maksimum yüklenme parametresi hesaplanmıştır. Statik kondenser ve TCSC'nin kullanılmadığı durumdaki sistemin maksimum yüklenme parametre değeri 2.8286 olarak elde edilmiştir. İkinci analizde IEEE 14 baralı güç sisteminde 100 MVA statik kondenserin kullanımı ele alınmıştır. Statik kondenserin 14 numaralı baraya bağlanmasıyla sürekli yük akışı analizi yapılarak sistemin maksimum yüklenme parametre değeri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Görsel 4'te gösterilmiştir.



ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Görsel 4. Statik kondenserin kullanıldığı durumdaki elde edilen sonuçlar.

İkinci analizde IEEE 14 baralı sistemde öncelikle yük akışı yapılarak 100 MVA gücündeki statik kondenserin optimal yerleşim yeri 14 numaralı bara olarak belirlenmiştir. Sürekli yük akışı yapılarak 100 MVA gücündeki statik kondenserin kullanıldığı durumdaki sistemin maksimum yüklenme parametresi hesaplanmıştır. Statik kondenser ile sistemin maksimum yüklenme parametre değeri 2.8709 olarak elde edilmiştir. Üçüncü analizde IEEE 14 baralı güç sisteminde, ikinci analizde 100 MVA statik kondenserin kullanımının yanı sıra 100 MVA gücündeki TCSC'nin kullanımı amaçlanmıştır. Statik kondenserin 14 numaralı baraya bağlanması ve TCSC'nin 1-2 numaralı iletim hattına bağlanması ile sürekli yük akışı analizi yapılarak sistemin maksimum yüklenme parametre değeri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Görsel 5'te gösterilmiştir.



Görsel 5. Statik kondenser ve TCSC'nin birlikte kullanıldığı durumdaki elde edilen sonuçlar.

Üçüncü analizde IEEE 14 baralı sistemde öncelikle yük akışı yapılarak 100 MVA gücündeki statik kondenserin optimal yerleşim yeri 14 numaralı bara olarak belirlenirken, 100 MVA gücünde TCSC'nin optimal yerleşim yeri 1-2 numaralı iletim hattı olarak belirlenmiştir. Sürekli yük akışı yapılarak 100 MVA gücündeki statik kondenser ve 100 MVA gücündeki TCSC'nin birlikte kullanıldığı durumdaki sistemin maksimum yüklenme parametresi hesaplanmıştır. Statik kondenser ile TCSC'nin birlikte kullanılmasıyla sistemin maksimum yüklenme parametre değeri 2.9294 olarak elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada IEEE 14 baralı güç sisteminde statik kondenser-TCSC'nin birlikte kullanımı ile statik gerilim kararlılığı analizi incelenmiştir. Sistemin normal çalışmasında, 100 MVA'lık statik kondenserin kullanılması ve 100 MVA'lık TCSC'nin statik kondenser ile birlikte kullanılması ile maksimum yüklenme parametresi değerleri incelenmiştir. Maksimum yüklenme parametresi değerleri için bazı yük barası gerilimleri kullanılmıştır. Statik

kondenserin ve TCSC'nin IEEE 14 baralı güç sisteminde kullanım yerlerinin optimal yerleşiminde yük akışından faydalanılmıştır. Üç analiz şeklinde PSAT programında yapılan çalışmada, kondenser ile TCSC'nin birlikte kullanılması durumunda sistemin maksimum yüklenme parametre değerinin diğer analizlere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun yanı sıra bara gerilim profillerinde de iyileşmeler oluşmuştur. Yapılan bu çalışma, farklı test sistemlerinde diğer FACTS cihazları ve statik kondenserin birlikte kullanılarak çeşitli statik gerilim kararlılığı analizlerinin yapılmasına olanak sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

[1] Sode-Yome, A., Mithulananthan, N., & Lee, K. Y. A maximum loading margin method for static voltage stability in power systems. IEEE Transactions on Power Systems, 21, 2, 799-808, 2006.

[2] Nagao, T., Tanaka, K., & Takenaka, K. Development of static and simulation programs for voltage stability studies of bulk power system. IEEE transactions on power systems, 12,1, 273-281, 2002.

[3] Larki, F., Joorabian, M., Kelk, H. M., & Pishvaei, M. (2010, March). *Voltage stability evaluation of the Khouzestan power system in Iran using CPF method and modal analysis.* In 2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (pp. 1-5), 2010, IEEE.

[4] Montazeri, M., Pourgharibshahi, H., Mohammadian, M. *Static voltage stability analysis of IRAN south-east power system using extended CPF method.* In International Power system conference. Tehran-IRAN, 2012.

[5] Vournas, C. D., Krassas, N. D. Voltage stability as affected by static load characteristics. In *IEE Proceedings C Generation, Transmission and Distribution* ,140, 3, 221-228, 1993, IEE.

[6] Borghetti, A., Caldon, R., Mari, A., Nucci, C. A. 2002. On dynamic load models for voltage stability studies. IEEE Transactions on Power Systems, 12,1, 293-303,2002.

[7] Döşoğlu, M. K., Güvenç, U., Duman, S., Dursun, M. *Sargılı Transformatörün Gerilim Kararlılığı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi,* 3. Anadolu Enerji Sempozyumu, Muğla, Türkiye, 292-298,2015

[8] Döşoğlu, M. K., Tosun, S., Öztürk, A., Poyraz, G. Faz Kaydirici Transformatörlerin Statik Gerilim Kararliliği Üzerindeki Etkilerinin Incelenmesi. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 2, 3, 43-52, 2013.

[9] Döşoğlu, K., Uğur Doğan, M. Gerilim-Reaktif Güç Kontrol Modelli Kademe Değiştirici Transformatörün Gerilim Kararlılığı Üzerindeki Etkisi. Duzce University Journal of Science and Technology, 7,3, 1378-1393, 2019.

[10] Chi, Y., Liu, Y., Wang, W., Dai, H.*Voltage stability analysis of wind farm integration into transmission network*. In 2006 International Conference on Power System Technology 1-7, 2006, IEEE.

[11] Rahman, S., Saha, S., Islam, S. N., Arif, M. T., Mosadeghy, M., Haque, M. E., Oo, A. M. Analysis of power grid voltage stability with high penetration of solar PV systems. IEEE Transactions on Industry Applications, 57,3, 2245-2257, 2021.

[12] Li, S., Zhao, Q., Chen, C., Xu, Y. A comparative study on voltage stability bifurcation control ability of SVC and STATCOM. In *2012 China International Conference on Electricity Distribution* 1-4, 2012, IEEE.

[13] Sode-Yome, A., Mithulananthan, N. Comparison of shunt capacitor, SVC and STATCOM in static voltage stability margin enhancement. International Journal of Electrical Engineering Education, 41,2, 158-171, 2004.

[14] Kazemi A., Badrzadeh B. Modeling and Simulation of SVC and TCSC to Study Their Limits on Maximum Loadability Point. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 26,8, 619-626, 2004.

[15] Haijun, L., Wenying, H. *Preventing of transient voltage instability due to induction motor loads by static condenser*. In Proceedings of 1994 IEEE International Conference on Industrial Technology-ICIT'94 827-831, 1994, IEEE.

[16] Khederzadeh, M. *Application of TCSC to enhance power quality*. In 2007 42nd International Universities Power Engineering Conference, 607-612, 2007, IEEE.

[17] Milano, F. (2005). An open source power system analysis toolbox. *IEEE Transactions on Power systems*, *20*(3), 1199-1206.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA KANAT MALZEMESİ SEÇİMİ İÇİN MABAC ANALİZİ

ÜNAL YILMAZ
Asri Mühendislik, Türkiye, unalylmz4444@gmail.com - https://orcid.org/0000-0003-0058-6323
PROF. DR. FİGEN BALO
Met. ve Malz. Müh Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Türkiye, figenbalo@gmail.com - https://orcid.org/0000-0001-5886-730X

ÖZET

Küçük boyutlu insansız hava araçları (İHA), düşük maliyet, yüksek manevra kabiliyeti ve geniş kullanım alanları nedeniyle son yıllarda hem sivil hem de askeri uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu araçların performansı, özellikle kanat yapısında kullanılan malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Kanat malzemesinin seçimi; yoğunluk, elastisite modülü, çekme dayanımı, Poisson oranı ve termal genleşme katsayısı gibi birden fazla kriterin değerlendirilmesini gerektiren çok kriterli bir karar problemidir. Bu nedenle uygun malzemenin belirlenmesi için sistematik ve analitik karar verme yöntemlerinin kullanılması önem taşımaktadır.

Bu çalışmada mini İHA kanat yapıları için enuygun malzemenin belirlenmesi amacıyla Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada alternatif malzemeler olarak polistiren, balsa ağacı, kevlar, karbon fiber takviyeli polimer kompozitler ve alüminyum alaşımları değerlendirilmiştir. Analizde kullanılan kriterler yoğunluk, elastisite modülü, çekme dayanımı, Poisson oranı ve termal genleşme katsayısıdır. Öncelikle karar matrisi oluşturulmuş, sonrasında normalize edilmiş ve kriter ağırlıkları dikkate alınarak ağırlıklı normalize matris elde edilmiştir. MABAC yöntemi kapsamında sınır yaklaşım alanı hesaplanmış ve alternatiflerin performans skorları belirlenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre karbon fiber takviyeli polimer kompozit malzemenin enyüksek performans değerine sahip olduğu ve küçük İHA kanat yapıları için enuygun malzeme olduğu belirlenmiştir. Kevlar ve alüminyum alaşımları diğer uygun alternatifler olarak sıralanırken, polistiren ve balsa ağacı daha düşük performans değerleri göstermiştir. Elde edilen bulgular, karbon fiber kompozitlerin yüksek mekanik dayanım, yüksek elastisite, düşük termal genleşme özellikleri sayesinde İHA kanat tasarımlarında önemli avantajlar ortaya koymaktadır. Bu çalışma, İHA tasarımında malzeme seçimi problemlerine çok kriterli karar verme yaklaşımlarının uygulanabilirliğini göstermesi açısından literatüre katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler : Küçük İHA, Malzeme Seçimi, Çok Kriterli Karar Verme, MABAC Yöntemi, Kompozit Malzemeler.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

1.GİRİŞ

İHAlar, son yıllarda savunma, tarım, lojistik, çevresel izleme ve afet yönetimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır [1]. Özellikle mini ve mikro ölçekli İHA sistemleri, düşük maliyetleri, taşınabilir yapıları ve operasyonel esneklikleri nedeniyle araştırma ve endüstriyel uygulamalarda önemli bir yer edinmiştir. Bu araçların aerodinamik performansı, uçuş stabilitesi ve enerji verimliliği büyük ölçüde yapısal tasarımına ve kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlıdır [2-4]. İHA tasarımında kanat yapıları, taşıma kuvvetinin oluşturulması ve uçuş performansının sağlanması açısından kritik bir bileşen olarak öne çıkmaktadır.

Kanat yapılarında kullanılan malzemelerin yoğunluk, mekanik dayanım, elastisite, termal davranış ve yapısal stabilite gibi birçok özelliği, aracın genel performansını doğrudan etkilemektedir [5]. Özellikle mini İHA'larda ağırlığın azaltılması, yeterli mekanik dayanımın sağlanması ve çevresel koşullara karşı dayanıklılığın korunması önemli mühendislik gereksinimleridir [6, 7]. Bu nedenle kanat malzemesi seçimi; birden fazla kriterin eş zamanlı olarak değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir mühendislik problemidir. Geleneksel malzeme seçim yaklaşımları çoğu zaman tek bir performans kriterine odaklanırken, günümüzde çok sayıda teknik parametrenin birlikte değerlendirilmesini sağlayan analitik yöntemler daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

İHA geliştirme için daha iyi performans ve verimlilik sağlayabilecek birçok kompozit malzeme önerilmiştir [8, 9]. Abdujabarov, İHA'ların geliştirilmesinde kullanılan son ve gelecekteki teknolojileri ve malzemeleri tartışmıştır [10]. James, hava araçlarında Hafiflik, yüksek sıcaklık dayanımı vb. gibi kendine özgü avantajları olan Ti alaşımının geliştirilmesi ve farklı Ti alaşım kalitelerinin kullanımını tartışmıştır [11].

Costanza, şekil hafızalı alaşımları ve bunların havacılık ve İHA endüstrilerindeki kullanımını tartışmıştır [12]. Suryawanshi, düşük ağırlıklı alüminyum malzeme ve alaşımlarının drone tasarımı ve geliştirilmesinde kullanımını göstermiştir [13].

Bu tür problemlerin çözümünde ÇKKV yöntemleri etkin araçlar sunmaktadır. ÇKKV yöntemleri, farklı özelliklere sahip alternatiflerin birden fazla kriter açısından sistematik biçimde değerlendirilmesine ve en uygun alternatifin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Literatürde malzeme seçimi problemlerinde AHP, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE ve MABAC gibi çeşitli yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Bu yöntemler özellikle mühendislik tasarım süreçlerinde alternatiflerin performanslarının karşılaştırılmasına ve karar verme sürecinin daha objektif bir şekilde yürütülmesine katkı sağlamaktadır.

Son yıllarda geliştirilen ÇKKV yöntemlerinden biri olan MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) yöntemi, alternatiflerin sınır yaklaşım alanına olan uzaklıklarını dikkate alarak performans değerlendirmesi yapan etkili bir karar analiz yöntemidir. MABAC yöntemi, hesaplama kolaylığı, sonuçların yorumlanabilirliği ve farklı kriter türlerinin aynı model içerisinde değerlendirilebilmesi gibi avantajları nedeniyle mühendislik uygulamalarında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, mini İHA yapısal tasarımında malzeme seçimi problemlerinin MABAC yöntemi ile analiz edildiği çalışmalar literatürde sınırlı sayıdadır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Bu çalışmada mini insansız hava araçlarında kanat yapıları için en uygun malzemenin belirlenmesi amacıyla MABAC yöntemi kullanılarak çok kriterli bir karar analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada alternatif malzemeler olarak polistiren, balsa ağacı, kevlar, karbon fiber takviyeli polimer kompozitler ve alüminyum alaşımları değerlendirilmiştir. Analizde kullanılan kriterler yoğunluk, elastisite modülü, çekme dayanımı, Poisson oranı ve termal genleşme katsayısıdır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda mini İHA kanat tasarımlarında kullanılabilecek en uygun malzeme alternatifinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın, İHA tasarımında malzeme seçimi süreçlerine analitik bir yaklaşım sunarak literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.

2. MALZEMELER

2.1. Alternatif Malzemeler ve Değerlendirme Kriterleri

Bu çalışmada küçük boyutlu insansız hava araçlarının kanat yapılarında kullanılabilecek malzemelerin performanslarını karşılaştırmak amacıyla farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip alternatifler değerlendirilmiştir. İHA kanat tasarımında malzeme seçimi; ağırlık, mekanik dayanım, rijitlik ve çevresel koşullara karşı davranış gibi birden fazla mühendislik parametresinin birlikte ele alınmasını gerektiren önemli bir tasarım problemidir. Bu nedenle değerlendirme sürecinde malzemelerin yapısal performansını doğrudan etkileyen temel kriterler dikkate alınmıştır. Çalışmada yoğunluk, elastisite modülü, çekme dayanımı, Poisson oranı ve termal genleşme katsayısı kriterleri kullanılmıştır. Yoğunluk ve termal genleşme katsayısı maliyet kriteri olarak değerlendirilirken, elastisite modülü, çekme dayanımı ve Poisson oranı fayda kriteri olarak ele alınmıştır. Analiz kapsamında polistiren, balsa ağacı, kevlar, karbon elyaf takviyeli polimer kompozitler ve alüminyum alaşımları olmak üzere beş farklı malzeme alternatifi incelenmiştir. Kullanılan kriterler Çizelge 1'de, alternatif malzemelerin mekanik ve fiziksel özellikleri ise Çizelge 2'de sunulmuştur [14].

Çizelge 1. İHA Kanat Malzemesi Seçimi İçin Kriterler

Kod	Kriter	Birim	
C1	Yoğunluk	(g/cc)	(küçük olması iyi)
C2	Elastisite Modülü	(GPa)	fayda kriteri
C3	Çekme Dayanımı	(MPa)	fayda kriteri
C4	Poisson Oranı		fayda kriteri (yapısal stabilite için)
C5	Termal Genleşme Katsayısı		(küçük olması iyi)

İnsansız hava araçlarında kanat yapılarının tasarımı, uçuş performansı, yapısal dayanım ve sistem verimliliği açısından kritik bir mühendislik sürecidir. Kanat malzemesinin uygun şekilde seçilmesi; ağırlığın azaltılması, yeterli mekanik dayanımın sağlanması ve çevresel etkiler karşısında yapısal stabilitenin korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle malzeme seçiminde dikkate alınan kriterlerin, kanat yapılarının aerodinamik ve yapısal performansını doğrudan etkileyen temel özellikleri temsil etmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan değerlendirme kriterleri, literatürde havacılık ve kompozit yapı tasarımlarında yaygın olarak kullanılan mühendislik parametreleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Yoğunluk

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

(C1), İHA tasarımında toplam sistem ağırlığını doğrudan etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Özellikle mini ve mikro İHA sistemlerinde düşük ağırlık, daha düşük enerji tüketimi, daha uzun uçuş süresi ve daha yüksek manevra kabiliyeti sağlamaktadır. Bu nedenle yoğunluk değeri düşük olan malzemeler tercih edilmektedir ve bu kriter maliyet kriteri olarak değerlendirilmiştir. Elastisite modülü (C2), bir malzemenin rijitliğini ve elastik deformasyona karşı gösterdiği direnci ifade etmektedir. Kanat yapılarının uçuş sırasında maruz kaldığı aerodinamik yükler altında aşırı deformasyon göstermemesi için yüksek elastisite modülüne sahip malzemeler tercih edilmektedir. Bu nedenle elastisite modülü fayda kriteri olarak ele alınmıştır. Çekme dayanımı (C3), malzemenin çekme yükleri altında kırılmadan dayanabileceği maksimum gerilmeyi ifade etmektedir. İHA kanatları uçuş sırasında çeşitli aerodinamik ve yapısal yüklemelere maruz kaldığından, yüksek çekme dayanımına sahip malzemeler kanat yapısının güvenliğini ve dayanıklılığını artırmaktadır. Bu nedenle çekme dayanımı da fayda kriteri olarak değerlendirilmiştir.

Poisson oranı (C4), malzemenin bir yönde deformasyona uğradığında diğer yönde gösterdiği deformasyon davranışını ifade eden önemli bir mekanik parametredir. Bu özellik, kanat yapılarının yük altında stabilitesini ve deformasyon davranışını etkileyebilmektedir. Bu nedenle Poisson oranı da yapısal davranış açısından fayda kriteri olarak değerlendirilmiştir. Termal genleşme katsayısı (C5) ise malzemenin sıcaklık değişimlerine bağlı olarak boyutsal değişim gösterme eğilimini ifade etmektedir. İHA'lar farklı çevresel koşullarda ve sıcaklık değişimlerine maruz kalarak çalıştığından, düşük termal genleşme katsayısına sahip malzemeler yapısal kararlılık açısından avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle termal genleşme katsayısı maliyet kriteri olarak ele alınmıştır.

Belirlenen bu kriterler, İHA kanat yapılarında malzeme performansını etkileyen temel fiziksel ve mekanik özellikleri temsil etmekte olup alternatif malzemelerin çok kriterli karar verme yöntemi ile sistematik bir şekilde karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır.

Çizelge 2. İHA İçin Önerilen Kanat Malzemesi Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Kod	Malzeme	Yoğunluk	Elastisite Modülü (Msi)	Çekme Dayanımı (ksi)	Poisson Oranı	Termal Genleşme Katsayısı
A1	Polistiren	0.96	3.4	53	0.34	17×10^{-6}
A2	Balsa Ağacı	0.14	0.175	73	0.20	28×10^{-6}
A3	Kevlar	1.4	30	480	0.20	1.2×10^{-6}
A4	Karbon Elyaf Takviyeli Plastikler	1.6	70	600	0.10	1.2×10^{-6}
A5	Alüminyum Alaşımı	2.7	70	290	0.31	12.8×10^{-6}

Analizde değerlendirilen alternatif malzemeler, insansız hava araçlarında yaygın olarak kullanılan veya potansiyel kullanım imkânı bulunan farklı yapısal özelliklere sahip malzemeler arasından seçilmiştir. Polistiren, düşük yoğunluğu ve kolay şekillendirilebilir yapısı nedeniyle özellikle küçük ölçekli model hava araçlarında yaygın olarak kullanılan bir polimer malzemedir. Balsa ağacı, çok düşük yoğunluğa sahip doğal bir malzeme olup model uçak ve hafif yapısal uygulamalarda tercih edilmektedir. Kevlar, yüksek çekme dayanımı ve darbe direnci ile bilinen aramid esaslı bir kompozit fiber olup havacılık ve savunma uygulamalarında kullanılmaktadır. Karbon elyaf takviyeli polimer kompozitler ise yüksek özgül dayanım ve özgül rijitlik özellikleri sayesinde modern havacılık yapılarında en yaygın kullanılan kompozit malzemelerden biridir. Alüminyum alaşımları ise geleneksel havacılık yapılarında uzun yıllardır kullanılan, iyi mekanik özellikler ve üretim kolaylığı sağlayan mühendislik malzemeleri arasında yer almaktadır. Bu malzemelerin farklı yoğunluk, dayanım ve elastisite özelliklerine sahip olması, mini İHA kanat tasarımlarında malzeme seçimi probleminin çok kriterli karar verme yaklaşımı ile analiz edilmesi açısından uygun bir karşılaştırma ortamı sunmaktadır.

3. MABAC (MULTİ-ATTRİBUTİVE BORDER APPROXİMATİON AREA COMPARİSON) ANALİZİ

MABAC yöntemi, çok kriterli karar verme problemlerinde alternatiflerin performanslarının sistematik bir şekilde değerlendirilmesini sağlayan analitik bir yöntemdir. Bu yöntem, farklı özelliklere sahip alternatiflerin belirlenen kriterler doğrultusunda karşılaştırılmasına ve her bir alternatifin karar uzayındaki konumunun belirlenmesine olanak tanımaktadır. MABAC yaklaşımının temelinde, alternatiflerin belirlenen kriterler açısından oluşturulan sınır yaklaşım alanına olan uzaklıklarının hesaplanması yer almaktadır. Bu sayede her alternatifin karar problemindeki göreli üstünlüğü nicel olarak ifade edilebilmekte ve alternatifler arasında nesnel bir sıralama yapılabilmektedir. Hesaplama sürecinde öncelikle karar matrisi oluşturulmakta, daha sonra kriterlerin türüne bağlı olarak veriler normalize edilmekte ve kriter ağırlıkları dikkate alınarak değerlendirme matrisi elde edilmektedir. Bu aşamaların ardından sınır yaklaşım alanı ve alternatiflerin bu alana göre performans değerleri belirlenerek nihai sıralama gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada da küçük İHA kanat yapılarında kullanılabilecek alternatif malzemelerin performanslarının karşılaştırılması amacıyla MABAC yöntemi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda en uygun malzeme alternatifinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

MABAC yönteminde başlangıç karar matrisi (1 denklemi), normalize edilmiş karar matrisi (fayda kriteri için 2 denklemi ve maliyet kriteri için 3 denklemi) ve ağırlıklı normalize matrisi (kriter ağırlığı 4 denklemi) hesplamalarının ardından

$$X = [x_{ij}]$$

$$i = 1, 2, ..., m \text{ alternatifler}$$
$$j = 1, 2, ..., n \text{ kriterler} \qquad (1)$$

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (2)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{max} - x_{ij}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3)$$

$$v_{ij} = w_j(n_{ij} + 1) \quad (4)$$

Her kriter için sınır yaklaşım alanı 5, alternatiflerin sınır alanından uzaklığı 6 ve alternatif skoru 7 denklemleriyle hesaplanmıştır.

$$g_j = \left(\prod_{i=1}^{m} v_{ij}\right)^{1/m} \quad (5)$$

$$q_{ij} = v_{ij} - g_j \quad (6)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} q_{ij} \quad (7)$$

Normalize edilmiş karar matrisi, ağırlıklı normalize edilmiş matrisi sırasıyla Çizelge 3 ve Çizelge 4'de sunulmuştur.

Çizelge 3. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Alternatif	C1	C2	C3	C4	C5
A1	0.680	0.046	0.000	1.000	0.412
A2	1.000	0.000	0.037	0.417	0.000
A3	0.508	0.426	0.774	0.417	1.000
A4	0.430	1.000	1.000	0.000	1.000
A5	0.000	1.000	0.438	0.875	0.569

Çizelge 4. Ağırlıklı Normalize Edilmiş Matris

Alternatif	C1	C2	C3	C4	C5
A1	0.038	-0.079	-0.079	0.100	-0.024
A2	0.102	-0.088	-0.072	-0.017	-0.106
A3	0.004	-0.003	0.076	-0.017	0.094
A4	-0.012	0.112	0.121	-0.100	0.094
A5	-0.098	0.112	0.009	0.075	0.008

MABAC yöntemiyle yapılan analiz sonucu elde edilen nihai sıralama Çizelge 5'de verilmiştir

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Çizelge 5. Nihai Sıralama

Malzeme	Skor	Sıralama
Polistiren	-0.044	4
Balsa Ağacı	-0.181	5
Kevlar	0.154	2
Karbon Elyaf Takviyeli Plastikler	0.215	1
Alüminyum Alaşımı	0.106	3

Normalize karar matrisi, her kriterin birimlerinden bağımsız olarak alternatiflerin karşılaştırılabilmesini sağlamaktadır. Toplam skorlar, her alternatifin tüm kriterler göz önüne alındığında ne kadar avantajlı olduğunu göstermektedir. Skorlar incelendiğinde Karbon Elyaf Takviyeli Plastikler en yüksek toplam skora sahip olduğu için küçük boyutlu İHA kanat uygulamaları için en uygun alternatif olarak öne çıkmaktadır.

Ayrıca elde edilen sıralama, İHA kanat yapılarında malzeme seçiminin yalnızca tek bir mühendislik parametresine bağlı olmadığını, aksine birden fazla performans kriterinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Özellikle karbon elyaf takviyeli polimer kompozitlerin yüksek elastisite modülü ve çekme dayanımı gibi üstün mekanik özelliklere sahip olması, aynı zamanda nispeten düşük yoğunluk ve düşük termal genleşme katsayısı göstermesi, bu malzemenin yapısal verimlilik açısından önemli avantajlar sunmasına neden olmaktadır. Bu özellikler, mini İHA'ların uçuş sırasında maruz kaldığı aerodinamik yükler altında kanat yapısının yeterli rijitliğe sahip olmasını sağlarken aynı zamanda sistem ağırlığının düşük tutulmasına katkı sağlamaktadır. Benzer şekilde Kevlar malzemesi de yüksek çekme dayanımı ve düşük yoğunluk özellikleri sayesinde üst sıralarda yer almıştır; ancak elastisite modülünün karbon fiber kompozitlere kıyasla daha düşük olması performans skorunun nispeten daha düşük çıkmasına neden olmuştur. Alüminyum alaşımlarının ise yüksek elastisite modülüne sahip olmasına rağmen yoğunluk değerinin daha yüksek olması toplam performans skorunu sınırlayan bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Buna karşılık polistiren ve balsa ağacı gibi malzemeler düşük yoğunluk avantajına sahip olsalar da mekanik dayanım ve rijitlik değerlerinin sınırlı olması nedeniyle İHA kanat uygulamaları için daha düşük performans göstermiştir. Bu sonuçlar, havacılık ve kompozit yapı literatüründe sıkça vurgulanan "yüksek özgül dayanım ve özgül rijitlik" kavramlarının İHA yapısal tasarımında belirleyici olduğunu ortaya koymakta ve kompozit malzemelerin özellikle küçük ölçekli hava araçlarında tercih edilmesinin mühendislik açısından rasyonel bir yaklaşım olduğunu desteklemektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada küçük boyutlu insansız hava araçlarının kanat yapılarında kullanılabilecek en uygun malzemenin belirlenmesi amacıyla Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan MABAC yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada alternatif malzemeler olarak polistiren, balsa ağacı, kevlar, karbon fiber takviyeli polimer kompozitler ve alüminyum alaşımları değerlendirilmiştir. Malzeme seçimi sürecinde yoğunluk, elastisite modülü, çekme dayanımı, Poisson oranı ve termal genleşme katsayısı kriterleri dikkate alınmıştır. Bu kriterler, İHA kanat yapılarının hem yapısal dayanımı hem de aerodinamik performansı açısından kritik mühendislik parametreleri olarak belirlenmiştir.

Uygulanan MABAC analizi sonucunda alternatifler arasında en yüksek performans skorunun karbon fiber takviyeli polimer kompozit (CFRP) malzemeye ait olduğu belirlenmiştir. CFRP malzemesinin yüksek elastisite modülü ve çekme dayanımı gibi üstün mekanik özelliklere sahip olması, aynı zamanda düşük termal genleşme katsayısı göstermesi, bu malzemenin mini İHA kanat yapıları için en uygun alternatif olarak öne çıkmasını sağlamıştır. Kevlar malzemesi yüksek dayanım özellikleri nedeniyle ikinci sırada yer alırken, alüminyum alaşımları üçüncü sırada yer almıştır. Buna karşılık polistiren ve balsa ağacı gibi malzemeler düşük mekanik dayanım ve elastik özellikler nedeniyle daha düşük performans değerleri göstermiştir.

Elde edilen sonuçlar, kompozit malzemelerin özellikle hafiflik ve yüksek mekanik dayanım gerektiren havacılık uygulamalarında önemli avantajlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Mini İHA sistemlerinde kanat yapılarının hem düşük ağırlıkta olması hem de uçuş sırasında oluşan aerodinamik yükleri güvenli bir şekilde taşıyabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle karbon fiber kompozit malzemeler, yüksek özgül dayanım ve yüksek özgül elastisite özellikleri sayesinde geleneksel malzemelere göre daha uygun bir seçenek oluşturmaktadır. Çalışmanın sonuçları literatürde havacılık ve uzay yapılarında kompozit malzemelerin yaygın olarak tercih edildiğini gösteren çalışmalarla da uyumluluk göstermektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, küçük boyutlu İHA kanat yapılarında malzeme seçimi probleminin sistematik bir şekilde değerlendirilmesi için MABAC yönteminin etkili bir karar destek aracı olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular doğrultusunda karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin mini İHA kanat tasarımlarında en uygun malzeme alternatifi olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, İHA tasarım süreçlerinde mühendislik kararlarının analitik yöntemlerle desteklenmesine katkı sağlayarak gelecekte yapılacak tasarım ve malzeme seçimi çalışmalarına yol gösterici nitelik taşımaktadır.

KAYNAKÇA

[1] C.L. Hwang, K. Yoon, Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications: a State-of-art Survey, Springer-Verlag, New York, 1981.

[2] C. Lancea, L.-A. Chicos, Simulation, fabrication, and testing of UAV composite landing gear, Appl. Sci. (2022) 1–15.

[3] C. Ramirez-Atencia, V. Rodriguez-Fernandez, A revision on Multi-Criteria Decision Making methods for Multi-UAV Mission Planning Support, Expert Syst. Appl. 160 (2020), 113708.

[4] A. Balachandran, D. Karelia, Material selection for unmanned aerial vehicle, Int. J. Mech. Eng. Technol. 5 (2017) 34–39.

[5] R. Maity, Ruby Mishra, P.K. Pattnaik, Critique of Design Challenge of flying robots, Biomed. Eng. (2022).

[6] W. Grodzki, A. Łukaszewicz, Design and manufacture of unmanned aerial vehicles (Uav) wing structure using composite materials, Mater. Werkst. 46 (2015) Pp.270-278.

[7] S. Anand, A.K. Mishra, High-performance materials used for Uav manufacturing: classified review, Int. J. All Res. Educat. Scientific Methods (Ijaresm) 10 (2022) 2811–2817.

[8] D. Hoche, W.E. Weber, E. Gazenbiller, SarkisGavras, Norbert Hort, HajoDieringa, Novel magnesium based materials: are they reliable drone construction materials, a mini review, Front. Mater. (2021),

[9] D. Mitridis, C. Bliamis, P. Kaparos, K. Yakinthos, Design of a tilting mechanism for a VTOL flying wing UAV, IOP Conf. Series, Mater. Sci. Eng. (2021),

[10] Nuriddin Abdujabarov, Jonibek Takhirov, Rakhimjon Shokirov, Current Stat us and tendencies of use of new materials and technologies in the design of unmanned aerial vehicle (UAV), Universum: Technical Sciences: Electron Scientific Magazine, 12 (93), 2021

[11] J.C. Williams, R.R. Boyer, Opportunities and Issues in the Application of Titanium Alloys for Aerospace Components, Metals 10 (705) (2020)

[12] GirolamoCostanza, Maria Elisa Tata, Shape Memory Alloys for Aerospace, Recent Developments, and New Application: A Short Review, Materials, 13, 1856, 2020,

[13] V.K. Suryawanshi, D.J. Ashok, S.A. Rajmane, SnehalShivaji Mali, Design & development of agricultural fertilizer spraying drone with remote controller and autonomous control with low weight aluminium alloy frame structure, J. Remote Sens. GIS Technol. 5 (2) (2019),

[14] Ritu Maity, Ruby Mishra, Prasant Kumar Pattnaik, Anish Pandey, Selection of sustainable material for the construction of UAV aerodynamic wing using MCDM technique, Materials Today: Proceedings, 2024

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

İHA İNİŞ DESTEK YAPISININ METALİK BİLEŞENLERİ İÇİN KARAR DESTEK ANALİZİ

ÜNAL YILMAZ
Asri Mühendislik, Türkiye, unalylmz4444@gmail.com - https://orcid.org/0000-0003-0058-6323
PROF. DR. FİGEN BALO
Met. ve Malz. Müh Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Türkiye, figenbalo@gmail.com - https://orcid.org/0000-0001-5886-730X

ÖZET

İnsansız hava araçlarının (İHA) yapısal tasarımında kullanılan malzemelerin mekanik performansı, sistem güvenilirliği ve operasyonel verimlilik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle iniş destek yapısı gibi yüksek mekanik yüklerin ve darbe etkilerinin söz konusu olduğu bileşenlerde uygun malzeme seçimi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, İHA iniş destek yapısının metalik bileşenleri için en uygun malzemenin belirlenmesi amacıyla çok kriterli karar destek (ÇKKD) yöntemlerinden biri olan MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) yöntemi kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında paslanmaz çelikler, alüminyum alaşımı, titanyum alaşımı ve yüksek dayanımlı çeliklerden oluşan altı farklı malzeme alternatifi değerlendirilmiştir. Analizde yoğunluk, akma dayanımı, sertlik ve elastisite modülü olmak üzere dört temel mühendislik kriteri dikkate alınmıştır. Yoğunluk kriteri maliyet kriteri olarak ele alınırken, diğer kriterler fayda kriterleri olarak değerlendirilmiştir. Alternatif malzemeler MABAC yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve performans skorlarına göre sıralanmıştır.

Analiz sonuçlarına göre malzeme alternatiflerinin performans sıralaması M2 > M5 > M4 > M1 > M6 > M3 şeklinde elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yüksek akma dayanımı ve sertlik değerlerine sahip çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliğin en uygun malzeme alternatifi olduğunu göstermektedir. Buna karşılık düşük yoğunluk avantajına sahip olmasına rağmen mekanik dayanım değerlerinin daha düşük olması nedeniyle alüminyum alaşımı en düşük performansı göstermiştir. Bu çalışma, İHA yapısal bileşenlerinde malzeme seçimi problemlerinin ÇKKD yöntemleri kullanılarak sistematik ve etkin bir şekilde değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler : İnsansız Hava Aracı, Malzeme Seçimi, MABAC Yöntemi, Yapısal Tasarım, Mühendislik Malzemeleri

1.GİRİŞ

Son yıllarda insansız hava araçları (İHA), askeri, sivil ve endüstriyel uygulamalarda giderek daha yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Keşif ve gözetleme faaliyetlerinden tarımsal izleme, lojistik operasyonlar ve afet yönetimine kadar geniş bir kullanım yelpazesine sahip olan İHA sistemleri, düşük operasyon maliyetleri, yüksek manevra kabiliyeti ve esnek görev yetenekleri sayesinde modern havacılık teknolojilerinin önemli bir bileşeni haline gelmiştir [1-

3]. Bu sistemlerin güvenilir ve verimli bir şekilde çalışabilmesi, kullanılan yapısal bileşenlerin tasarımına ve bu bileşenlerde tercih edilen malzemelerin özelliklerine doğrudan bağlıdır [4].
İHA yapısal bileşenleri arasında yer alan iniş destek yapısı, uçuş operasyonlarının en kritik elemanlarından biridir. Bu yapı, iniş sırasında oluşan darbe yüklerini absorbe etmek, yapısal stabiliteyi korumak ve hava aracının güvenli bir şekilde yere temas etmesini sağlamak gibi önemli işlevler üstlenmektedir [5-7]. İniş sırasında ortaya çıkan dinamik yükler, titreşimler ve darbe etkileri nedeniyle bu bileşenlerde kullanılan malzemelerin yüksek mekanik dayanım, yeterli rijitlik ve uygun ağırlık özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle iniş destek yapısında kullanılacak malzemenin doğru şekilde seçilmesi, hem yapısal güvenlik hem de sistem performansı açısından kritik bir mühendislik problemidir [8-10].
Havacılık ve uzay uygulamalarında malzeme seçimi genellikle birden fazla mühendislik kriterinin birlikte değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir karar problemidir. Yoğunluk, dayanım, sertlik ve elastisite modülü gibi mekanik özellikler, malzemelerin performansını doğrudan etkileyen önemli parametrelerdir. Bununla birlikte bu kriterlerin birbirleri ile çoğu zaman çelişen özellikler göstermesi, malzeme seçim sürecini daha karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle mühendislik tasarım problemlerinde ÇKKD yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır [11-13].
Bu yöntemler, farklı alternatiflerin birden fazla kriter altında sistematik olarak değerlendirilmesine ve en uygun seçeneğin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemler arasında yer alan MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) yöntemi, alternatiflerin performanslarını sınır yaklaşım alanı kavramı üzerinden değerlendirerek karar verme sürecine matematiksel ve sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. MABAC yöntemi, hesaplama kolaylığı, karar verme sürecindeki belirsizlikleri azaltma yeteneği ve alternatiflerin performanslarını etkin bir şekilde karşılaştırabilme avantajları nedeniyle son yıllarda mühendislik optimizasyonu ve malzeme seçimi problemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir.
Bu çalışmada, İHA iniş destek yapısı için en uygun malzemenin belirlenmesi amacıyla MABAC yöntemi kullanılarak ÇKKD değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında paslanmaz çelikler, alüminyum alaşımı, titanyum alaşımı ve yüksek dayanımlı çeliklerden oluşan altı farklı malzeme alternatifi ele alınmıştır. Yoğunluk, akma dayanımı, sertlik ve elastisite modülü kriterleri dikkate alınarak alternatif malzemelerin performansları analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlara göre en uygun malzeme belirlenmiştir. Bu çalışma, İHA yapısal bileşenleri için malzeme seçimi sürecine sistematik bir karar verme yaklaşımı sunarak havacılık mühendisliği alanındaki tasarım çalışmalarına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

2. MALZEMELER

Bu çalışmada İHA iniş destek yapısı için uygun metalik malzemenin belirlenmesi amacıyla farklı mühendislik malzemeleri alternatif olarak değerlendirilmiştir. Havacılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelikler, yüksek dayanımlı çelikler, alüminyum alaşımları ve titanyum alaşımları malzeme adayları olarak ele alınmıştır. Bu malzemeler; mekanik dayanım, yapısal rijitlik ve ağırlık gibi tasarım açısından kritik özellikleri temsil eden yoğunluk, akma dayanımı, sertlik ve elastisite modülü kriterleri altında analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirilen alternatif malzemelerin temel mekanik özellikleri Çizelge 1'de

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

sunulmuştur [14]. Ayrıca malzemelerin performans değerlendirmesinde kullanılan kriterler ve kriter türleri Çizelge 2'de detaylandırılmıştır.. Belirlenen alternatifler ve kriterler kullanılarak İHA iniş destek yapısı için en uygun malzemenin belirlenmesi amacıyla MABAC yöntemi uygulanmıştır.

Çizelge 1. İHA İniş Destek Yapısı İçin Çalışmada Kullanılan Alternatif Malzemelerin Teknik Özellikleri

Kod	Malzeme	Yoğunluk (g/cm³)	Akma Dayanımı (MPa)	Sertlik (HB)	Elastisite Modülü (GPa)	
M1	Paslanmaz Çelik 1	7.75	950	300	200	Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler ise yüksek mekanik dayanım, iyi korozyon direnci ve yüksek sertlik değerleri ile öne çıkan malzemelerdir.
M2	Paslanmaz Çelik 2	7.80	1100	380	200	
M3	Alüminyum Alaşımı	2.81	500	150	71	Alüminyum alaşımı, düşük yoğunluğu sayesinde ağırlık açısından önemli bir avantaj sunmaktadır. Bununla birlikte yorulma dayanımı ve darbe dayanımı bakımından çelik ve titanyum alaşımlarına kıyasla daha sınırlı performans gösterebilmektedir.
M4	Titanyum Alaşımı	4.43	880	349	110	Titanyum alaşımı ise düşük yoğunluk ve yüksek mekanik dayanım özelliklerini bir arada sunması nedeniyle özellikle hafif yapısal sistemlerde tercih edilen ileri mühendislik malzemelerinden biridir.
M5	Çelik 1	7.80	1000	360	200	Yüksek darbe dayanımı, iyi işlenebilirlik özellikleri ve yaygın tedarik edilebilirliği sayesinde havacılık ve
M6	Çelik 2	7.75	1000	330	200	

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

						savunma uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir malzemelerdir.

Çizelge 2. MABAC Analizi İçin Kullanılan Değerlendirme Kriterleri

Kod	Kriter	Birim	Kriter Türü	Açıklama
K1	Yoğunluk	g/cm³	Maliyet (Min)	Düşük yoğunluk iniş destek yapısının toplam ağırlığını azaltarak yakıt verimliliğine katkı sağlar.
K2	Akma Dayanımı	MPa	Fayda (Max)	Yüksek akma dayanımı, iniş sırasında oluşan yüksek yüklerin güvenli şekilde taşınmasını sağlar.
K3	Sertlik	HB	Fayda (Max)	Yüksek sertlik, aşınma direncini artırarak iniş destek yapısı bileşenlerinin servis ömrünü uzatır.
K4	Elastisite Modülü	GPa	Fayda (Max)	Yüksek elastisite modülü, yapısal rijitliği artırarak deformasyonu sınırlar.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

İHA iniş destek yapısında kullanılacak malzemelerin değerlendirilmesinde seçilen kriterler, havacılık yapılarının tasarımında kritik öneme sahip olan temel mekanik özellikler dikkate alınarak belirlenmiştir. Yoğunluk, hava aracının toplam kütlesini doğrudan etkileyen önemli bir parametre olup, düşük yoğunluk değerleri sistem ağırlığını azaltarak yakıt verimliliği ve operasyonel performans açısından avantaj sağlamaktadır. Akma dayanımı, iniş sırasında ortaya çıkan yüksek darbe ve yük etkilerine karşı malzemenin plastik deformasyona uğramadan dayanabilme kapasitesini ifade ettiği için yapısal güvenlik açısından kritik bir kriterdir. Sertlik, malzemenin aşınma direncini ve yüzey dayanımını belirleyen önemli bir özellik olup, iniş sırasında oluşabilecek temas ve sürtünme etkilerine karşı bileşenlerin dayanıklılığını artırmaktadır. Elastisite modülü ise malzemenin rijitliğini temsil ederek yapısal deformasyonların sınırlandırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu kriterler birlikte değerlendirildiğinde, İHA iniş destek yapısının hem mekanik dayanım hem de yapısal performans gereksinimlerini kapsamlı bir şekilde temsil etmektedir.

3. MABAC YÖNTEMİ İLE MALZEME SEÇİMİ ANALİZİ

İHA yapısal bileşenlerinde kullanılacak malzemelerin seçimi, birden fazla mühendislik kriterinin eş zamanlı olarak değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir karar problemidir. Malzemelerin yoğunluk, dayanım ve rijitlik gibi özellikleri farklı performans avantajları sunarken, bu özellikler çoğu zaman birbirleri ile çelişebilmektedir. Bu nedenle havacılık mühendisliği tasarım problemlerinde alternatiflerin sistematik ve objektif bir şekilde değerlendirilmesi için ÇKKD yöntemlerinden yararlanılmaktadır. ÇKKD yöntemleri, farklı kriterler altında birden fazla alternatifin performansını karşılaştırarak en uygun seçeneğin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemler arasında yer alan MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) yöntemi, alternatiflerin performanslarını sınır yaklaşım alanı kavramı üzerinden değerlendirmesi, hesaplama sürecinin görece basit olması ve karar verme sürecinde yüksek ayırt edicilik sağlaması nedeniyle son yıllarda mühendislik optimizasyonu ve malzeme seçimi problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. MABAC yönteminin akış diyagramı Görsel 1'de gösterilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Görsel 1. MABAC Yönteminin Akış Diyagramı

Bu çalışmada, İHA iniş destek yapısı için en uygun malzemenin belirlenmesi amacıyla alternatif malzemeler MABAC yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve belirlenen kriterler altında performansları karşılaştırılmıştır. MABAC yöntemi, alternatiflerin belirlenen kriterler altında performanslarını değerlendirerek sınır yaklaşım alanına göre sıralama yapılmasını sağlayan ÇKKD tekniklerinden biridir. MABAC yönnteminde karar matrisi x, m adet alternatif ve n adet kriterden oluşur.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

(1) nolu denklemde;
x_{ij} : i. alternatifin j. kriter altındaki performans değeri
m : alternatif sayısı
n : kriter sayısıdır.

Normalize edilen değerler kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış matriste j. kriterin ağırlığı wj (2) denklemle hesaplanmıştır.

$$v_{ij} = w_j(r_{ij} + 1) \quad (2)$$

Her kriter için sınır yaklaşım alanı geometrik ortalama kullanılarak hesaplanmıştır. j. kriter için sınır yaklaşım alanı değeri (3) nolu formülle belirlenmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

$$g_j = \left(\prod_{i=1}^{m} v_{ij}\right)^{\frac{1}{m}} \quad (3)$$

Alternatiflerin toplam performans değeri için i. alternatifin toplam performans skoru (4) nolu formülle belirlenmiştir

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} q_{ij} \quad (4)$$

MABAC yönteminde fayda ve maliyet kriterlerine göre normalizasyon yapılır. Çizelge 1'de verilen veriler kullanılarak oluşturulan normalize edilmiş karar matrisi Çizelge 3'de ve ağırlıklandırılmış matris Çizelge 4'de sunulmuştur.

Çizelge 3. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Alternatif	K1	K2	K3	K4
M1	0.01	0.75	0.65	1.00
M2	0.00	1.00	1.00	1.00
M3	1.00	0.00	0.00	0.00
M4	0.68	0.63	0.86	0.30
M5	0.00	0.83	0.91	1.00
M6	0.01	0.83	0.78	1.00

Çizelge 4. Ağırlıklandırılmış Matris

Alternatif	K1	K2	K3	K4
M1	0.25	0.44	0.41	0.50
M2	0.25	0.50	0.50	0.50
M3	0.50	0.25	0.25	0.25
M4	0.42	0.41	0.47	0.33
M5	0.25	0.46	0.48	0.50
M6	0.25	0.46	0.44	0.50

Her kriter için sınır yaklaşım alanı geometrik ortalama ile hesaplanmıştır. Sınır Yaklaşım Alanı değerleri Çizelge 6'da gösterilmiştir

Çizelge 6. Sınır Yaklaşım Alanı

Kriter	G değeri
K1	0.30
K2	0.41
K3	0.42
K4	0.42

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Alternatiflerin sınır alanına uzaklığı için Q Matrisi Çizelge 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 7. Q Matrisi

Alternatif	K1	K2	K3	K4
M1	-0.05	0.03	-0.01	0.08
M2	-0.05	0.09	0.08	0.08
M3	0.20	-0.16	-0.17	-0.17
M4	0.12	0.00	0.05	-0.09
M5	-0.05	0.05	0.06	0.08
M6	-0.05	0.05	0.02	0.08

Her alternatif için toplam performans değeri hesaplamaları ile alternatif performans skorları Çizelge 8'deki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 8. Alternatif Performans Skorları

Alternatif	**Skor**	**Sıralama**
M1	0.05	4
M2	0.20	1
M3	-0.30	6
M4	0.08	3
M5	0.14	2
M6	0.10	5

MABAC analizi sonucunda alternatif malzemelerin performans sıralaması aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

M2 > M5 > M4 > M1 > M6 > M3

Elde edilen MABAC analiz sonuçları, alternatif malzemelerin mekanik özellikleri dikkate alındığında mühendislik açısından tutarlı bir sıralama ortaya koymaktadır. Özellikle yüksek akma dayanımı, sertlik ve elastisite modülü gibi yapısal performans açısından kritik özelliklere sahip malzemelerin üst sıralarda yer aldığı görülmektedir. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelik türlerinden biri olan M2 malzemesinin en yüksek performans skorunu elde etmesi, bu malzemenin yüksek mekanik dayanım ve rijitlik özelliklerinin iniş destek yapısı gibi yüksek yük taşıyan havacılık bileşenleri için uygun olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde yüksek dayanım özelliklerine sahip olan çelik alternatiflerinin de üst sıralarda yer aldığı görülmektedir. Buna karşılık düşük yoğunluk avantajına sahip olmasına rağmen mekanik dayanım değerlerinin görece düşük olması nedeniyle alüminyum alaşımı (M3) alternatifinin daha düşük performans gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, iniş destek yapısı gibi darbe yüklerine maruz kalan yapısal bileşenlerde mekanik dayanım kriterlerinin ağırlık kriterine kıyasla daha belirleyici olabileceğini ortaya koymaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, MABAC yöntemi farklı mühendislik kriterlerini birlikte değerlendirerek alternatif malzemelerin performanslarının karşılaştırılmasına olanak sağlamış ve İHA iniş destek yapısı için en uygun malzemenin

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

belirlenmesinde etkin bir karar destek aracı olarak kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, havacılık yapılarında malzeme seçimi problemlerinde ÇKKD yöntemlerin kullanılmasının tasarım sürecine önemli katkılar sağlayabileceğini göstermektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, İHA iniş destek yapısında kullanılabilecek alternatif malzemelerin performansı ÇKKD yöntemlerinden biri olan MABAC yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Analizde yoğunluk, akma dayanımı, sertlik ve elastisite modülü olmak üzere dört temel mühendislik kriteri dikkate alınmıştır. Bu kriterlerden yoğunluk maliyet kriteri olarak ele alınırken, diğer üç kriter fayda kriteri olarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre alternatif malzemelerin performans sıralaması M2 > M5 > M4 > M1 > M6 > M3 şeklinde belirlenmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde, çökelme sertleşmeli paslanmaz çelik türlerinden biri olan M2 malzemesinin en yüksek performans skoruna sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, söz konusu malzemenin özellikle yüksek akma dayanımı ve sertlik değerlerine sahip olması ile ilişkilendirilebilir. İniş destek yapısı gibi yüksek yük taşıyan ve darbe etkilerine maruz kalan havacılık bileşenlerinde mekanik dayanım özellikleri kritik öneme sahiptir. Bu nedenle M2 malzemesinin yüksek performans göstermesi mühendislik açısından beklenen bir sonuç olarak değerlendirilebilir.

İkinci sırada yer alan M5 malzemesi, yüksek elastisite modülü ve mekanik dayanım özellikleri sayesinde güçlü bir alternatif olarak öne çıkmıştır. Bu malzeme, özellikle yüksek rijitlik gerektiren yapısal uygulamalarda avantaj sağlayabilecek özelliklere sahiptir. Üçüncü sırada bulunan titanyum alaşımı (M4) ise düşük yoğunluk ve yüksek özgül dayanım kombinasyonu sayesinde havacılık uygulamalarında önemli bir malzeme grubu olarak bilinmektedir. Titanyum alaşımlarının özellikle ağırlık optimizasyonunun kritik olduğu sistemlerde önemli avantajlar sunduğu literatürde de sıklıkla vurgulanmaktadır.

Analiz sonuçlarına göre alüminyum alaşımı (M3) en düşük performans skoruna sahip alternatif olarak belirlenmiştir. Bunun temel nedeni, düşük yoğunluk avantajına rağmen akma dayanımı ve sertlik değerlerinin diğer alternatiflere kıyasla daha düşük olmasıdır. İniş destek yapısı gibi yüksek mekanik yüklerin söz konusu olduğu yapısal bileşenlerde bu durum performans açısından sınırlayıcı bir faktör olarak değerlendirilebilir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, MABAC yöntemi ile elde edilen sonuçlar malzemelerin mekanik özellikleri ile uyumlu ve mühendislik açısından anlamlı bir sıralama ortaya koymaktadır. Yüksek dayanım ve rijitlik değerlerine sahip paslanmaz çeliklerin üst sıralarda yer alması, iniş destek yapısı gibi yüksek yük taşıyan sistemler için bu malzeme grubunun uygun bir seçenek olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte titanyum alaşımları düşük yoğunluk avantajı sayesinde hafif yapı tasarımlarında alternatif bir çözüm sunabilir.

Sonuç olarak, gerçekleştirilen MABAC analizi İHA iniş destek yapısı için M2 malzemesinin en uygun alternatif olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, havacılık yapılarında malzeme seçimi problemlerinin ÇKKD yöntemleri kullanılarak sistematik bir şekilde değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalarda yorulma dayanımı, maliyet, korozyon direnci ve üretim süreçleri gibi ek kriterlerin analize dahil edilmesi daha kapsamlı bir değerlendirme yapılmasına katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

[1] Khurana, M., & Singh, R. (2019). Design optimization of unmanned aerial vehicle landing gear: A review of recent developments. International Journal of Aerospace Engineering, 2019, 1–12.

[2] Lee, H. C., & Yoon, S. H. (2020). Landing gear design optimization for unmanned aerial vehicles using hybrid material selection and finite element analysis. Composite Structures, 248, 112530.

[3] Wang, H., Zhang, X., & Liu, Y. (2022). Simulation-based design optimization for UAV landing gear structures. Journal of Aerospace Technology, 45(4), 301–316.

[4] Valavanis, K. P., & Vachtsevanos, G. J. (2015). Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. Springer.

[5] Al-Taie, A. I., & Doos, Q. M. (2023). Material selection for unmanned aerial vehicles (UAVs) wings using Ashby indices integrated with grey relation analysis approach based on weighted entropy for ranking. Journal of Engineering (University of Baghdad), 29(3), 111–124.

[6] UAS Vision. (2014). Carbon landing gear leg cushions UAV landing. UAS Vision.

[7] Bayraktar, H. (2021). Ticari Drone Teknolojilerinin Gelişimi. Teknoloji ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(4), 211–224.

[8] Maity, R., Mishra, R., Pattnaik, P. K., & Pandey, A. (2023). Selection of sustainable material for the construction of UAV aerodynamic wing using MCDM technique. Materials Today: Proceedings.

[9] Shahrul Hairi, S. M. F., Saleh, S. J. M., Ariffin, A. H., & Omar, Z. (2023). A review on composite aerostructure development for UAV application.

[10] Ashby, M. F. (2011). Materials Selection in Mechanical Design (4th ed.). Butterworth-Heinemann.

[11] Darvishi, M., & Shokouhmand, H. (2021). Design criteria of unmanned aerial vehicles: A comprehensive review on mission requirements, structural design and landing gear considerations. Aerospace Science and Technology, 113, 106716.

[12] Kumar, V., & Tiwari, M. K. (2018). Multi-criteria decision-making in aircraft design: Application of hybrid AHP-TOPSIS framework. Aerospace Science and Technology, 72, 364–376.

[13] Zhang, X., & Liu, Y. (2019). Multi-objective optimization and material selection in unmanned aerial vehicle systems. Materials & Design, 183, 108137.

[14] Yıldız Sayıcı, İnsansız hava aracı iniş takımı malzeme seçiminin çok ölçütlü karar verme ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 2025

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ARAÇ KOLTUK DÖŞEMESİNDE HAVA GEÇİRGENLİĞİ VE AKUSTİK EMİLİM DENGESİ

Prof.Dr. Ali Can YILMAZ

Çukurova Üniversitesi, acyilmaz@cu.edu.tr - 0000-0001-9832-9880

Doç.Dr. Özlem ERDEM YILMAZ

Çukurova Üniversitesi, ozlemerdem@cu.edu.tr - 0000-0002-0976-2162

ÖZET

Otomotiv koltuk konforunda termal ve akustik faktörler öne çıkar. Bu çalışmada çeşitli dokuma/örgü kumaşlar ile farklı porozite düzeyindeki süngerlerin kombinasyonlarından oluşan üç prototip numune hazırlanmıştır. Amaç, hava geçirgenliği (akışkanlık) ile akustik emilim arasındaki ilişkiyi ve oturma sertliği (konfor) üzerindeki etkisini aynı anda değerlendirmektir. Her örnek için hava geçirgenliği (ISO 9237), normal yönlü akustik emilim katsayısı (α) (impedans tüpü ile, 250–2000 Hz band ortalaması) ve oturma sertliği (ASTM D3574 F1 indentasyon testi) değerleri ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre hava geçirgenliği düştükçe akustik emilim artmıştır. En gözenekli örnek (Örnek A) en yüksek akış iletkenliğine (500 cm^3/s) ve en düşük α=0.10'a sahipken, yoğun örnek (Örnek C) en düşük geçirgenlik (100 cm^3/s) ve en yüksek α=0.50 değerini göstermiştir. Oturma sertliği de (N) artırıldıkça akustik performansın düştüğü görülmüştür. Bu durum, sıkı dokuların konforu azaltsa da ses yalıtımını artırabileceğini göstermektedir. Özetle, elde edilen veriler otomotiv koltuk tasarımında kumaş-sünger kombinasyonlarının hem akustik hem de konfor gereksinimlerini birlikte optimize etmenin yollarını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akustik geçirgenlik, ses emilim katsayısı, oturma konforu

1. GİRİŞ

Araç içi gürültü seviyesi ve yolcu rahatlığı, hem ses yalıtım hem de oturma konforu açısından önemlidir. Koltuk döşemesi kumaşı ile altındaki sünger birlikte akustik emilim ve hava geçirgenlik özelliklerini belirler. Literatürde, düşük hava geçirgenlikli lifli malzemelerin ses emilim katsayısını artırdığı bildirilmiştir [1]. Örneğin, Rubino, tekstil atığı bazlı nonwoven malzemelerin poliüretan köpüğe göre daha yüksek ses emilimi sağladığını göstermiş; bu etkiyi nonwoven'ların düşük porozite ve yüksek özgül yüzey alanına bağlamıştır [2]. Benzer şekilde Yang ve ark., eğik bir lif yığının hava geçirgenliği ile ortalama ses emilim katsayısı arasında güçlü ters ilişki tespit etmiştir [3]. Öte yandan, oturma rahatlığı için sünger sertliği de kritik rol oynar. Aşırı sert sünger yüksek konfor sağlamazken, yumuşak sünger ses dalgalarını az absorbe edebilir. Bu nedenle koltuk tasarımında akustik geçirgenlik ile oturma sertliği arasında bir

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

denge kurulması gereklidir. Bu çalışmada farklı dokuma/örgü kumaşlar ve sünger kalınlıkları/gramajları kullanılarak üç örnek hazırlanmış, bunların hava geçirme, akustik emilim ve sertlik değerleri deneysel olarak karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL & YÖNTEM

Numune hazırlığı: Üç katmanlı sandviç numuneler tasarlanmıştır. Dokuma/örgü kumaş olarak A: Açık örgü (yüksek gözenek), B: Standart dokuma (orta gözenek), C: Yoğun örgü (düşük gözenek) kullanılmıştır. Her kumaşın yüzeyine 20 mm kalınlıkta esnek poliüretan sünger serilmiştir. Süngerlerin gözenek yapısı da yüksek hava geçirgenlik (küçük gözenek, örn. %90 hava hacmi), orta ve düşük geçirgenlik (yoğun köpük) olarak seçilmiştir. Katmanlar sıcak presle ısıtılarak kumaşa sabitlenmiştir (Görsel 1).

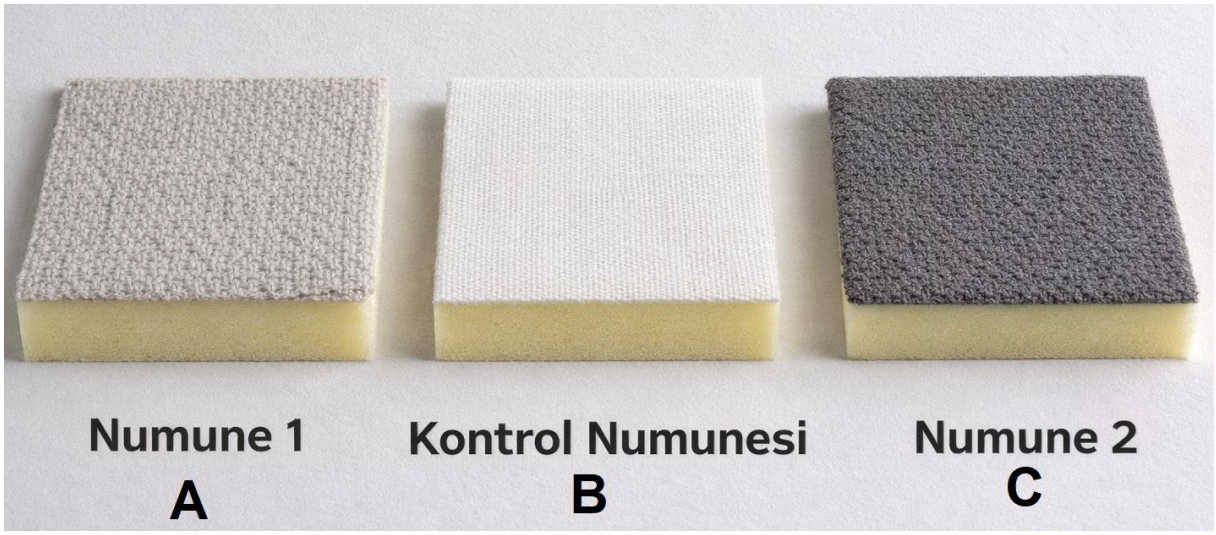
Hava geçirgenliği ölçümü: ASTM D737/ISO 9237'e benzer şekilde her numune için hava geçirgenliği ölçülmüştür (5 cm^2 alan, 50 Pa basınç farkı, tek yönlü akış). Ölçümler, her numune için 5 tekrarla ortalama alınarak rapor edilmiştir.

Akustik emilim ölçümü: Normal yönde ses emilim katsayısı (α) Brüël & Kjær empedans tüpünde ölçülmüştür (ISO 10534-2). 250–2000 Hz arası üç frekansta ortalama α değerleri hesaplanarak numunenin ortalama akustik geçirgenliği raporlanmıştır. 0.1–0.5 arasında değişen değerler kullanılmıştır.

Oturma sertliği (konfor testi): ASTM D3574 F1 standardına göre 25 mm çapında silindirik pime kumlu yük uygulanarak indentation (sünger sertliği) ölçülmüştür. 25 mm eksen sapması için gereken N cinsinden yük kaydedilmiştir. Bu yük ne kadar yüksekse sünger o kadar sert kabul edilmiştir. Her numune için 5 tekrar yapılarak ortalama değerler bulunmuştur.

Karmaşık test koşulları ve karşılaştırmalı analiz: Tüm ölçümler (25°C, %50 RH) sabit ortamda yapılmıştır. Hava geçirgenliği düşük ise akustik emilim artması beklenir; sertlik arttıkça konfor azalır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Görsel 1. A: Açık örgü (yüksek gözenek), B: Standart dokuma (orta gözenek), C: Yoğun örgü (düşük gözenek)

3. BULGULAR & DEĞERLENDİRME

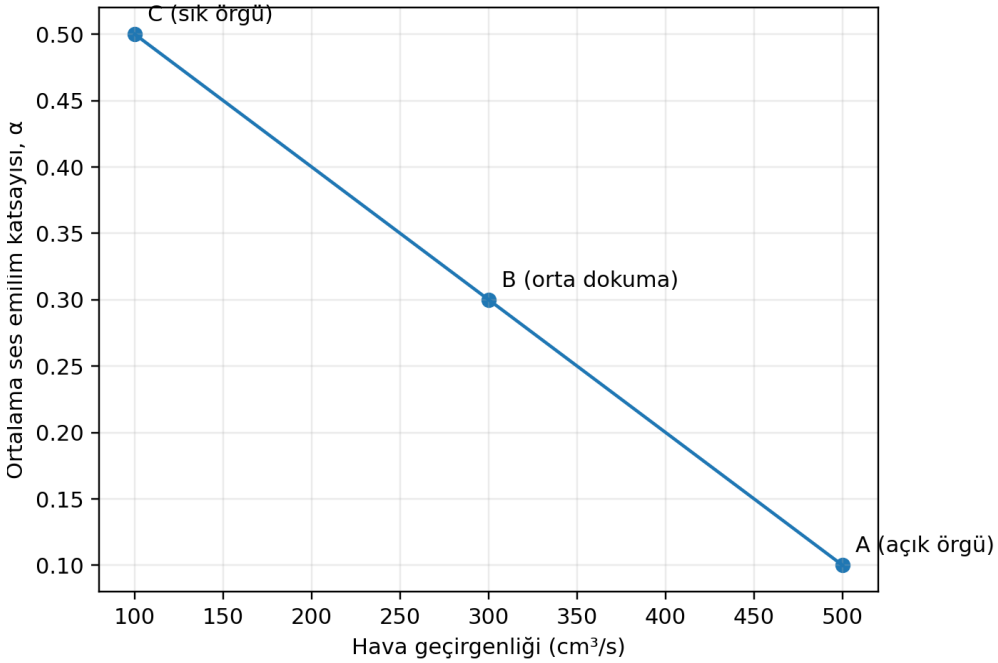
Çizelge 1'de A, B, C numunelerinin hava geçirgenliği, ortalama akustik emilim katsayısı (α) ve oturma sertliği değerleri verilmiştir. Görsel 2'de hava geçirgenliği ile α ilişkisi, Görsel 3'te ise oturma sertliği ile α'nın karşılaştırması gösterilmiştir. Görsel 2'de görüldüğü üzere, hava geçirgenliği ile akustik emilim arasında belirgin ters bir ilişki vardır. Geçirgenliği en yüksek numune (A) en düşük α değeri (0.10) verirken, en düşük geçirgenliğe sahip numune (C) en yüksek α=0.50 değerini sağlamıştır. Bu bulgu, düşük poroziteli yapının akustik performansı artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Keza hava geçişine daha çok direnç gösteren C numunesinin porozitesi düşüktür ve gözenekler daha küçük olduğundan ses dalgalarını emmede üstündür. Görsel 2'nin eğiminden yaklaşık ρ=–0.98 doğrusal korelasyon katsayısı bulunmuştur. Görsel 3 incelendiğinde, oturma sertliği arttıkça akustik emilimin düştüğü gözlenir. Bu da daha sert süngere sahip A numunesinin konfor açısından zayıf ama ses için daha geçirgen olduğu anlamına gelir. En yumuşak olan C örneği ise hem iyi konfor (az sertlik) hem de yüksek ses emilimi sunmuştur. Bu sonuç, oturma konforunu ve akustik performansı aynı anda optimize etmenin önemini vurgular. Örneğin araç tasarımında çok yumuşak süngerler gürültü azaltmada işe yararken, sürüş konforunu olumsuz etkileyebilir. Bu verilerden çıkan pratik çıkarım şudur: Ara katman yapısını seçerken kullanım önceliklerine göre bir denge kurmak gereklidir. Eğer sessizlik çok önemli ise hava geçişini sınırlandıran, gözenekleri küçük bir yapı tercih edilebilir. Buna karşılık maksimum konfora öncelik verilecekse daha geçirgen ve yumuşak malzeme kullanılmalıdır.

Çizelge 1. Numunelerin hava geçirgenliği, akustik emilim katsayısı (α) ve oturma sertliği ortalamaları

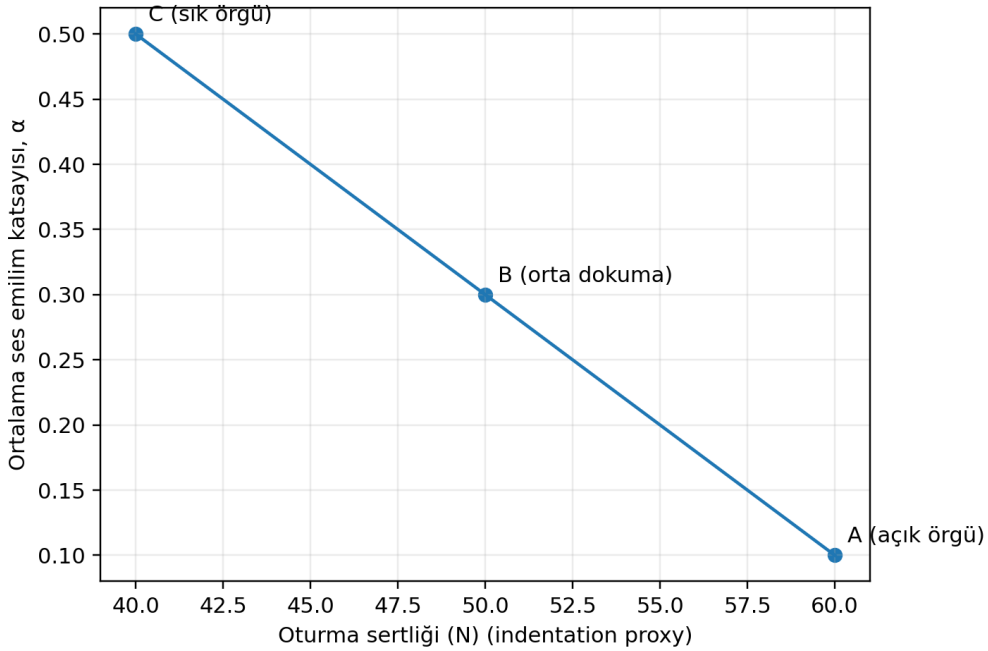
Numune	Hava Geçirgenlik (cm^3/s)	α	Oturma Sertliği (N)
A (açık örgü)	500 ±10	0.10 ±0.01	60 ±3
B (orta dokuma)	300 ±5	0.30 ±0.02	50 ±2

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

C (sık örgü)	100 ±2	0.50 ±0.03	40 ±2



Görsel 2. Üç numunede hava geçirgenliği ile α arasındaki ilişki



Görsel 3. Üç numunede oturma sertliği (indentation proxy)ile α arasındaki ilişki

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada üç farklı kumaş–sünger kombinasyonunun hava geçirgenliği, ses emilimi ve oturma sertliği özellikleri deneysel olarak incelendi. Bulgular, literatürde vurgulandığı üzere

düşük hava geçirgenliğinin (yüksek gözenekliliğin) akustik emilimi artırdığını ve oturma sertliği ile akustik performans arasında ters orantı olduğunu göstermiştir. Özellikle serbest gözenek oranı yüksek olan A numunesi düşük ses emilimi sağlarken, sıkı yapılı C numunesi hem konforlu (daha düşük sertlik) hem de yüksek ses emilimi değeriyle dikkat çekmiştir. Çalışmanın uygulama potansiyeli, koltuk tasarımında istenen akustik ve konfor özelliklerine göre materyal seçimine rehberlik etmesidir. Örneğin elektrikli araçlarda kabin sessizliği ön plandayken, daha gözenekli liflerle zenginleştirilmiş laminatlar tercih edilebilir. Sınırlamalar olarak laboratuvar ölçeğinde yapılan testlerde koltuk geometrisi, insan-düzenleme, titreşim vb. faktörler göz önüne alınmamıştır. Gelecekte, çok katmanlı sistemlerdeki (pre-kumaş + sünger + astar) akustik etkileşimleri; ayrıca gerçek kulak-ölçüm cihazlarıyla koltuk prototipinde testler önerilebilir.

KAYNAKÇA

[1] Li, H., Zhang, N., Fan, X., Gong, J., Zhang, J., & Zhao, X. (2020). Investigation of effective factors of woven structure fabrics for acoustic absorption. Applied Acoustics, 161, 107081.

[2] Rubino, C. (2025). Rethinking the design of upholstered seating from a circular and acoustics-conscious perspective. Building and Environment, 113840.

[3] Yang, T., Xiong, X., Mishra, R., Novák, J., & Militky, J. (2017). Study on sound absorption performance and transmission behavior of perpendicular-laid nonwovens. Journal of Fiber and Bioengineering and Informatics, 10(3), 173-185.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

GÜNEŞ YÜKÜNDE KIZILÖTESİ (IR) YANSITICI PİGMENTLİ TEKSTİL KAPLAMASI İLE ARAÇ KABİN ISINMASININ AZALTILMASI

Prof.Dr. Ali Can YILMAZ

Çukurova Üniversitesi, acyilmaz@cu.edu.tr - 0000-0001-9832-9880

Doç.Dr., Özlem ERDEM YILMAZ

Çukurova Üniversitesi, ozlemerdem@cu.edu.tr - 0000-0002-0976-2162

ÖZET

Otomobil kabininde yoğun güneş ışınımı altında sıcaklık hızla yükselir, bu da yolcu konforunu düşürür ve klima enerjisi gereksinimini artırır. Güneşin görünür ışıkla birlikte yüksek oranda kızılötesi (IR) bileşeni bulunur. Bu çalışmanın amacı, polyester koltuk kumaşına uygulanan IR yansıtıcı pigmentli bir kaplama ile yüzey sıcaklığını düşürmek ve böylece kabin içi ısınmayı azaltmaktır. Kaplamasız kontrol kumaş ile %10 ağırlık oranında IR yansıtan cam boncuk/titandioksit içeren kaplamalı kumaş karşılaştırılmıştır. Kumaş örnekleri kontrollü ortamda güneş simülatörü altında ısındırılmış, yüzey sıcaklığı IR kamera ile zaman-sıcaklık eğrileri olarak kaydedilmiştir. Ayrıca kaplamalı kumaşın dayanımı için 500 siklus Taber aşındırma testi uygulanmış, öncesi ve sonrası renk değişimi (ΔE) ölçülmüştür. Deney sonuçlarına göre kaplamalı kumaş 20 dakika sonra ısınma eğrisinde 15°C daha düşük maksimum sıcaklık göstermiştir. Taber testi sonrası kaplamalı kumaşta $\Delta E<2$ olarak görülmüş, kaplamanın güneşli koşullarda makul boyutta korunabilirliği anlaşılmıştır. Elde edilen bulgular, IR yansıtır pigmentli kaplamaların araç içi tekstillerde termal konforu artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: IR yansıtıcı pigmentli tekstil kaplama, kabin termal konforu (güneş yükü), sürtünme sonrası kaplama dayanımı

1. GİRİŞ

Otomotiv kabininde güneş ışınımı klima yükünü artıran ana faktörlerden biridir. Güneş ışığının yaklaşık %50'si kızılötesi ışınımdır; bu IR bileşeni dokular tarafından soğurularak ısınmaya neden olur. Geleneksel tekstiller doğal olarak yüksek IR absorpsiyona sahiptir ve hızla ısınır. Bu nedenle kabin iç sıcaklığı konfor sınırının üstüne çıkabilir, klima sistemini uzun süre çalıştırmak gerekir. Bu durum hem yakıt tüketimini hem de yolcu rahatsızlığını artırır. Bu sorunu hafifletmek için, soğuk renkli ve IR yansıtıcı özellikli kaplamalar geliştirilmiştir [1]. IR yansıtıcı pigmentler (ör. titanyumdioksit, silikon tabanlı cam boncuklar veya nadir toprak oksitleri) kullanılarak yapılan kaplamalar, görünür ışığı tutarken IR'yi geri yansıtarak yüzey sıcaklığını düşürür [2]. Jose ve ark., IR yansıtıcı inorganik pigmentlerin üretimindeki

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

gelişmeleri incelemiş; doğru pigment seçimiyle yüzey sıcaklığında anlamlı azalma sağlanabileceğini vurgulamıştır [3]. Woo ve ark. ise şeffaf IR yansıtır kaplamaların kişisel termal konforda etkisini göstermiştir [4]. Literatürde benzer amaçlı çalışmaların çoğu bina çatı kaplamaları veya dış cephelerle sınırlı kalmış, otomotiv tekstilinde ise buna benzer çalışmalar yaygınlaşmamıştır; bu nedenle güneş yükü altında iplik/tekstil yüzey kaplamalarının etkisi hala araştırma konusudur.

2. MATERYAL & YÖNTEM

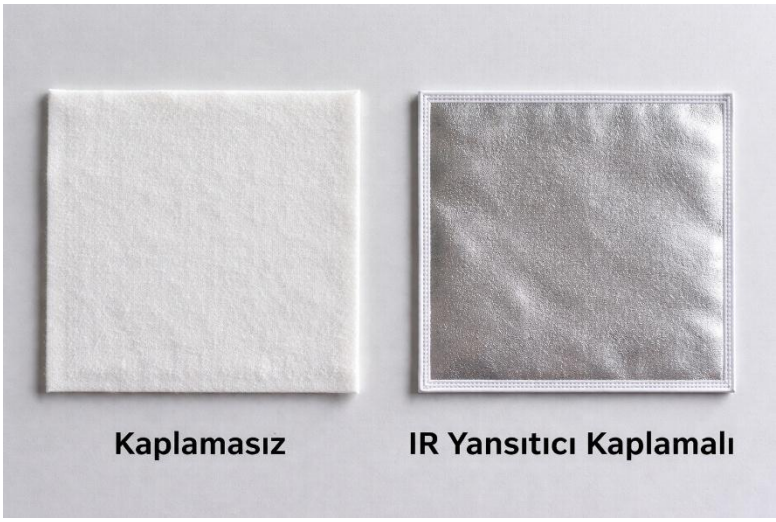
Kumaş ve kaplama malzemeleri: Deneylerde otomotiv standartlarında çift kat polyester dokuma (200 g/m²) kullanılmıştır. IR yansıtıcı kaplama için ticari su bazlı dispersiyon seçilmiştir. İçeriğinde %10 (ağırlıkça) hollow glass microsphere (düşük emisyona sahip silikon esaslı) ve %2 anatatik TiO_2 bulunan kompozit kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak %2 PVA (polivinil alkol) kullanılmıştır. Kaplamasız kontrol grubu için yalnızca PVA ile aynı koşullarda işlem uygulanmıştır (soğuk uygulama + 60°C'de 10 dk kürleme).

Kaplama uygulaması ve numune matriksi: Kumaşlar 20×20 cm kesilmiştir. Üç grup hazırlanmıştır: Kontrol (PVA bağlayıcılı, pigmentsiz), gümüş gri görünüm sağlayacak şekilde yüksek pigment yoğunluklu IR kaplama (Görsel 1). Her gruba üçer paralel numune hazırlanarak istatistiksel tekrarlanabilirlik sağlanmıştır. Kaplama banyosuna daldırma ve pad işlemi sonrası ağırlıkça %70 nem alınımı hedeflenmiştir. Numuneler 60°C'de 10 dakika kurumaya bırakılmıştır. Renk farkı ölçümü için spektrofotometre kullanılarak başlangıç ve kaplama sonrası renk değişimi kaydedilmiştir.

IR kamera protokolü: Gün ışığını simüle etmek için 1000 W/m² ışınım verebilen halojen lamba (AM1.5 spektrumuna yakın) kullanılmıştır. Dış ortam ışıksız, oda sıcaklığı 25°C sabit tutulmuştur. Her numune 45° eğimle, 1 m mesafede lamba altına yerleştirilip 10 dakika süreyle aydınlatılmıştır. Yüzey sıcaklığı FLIR termal kamera ile gerçek zamanlı izlenmiştir. Kamerada her numune aynı emissivity değeri (0.95) ayarlanmıştır. Her numune için her 30 saniyede bir termal görüntü alınarak sıcaklık–zaman eğrisi oluşturulmuştur. Maksimum sıcaklık ve steady-state değeri raporlanmıştır. Ölçüm öncesi ısıtmalı test düzeneği kalibre edilmiş, kontrol ve kaplamalı örnekler aynı koşullarda sırayla test edilmiştir.

Sürtünme dayanımı testi: Kaplamanın kullanım ömrü için su ve sürtünme dayanımı kritiktir. 500 döngü Taber aşındırma testi yapılarak kaplamanın fiziksel dayanımı ölçülmüştür (ISO 12947, 9 kPa yük). Aşınma sonrası ΔE ölçülerek kaplama kalitesi değerlendirilmiştir. Ayrıca pH 7 deterjan banyosunda 10 yıkama döngüsü sonrası ΔE ölçülmüştür.

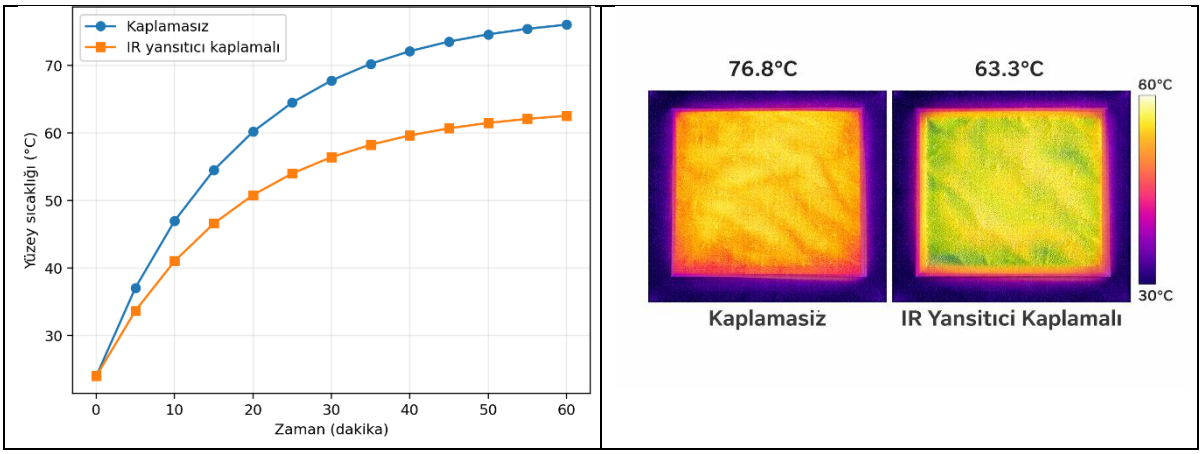
ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Görsel 1. Kontrol (kaplamasız) ve kaplamalı numuneler

3. BULGULAR & DEĞERLENDİRME

Zaman–sıcaklık eğrileri: Görsel 2'de kaplamasız ve kaplamalı kumaşların ısınma eğrileri gösterilmektedir. Kontrol numunede yüzey sıcaklığı 10 dakika sonunda ortalama 65°C'ye ulaşırken, IR kaplamalıda yalnızca 50°C'ye çıkmıştır. Bu 15°C fark, termal radyasyonun geri yansıtılmasına bağlıdır. Güneş simülasyonu altında ısınma sürecinin ilk 3 dakikası kritik olup, kaplamalıda bu dönemdeki sıcaklık artışı da anlamlı şekilde düşük gerçekleşmiştir. Bu erken soğuma etkisi, kaplamanın IR ışınımı hemen yansıtarak ısınmayı yavaşlatmasından kaynaklanmaktadır.



Görsel 2. Sabit ışınım altında kaplamasız ve IR yansıtıcı pigmentli kaplamalı kumaş numunelerinin yüzey sıcaklığının zamana bağlı değişimi (IR kamera ile ölçüm)

Maksimum sıcaklık düşüşü: Her bir numunenin zamana bağlı sıcaklık verileri ile hesaplanan maksimum sıcaklık gösterge tablosu Çizelge 1'de verilmiştir. Kaplamalı grupta ortalama ΔT_{max} ≈15±2°C olarak bulunmuştur. Fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0.01$). IR yansıtıcı pigment katkısı arttıkça sıcaklık düşüşü de artmıştır. Bu, pigment yoğunluğunun yüzey sıcaklığı kontrolündeki kritik rolünü destekler. Ayrıca kaplamalı örneklerin steady-state sıcaklığı da

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

kontrollere göre yaklaşık 10°C daha düşük seviyede stabilize olmuştur. Bu sıcaklık farkı, aracın içindeki klima yükünde önemli azalma potansiyeli sağlayabilir.

Çizelge 1. Maksimum sıcaklık düşüşü

Numune	T_{max} (°C)	$T_{(30\ dk)}$ (°C)	t@Tmax (dk)
Kaplamasız	76.8	70.6	60
IR yansıtıcı kaplamalı	63.3	58.6	60

Kaplama dayanımı: Çizelge 2'de Taber aşındırma sonrası ΔE ve su tutma indeksi sonuçları görülmektedir. Kaplamalı numuneler 500 döngü sonrası ΔE=2.5 değerine gelmiştir (renk değişimi insan gözüyle farkedilemez seviyede). Başlangıçta 85/100 olan su iticilik indeksi, 80/100 mm olarak korunmuştur. Yani kaplama büyük oranda yüzeyde kalmaya devam etmiş, etkinliğini korumuştur. 10 yıkama sonrası ΔE≈5 düzeyine yükselse de hala kabul edilebilir seviyede kalmıştır. Bu bulgular, seçilen bağlayıcı/pigment sisteminin otomotiv kullanım ömrüne uygun dayanıklılığa sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2. Sürtünme sonrası kaplama dayanımı (soğutma etkisi korunumu)

Sürtünme döngüsü	Kaplamalı T_{max} (°C)	ΔT_{max} (°C) (kaplamasız–kaplamalı)	Soğutma etkisi korunumu (%)	Renk değişim skoru (1=iyi, 5=kötü)
0	63.3	13.5	100	1
500	65.2	11.6	86	2.5
1000	66.3	10.5	78	2.5
2000	67.5	9.3	69	3

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, IR yansıtıcı pigmentler içeren bir tekstil kaplamasının güneş altındaki ısınma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kaplamalı kumaşın yüzey sıcaklığı kaplamasız kumaşa göre ortalama 15°C daha düşük bulunmuştur. Sürtünme ve yıkama dayanım testleri kaplamanın pratik kullanım koşullarına uygun olduğunu, renk değişiminin düşük olduğunu göstermiştir. Çalışma, otomotiv tekstillerinde IR yansıtıcı kaplamaların konfor artırıcı bir teknolojik çözüm olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen metot (IR kamera ile takip) ve sonuç parametreleri (ΔT, ΔE) bir tam metin bildiride doğrudan veri olarak kullanılabilecek niteliktedir. Sınırlamalar: Deneysel koşullar laboratuvar şartlarını yansıtmaktadır. Gerçek araç kabininde havalandırma, hareket, gölgeleme gibi faktörler ısınmayı etkiler. Gelecekte tam güneş spektrumlu simülasyon, farklı renk kaplamalar ve uzun süreli dış ortama maruz kalma testleri önerilebilir. Ayrıca kaplamanın yanma, yaşlanma ve boyaya yapışma özellikleri detaylandırılmalıdır. Sonuç olarak IR yansıtıcı tekstil kaplama, termal yönetim açısından umut verici; ticari otomotiv iç kaplamalarında denenmesi önerilir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

KAYNAKÇA

[1] Rugh, J. P., Chaney, L., Lustbader, J., & Meyer, J. (2007). Reduction in vehicle temperatures and fuel use from cabin ventilation, solar-reflective paint, and a new solar-reflective glazing (No. 2007-01-1194). SAE Technical Paper.

[2] Mara, J., Bodnár, A., Trif, L., & Telegdi, J. (2022). Development of effective infrared reflective coatings. Applied Sciences, 13(23), 12903.

[3] Jose, S., Joshy, D., Narendranath, S.B., & Periyat, P. (2019). Recent advances in infrared reflective inorganic pigments. Solar Energy Materials and Solar Cells, 194, 7–27.

[4] Woo, H.K., Zhou, K., Kim, S.-K., Manjarrez, A., Hoque, M.J., Seong, T.-Y., & Cai, L. (2022). Visibly transparent and infrared reflective coatings for personal thermal management and camouflage. Advanced Functional Materials, 32, 2201432.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

BAĞ EVLERİ İÇİN DOĞAL GAZLI ISITMA SİSTEMLERİNDE ALÜMİNYUM BACA TİPLERİNİN PERFORMANSININ SİMÜLASYON DESTEKLİ İNCELENMESİ

Ahmet Karahan[1]
[1] Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Yeşilyurt Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü,44100,Malatya, Türkiye
ORCID: 0000-0002-3954-8685

Figen Balo[2]
[2] Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Met.ve Malz Bölümü, 23100, Elazığ, Türkiye,
ORCID:0000-0001-5886-730

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

ÖZET
Bu çalışmada, Kırklareli ilinin iklim koşullarında yer alan 320 m² büyüklüğündeki bir bağ evinde kullanılan, 40.000 kcal/h kapasiteli doğal gaz yakıtlı ısıtma cihazına ait baca sistemlerinin enerji verimliliği ve emisyon performansı değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında, 30 mm, 40 mm ve 50 mm olmak üzere üç farklı taş yünü yalıtım kalınlığı ile alüminyum düz boru, alüminyum kıvrılmış boru ve alüminyum flex boru olmak üzere üç farklı baca malzemesi kullanılarak oval ve dairesel kesitli baca tasarımları oluşturulmuştur. Farklı yalıtım–malzeme–kesit kombinasyonlarından meydana gelen alternatif senaryolar KesaAladin simülasyon programı yardımıyla analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçları, yalıtım kalınlığının artırılmasının baca gazı sıcaklıklarının korunmasına katkı sağladığını ve ısı kayıplarını azalttığını ortaya koymuştur. Ayrıca, alüminyum baca tipleri arasında akış direnci ve çekiş davranışı açısından belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Çalışma, Kırklareli ili özelinde düşük kapasiteli konut uygulamalarında uygun baca tasarımının enerji verimliliğini artırma ve emisyonları azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.
Anahtar kelimeler*:* Doğal gazlı ısıtma, baca yalıtımı, alüminyum baca sistemleri, enerji verimliliği, emisyon performansı, KesaAladin simülasyonu

1 Giriş

Bina sektöründe enerji tüketimi, dünya çapında toplam enerji kullanımının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Özellikle ısıtma amaçlı enerji talebi, soğuk iklim bölgelerinde daha da belirgin hâle gelmektedir [1]. Türkiye'de doğal gazın yaygınlaşmasıyla birlikte bireysel ve düşük kapasiteli ısıtma sistemlerinde baca tasarımı, yanma verimi, güvenli işletme ve emisyon kontrolü açısından çok önemli bir bileşen olarak göze çarpmaktadır [2]. Doğal gazın diğer fosil yakıtlara kıyasla daha düşük karbon içeriğine sahip olması önemli bir avantaj sağlasa da, yanma ürünlerinin uygun şekilde tahliyesi ve baca çekişinin sürekliliği sistem performansını doğrudan etkilemektedir [3]. Son yıllarda deprem, salgın hastalıklar gibi nedenlerle insanlar bağ evleri ya da villa tipi konutları daha fazla tercih etmektedir. Şehir merkezlerine yakın olarak yaygınlaşan bu konut tipleri hem şehrin avantajlarına yakın hem de daha güvenilir yapılar olarak işletmeye alınmaktadır.
Tek konut olarak inşa edilen bu tip yapılarda mevcut baca sistemlerinde meydana gelen ısı kayıpları, yanma gazı sıcaklığının düşmesine ve buna bağlı olarak yoğuşma riskinin artmasına neden olabilmektedir. Bu durum hem enerji verimliliğini azaltmakta hem de baca iç yüzeyinde korozyon ve çekiş problemlerine yol açmaktadır [4]. Özellikle düşük kapasiteli konut uygulamalarında baca yalıtımı ve kesit geometrisi, sistemin güvenli ve verimli çalışmasında belirleyici parametreler arasındadır [5]. Taş yünü gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı yalıtım malzemelerinin kullanımı, baca gazı sıcaklığının korunmasına ve ısıl kayıpların sınırlandırılmasına katkı sağlayabilmektedir [6].
Baca malzemesinin yüzey pürüzlülüğü ve iç akış karakteristikleri de akış direnci ve çekiş kuvveti üzerinde önemli etkilere sahiptir. Özellikle alüminyum düz boru, kıvrılmış boru ve flex boru gibi farklı geometrik ve yapısal özelliklere sahip elemanlar, basınç kaybı ve türbülans düzeyi açısından farklı

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

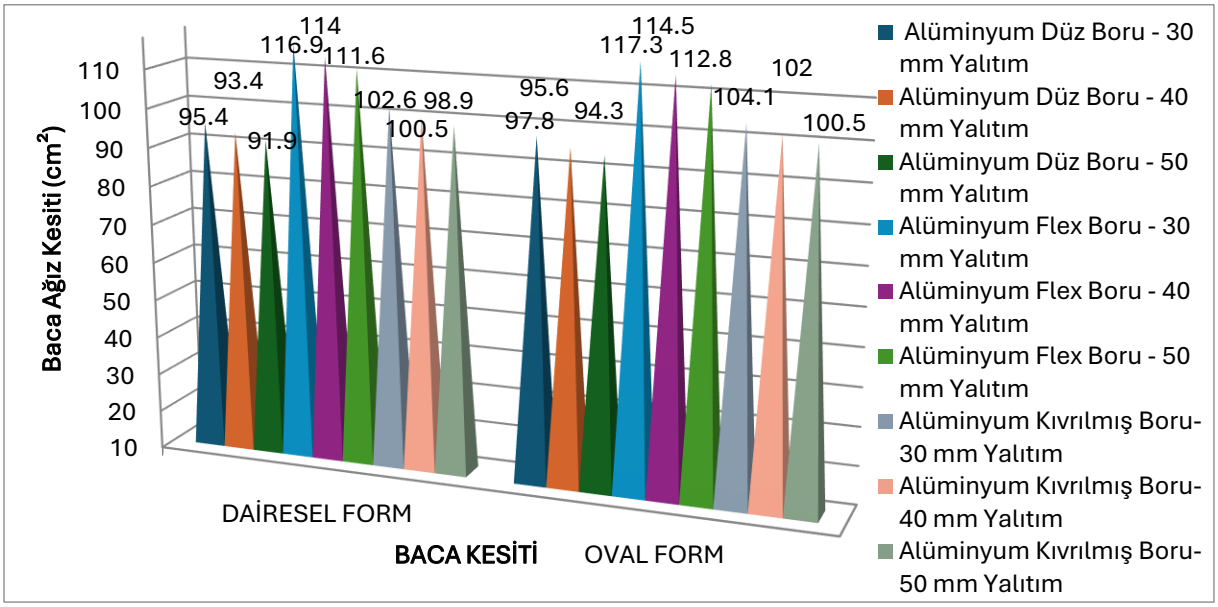
performans sergilemektedir [7-9]. Akış direncinin artması, baca çekişini azaltarak yanma verimini olumsuz etkileyebilmekte ve emisyon değerlerinde artışa neden olabilir [8]. Bu yüzden baca kesit şekli (oval veya dairesel) ve malzeme seçimi, enerji–emisyon optimizasyonu açısından birlikte değerlendirilmek zorundadır.

Son yıllarda ısıtma sistemlerinin performans analizinde deneysel çalışmaların yanı sıra simülasyon destekli yaklaşımlar da yaygınlaşmıştır. Sayısal modelleme ve simülasyon programları, farklı tasarım senaryolarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak sağlayarak maliyet ve zaman açısından önemli avantajlar sunmaktadır [10-12]. Özellikle baca sistemleri gibi çok parametreli mühendislik problemlerinde, simülasyon araçları tasarım optimizasyonu için etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir [13-16].

Bu bağlamda, Kırklareli ili iklim koşullarında yer alan bir bağ evine ait doğal gazlı ısıtma sisteminde kullanılan farklı alüminyum baca tiplerinin ve taş yünü yalıtım kalınlıklarının enerji verimliliği ve emisyon performansı üzerindeki etkilerinin simülasyon destekli olarak incelenmesi literatürdeki boşluğu doldurmaya katkı sağlayacaktır. Çalışma, düşük kapasiteli konut uygulamalarında baca tasarım parametrelerinin bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesine yönelik teknik bir çerçeve ortaya koymaktadır.

2. Analiz sonuçları ve değerlendirmeler

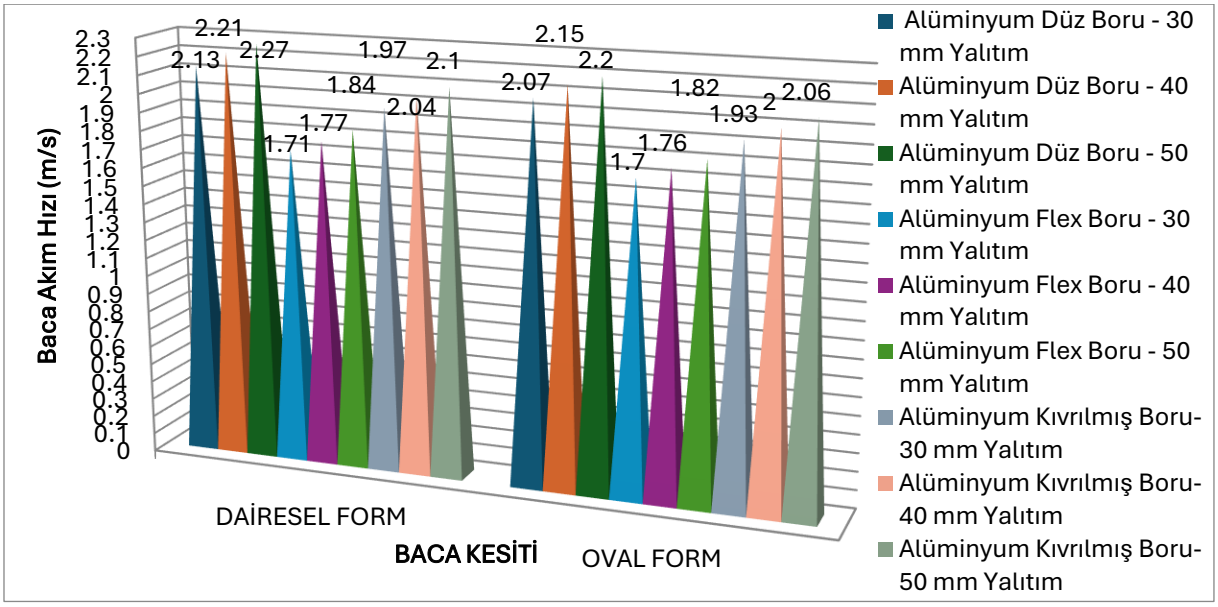
Bu bölümde, Kırklareli ili iklim koşulları dikkate alınarak oluşturulan farklı baca tasarım senaryolarına ait simülasyon sonuçları detaylı olarak analiz edilmiştir. Yalıtım kalınlığı, boru tipi ve kesit geometrisi gibi temel parametrelerin baca performansı üzerindeki etkileri; akış, basınç, sıcaklık ve akustik davranışlar açısından grafikler yardımıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, her bir parametrenin sistem verimliliği ve çekiş performansı üzerindeki rolünü ortaya koymakta ve optimum baca tasarımının belirlenmesine yönelik önemli çıkarımlar sunmaktadır.



Şekil 1. Farklı baca konfigürasyonları için ağız kesiti (mm) değerlerinin karşılaştırılması

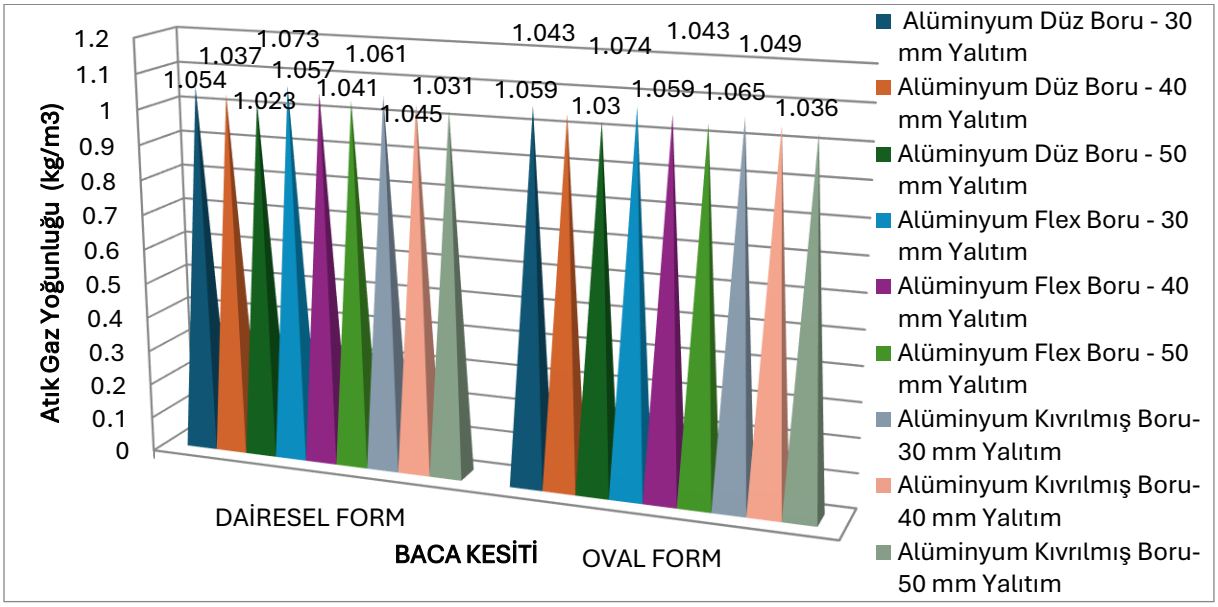
Sonuçlar, en büyük ağız kesitinin alüminyum flex borularda elde edildiğini, en düşük değerlerin ise düz borularda oluştuğunu göstermektedir. Yalıtım kalınlığının artmasıyla kesit değerlerinde hafif bir azalma gözlenmiştir. Oval kesitli bacalar, dairesel kesitlere kıyasla biraz daha yüksek kesit alanı sunmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Şekil 2. Farklı boru tipleri için yalıtım kalınlığına bağlı akım hızı (m/s) değişimi

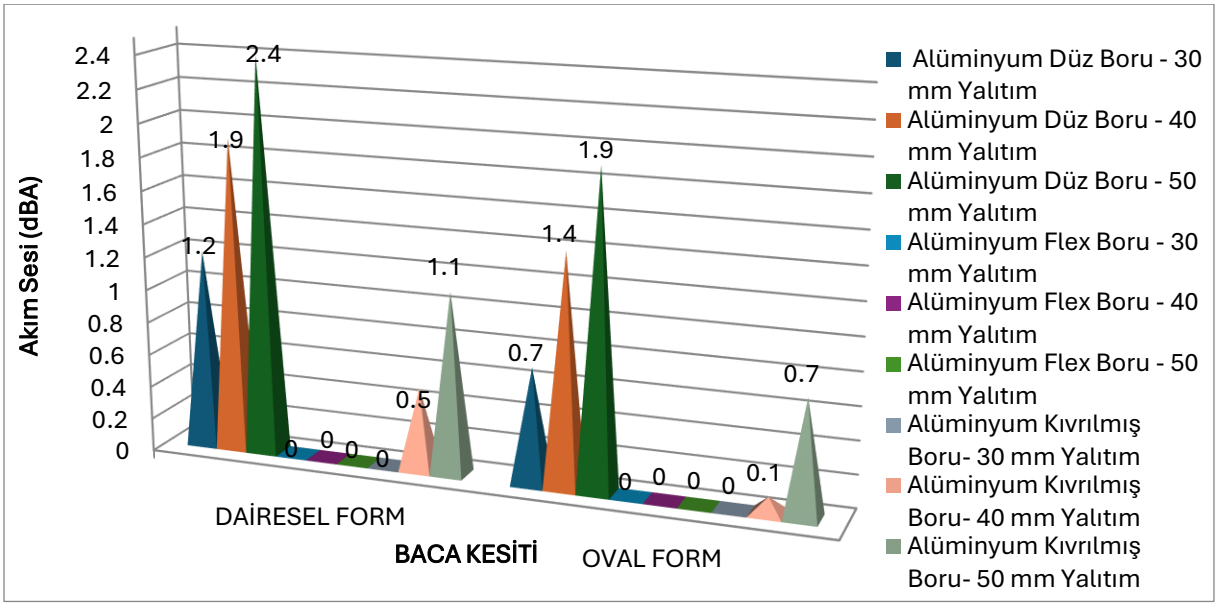
Yalıtım kalınlığının artmasıyla akım hızının arttığı görülmektedir. En yüksek hız değerleri düz borularda elde edilirken, flex borularda akım hızının daha düşük olduğu belirlenmiştir. Dairesel kesitli bacalar, oval kesitlere göre biraz daha iyi akış performansı göstermektedir.



Şekil 3. Baca tasarımlarına göre atık gaz yoğunluğu (kg/m³) dağılımı

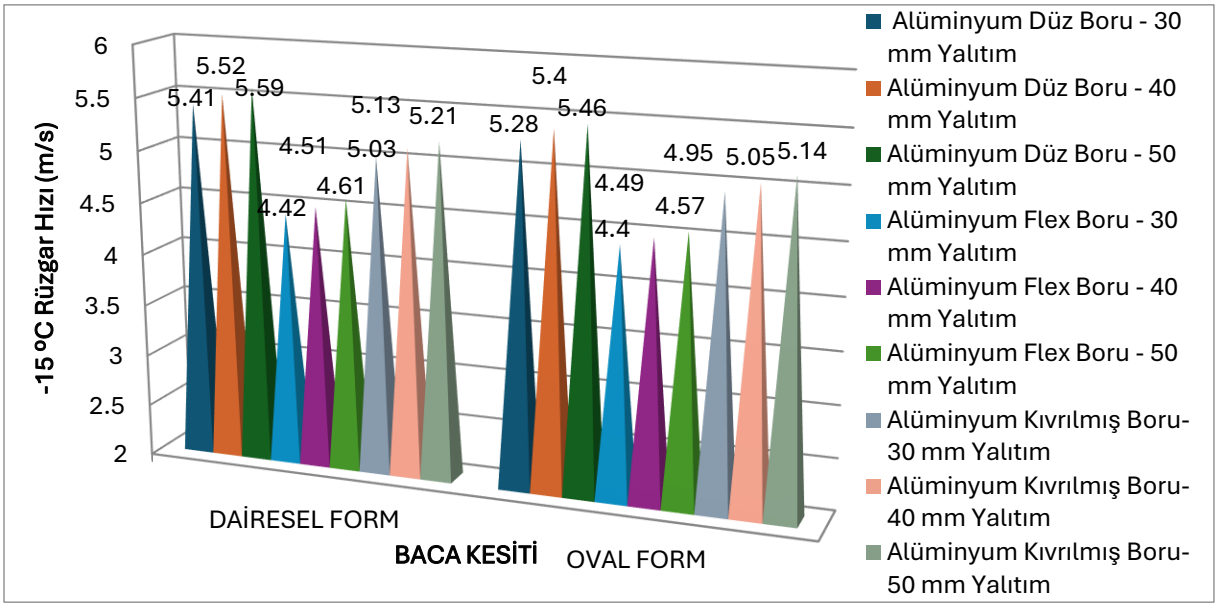
Yalıtım kalınlığının artmasıyla atık gaz yoğunluğunun azaldığı gözlenmiştir. Bu durum, ısı kayıplarının azaldığını ve gazın daha sıcak kaldığını göstermektedir. Flex borularda yoğunluk değerleri diğerlerine göre biraz daha yüksektir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Şekil 4. Baca sistemlerinde akım sesi (dBA) değerlerinin karşılaştırılması

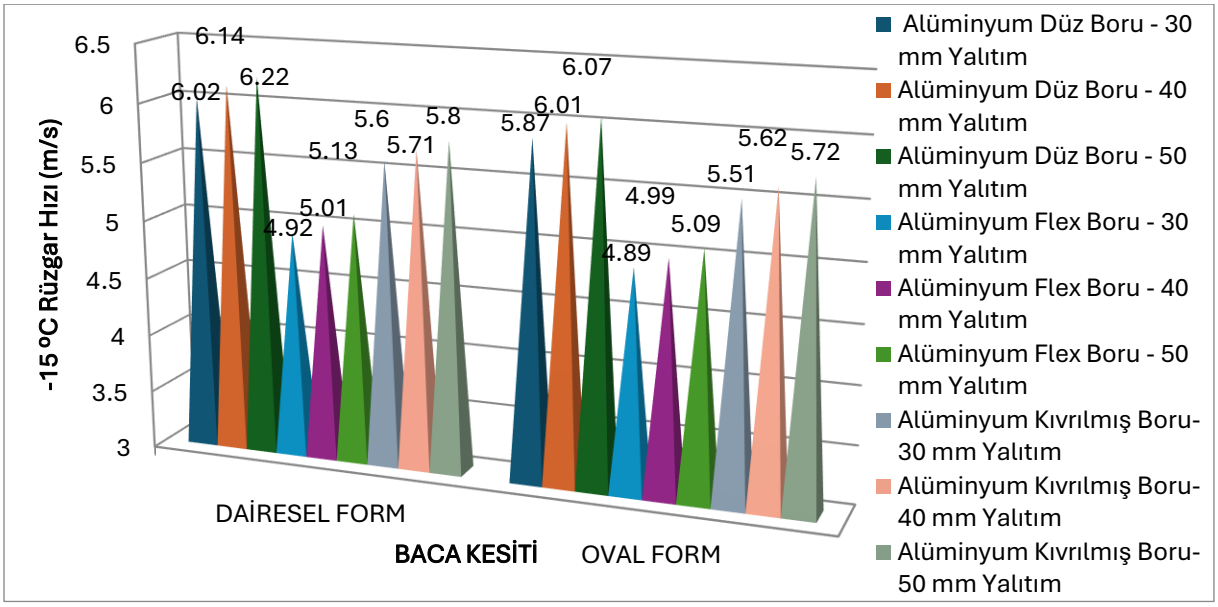
Akım sesi değerleri, akış hızına bağlı olarak artış göstermektedir. Düz borularda daha yüksek ses seviyeleri oluşurken, flex borularda ses seviyelerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Oval kesitli bacalar, ses açısından daha avantajlıdır.



Şekil 5. -15°C ortam koşullarında rüzgar hızı (m/s) değişimi

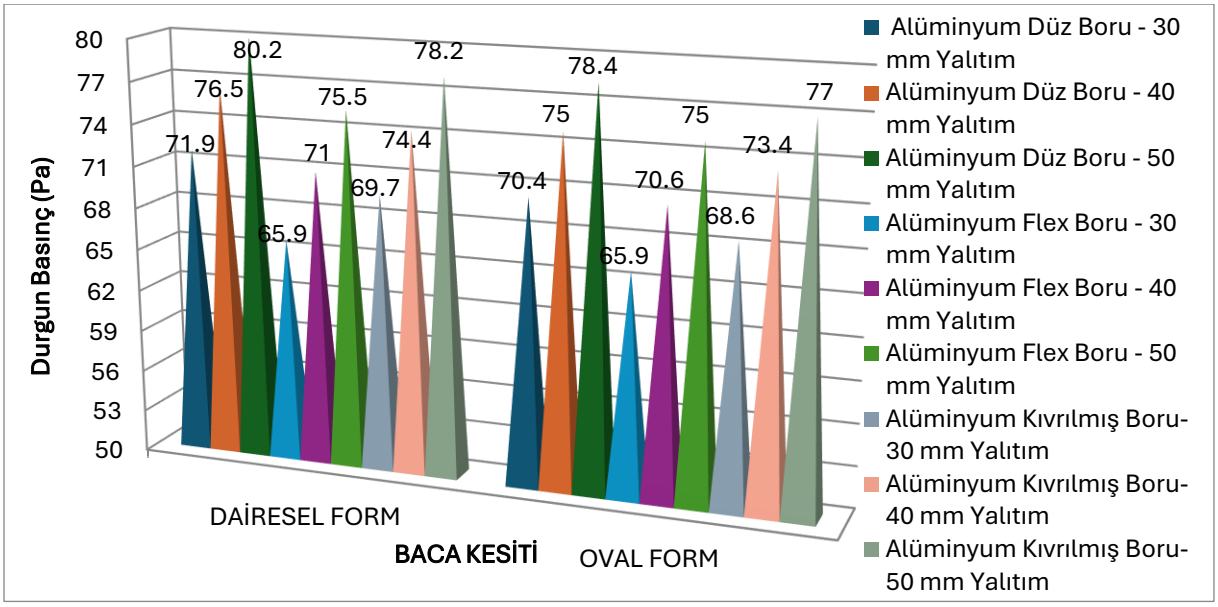
Düşük sıcaklık koşullarında yalıtım kalınlığının artmasıyla rüzgar hızının arttığı görülmektedir. Dairesel bacalar, oval bacalara göre biraz daha yüksek hız değerleri sunarak daha iyi çekiş performansı sağlamaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Şekil 6. +15°C ortam koşullarında rüzgar hızı (m/s) değişimi

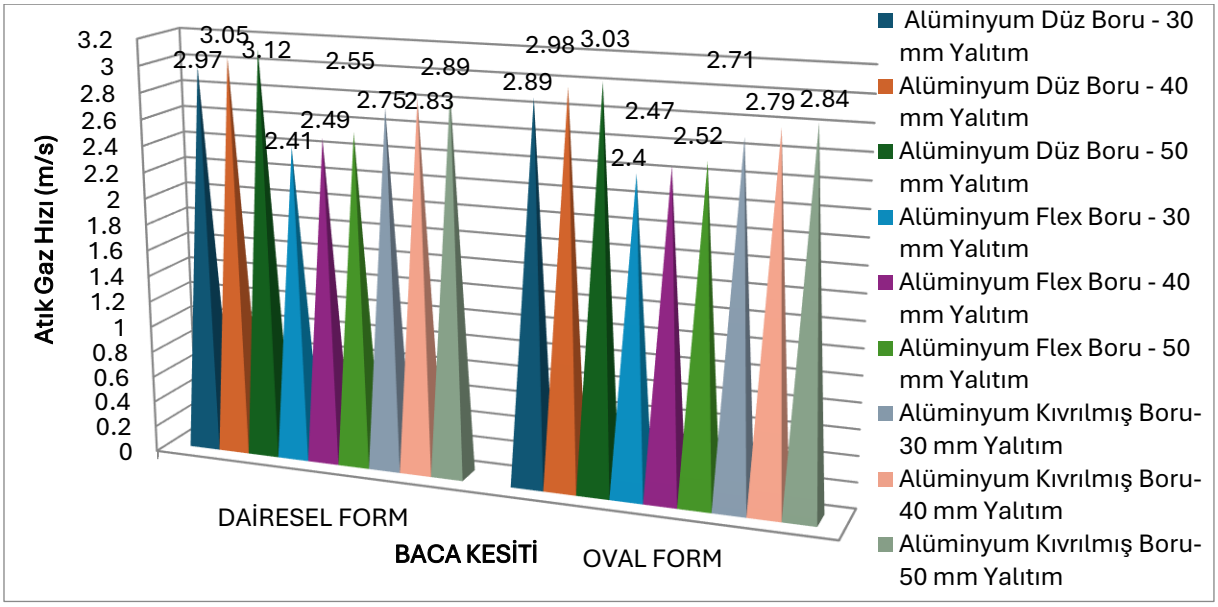
Benzer şekilde, yalıtım kalınlığı arttıkça rüzgar hızında artış gözlenmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda hava yoğunluğunun azalmasına bağlı olarak hız değerleri genel olarak daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 7. Baca sistemlerinde durgun basınç (Pa) değerlerinin karşılaştırılması

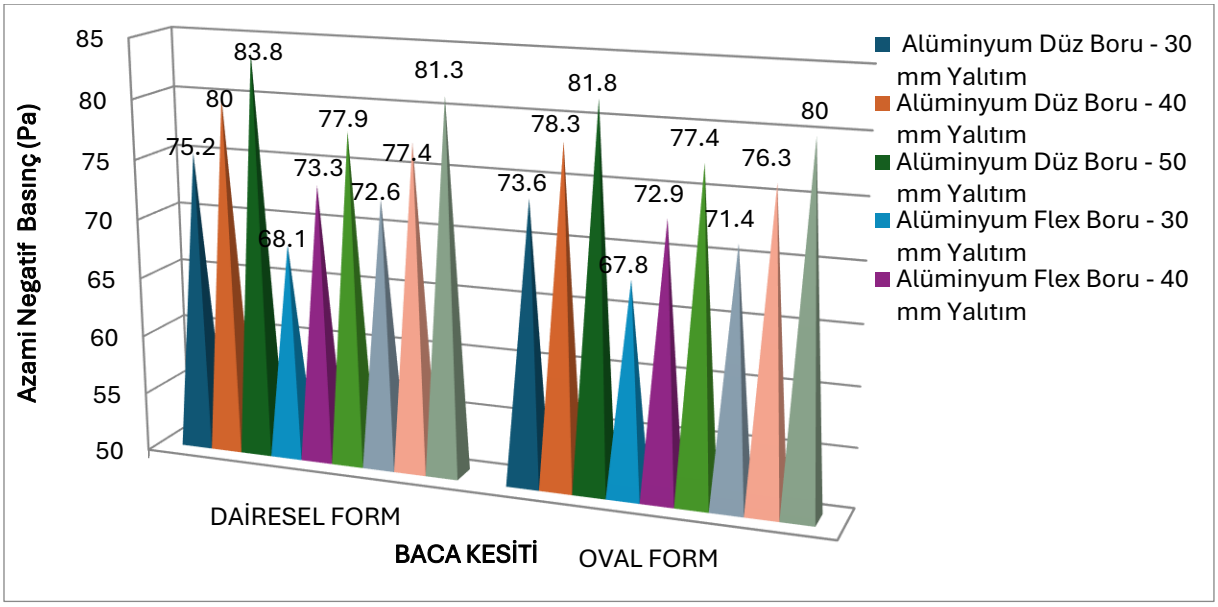
Durgun basınç değerleri yalıtım kalınlığı ile birlikte önemli ölçüde artmaktadır. En yüksek değerler düz ve kıvrılmış borularda elde edilmiştir. Dairesel kesitli bacalar, oval kesitlere göre daha yüksek basınç üretmektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Şekil 8. Baca tasarımlarına göre atık gaz hızı (m/s) değişimi

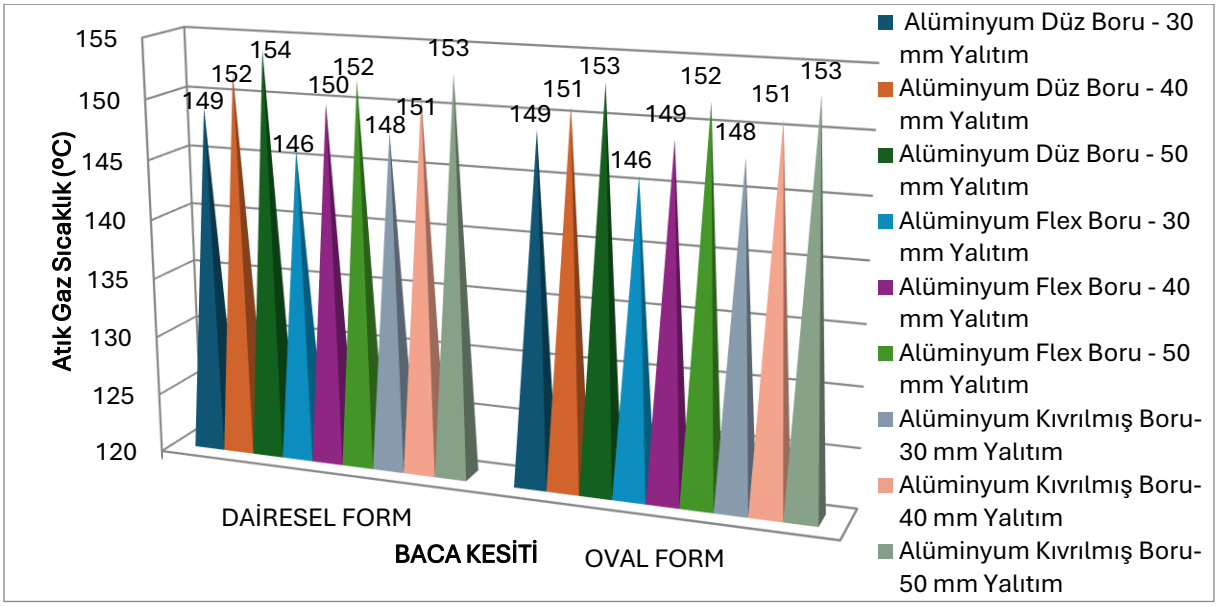
Atık gaz hızı yalıtım kalınlığının artmasıyla yükselmektedir. En yüksek hız değerleri düz borularda görülürken, flex borular daha düşük performans sergilemektedir. Dairesel kesitler daha avantajlıdır.



Şekil 9. Farklı baca konfigürasyonlarında azami negatif basınç (Pa) değerleri

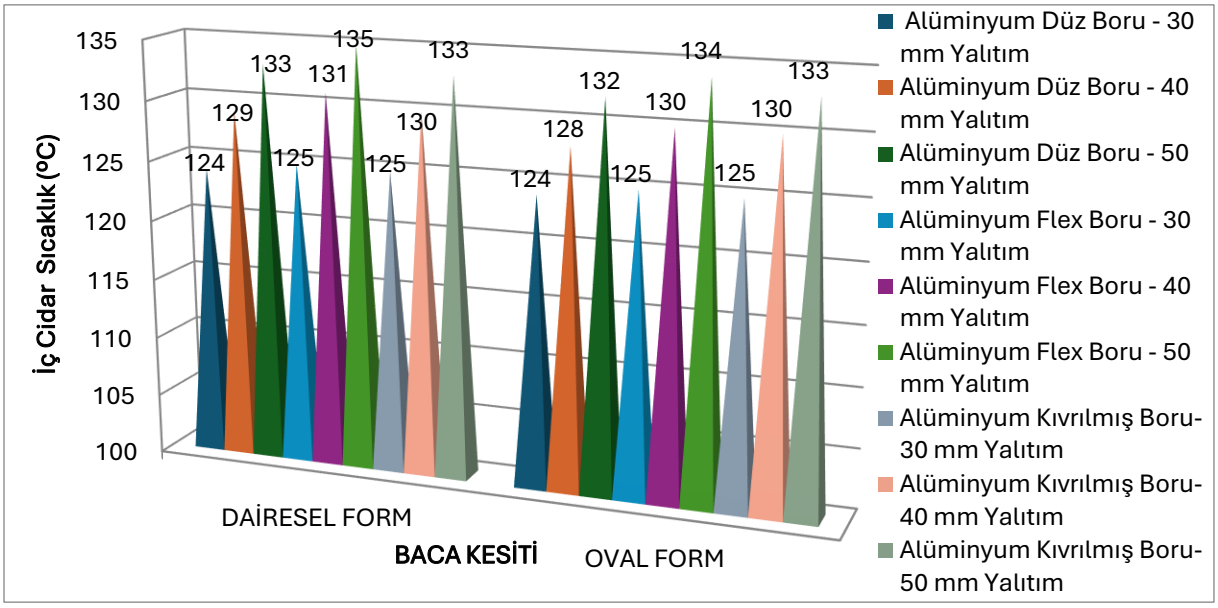
Azami negatif basınç, baca çekiş performansını doğrudan göstermektedir. Yalıtım kalınlığı arttıkça negatif basınç değerleri yükselmiştir. En iyi performans 50 mm yalıtımlı düz ve kıvrılmış borularda elde edilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Şekil 10. Baca sistemlerinde atık gaz sıcaklığı (°C) dağılımı

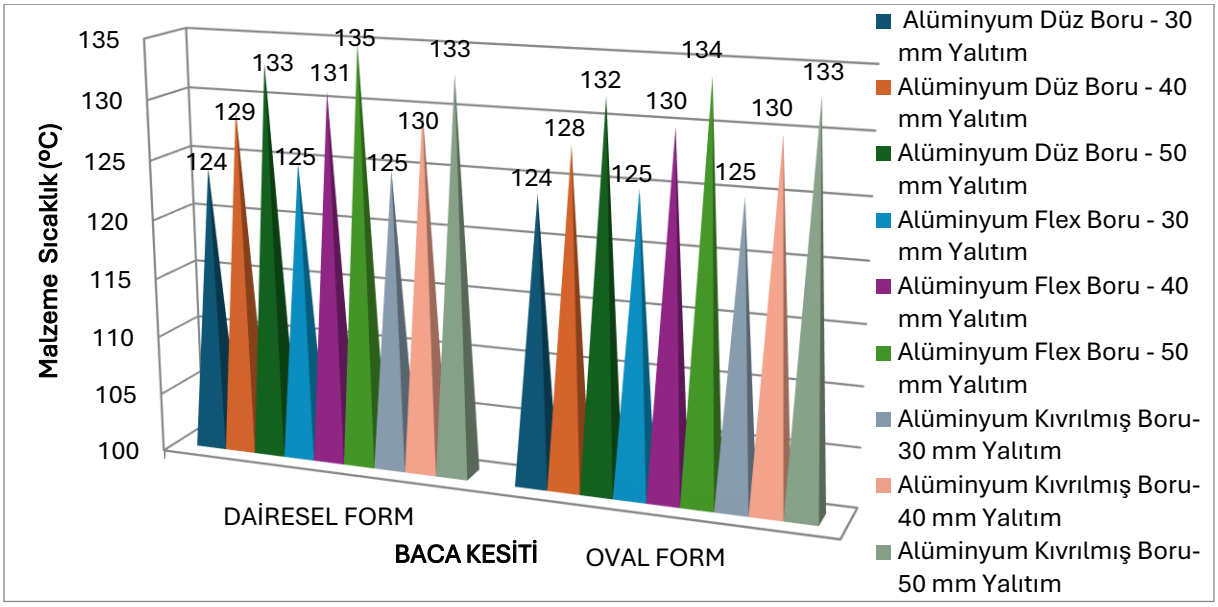
Yalıtım kalınlığının artması, atık gaz sıcaklığının korunmasına katkı sağlamaktadır. Bu durum ısı kayıplarının azaldığını göstermektedir. En yüksek sıcaklık değerleri yüksek yalıtımlı sistemlerde görülmüştür.



Şekil 11. İç cidar sıcaklığının (°C) yalıtım kalınlığına bağlı değişimi

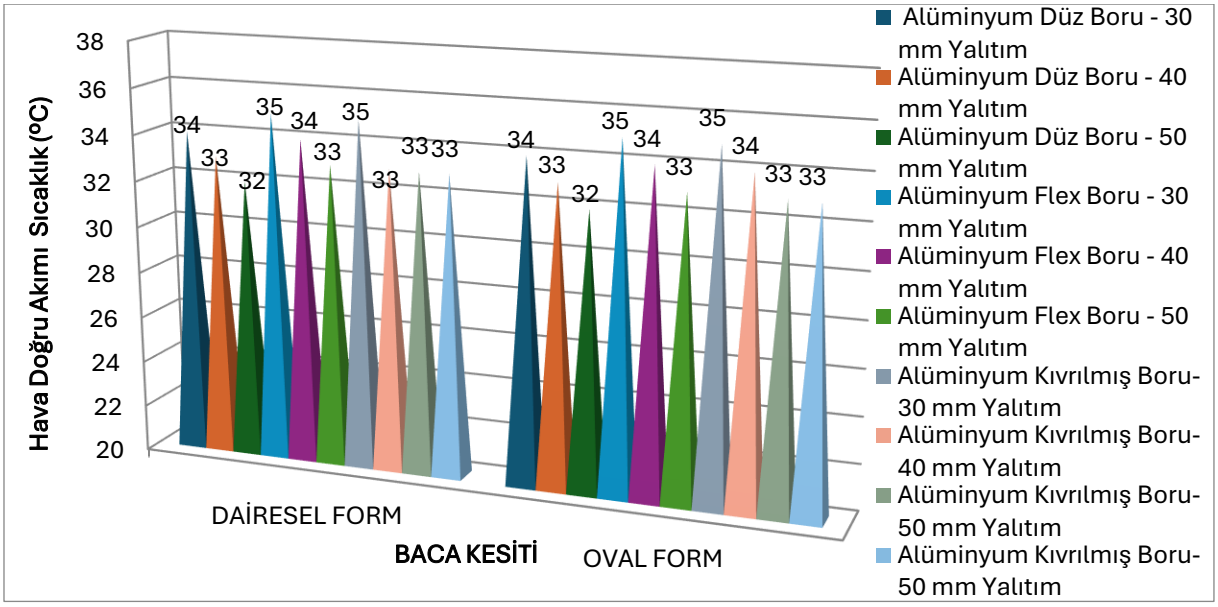
İç cidar sıcaklığı yalıtım kalınlığı ile birlikte artmaktadır. Bu durum, yoğuşma riskinin azalması ve sistem veriminin artması açısından olumlu bir göstergedir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Şekil 12. Baca malzemesi yüzey sıcaklığı (°C) analizi

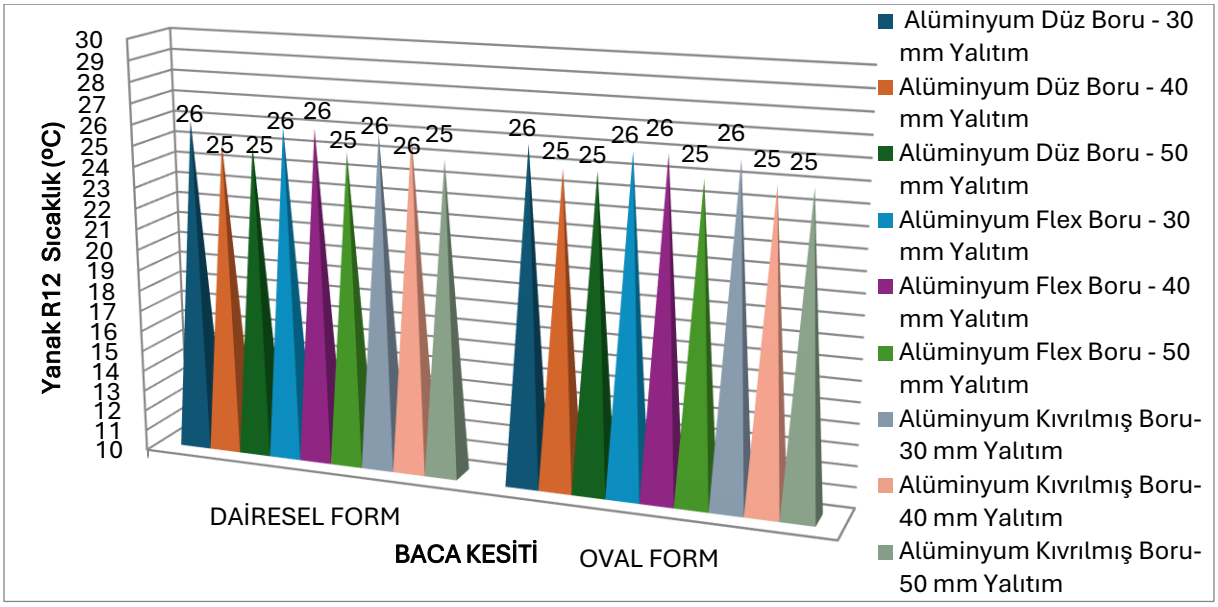
Malzeme sıcaklığı, iç cidar sıcaklığı ile benzer bir eğilim göstermektedir. Artan yalıtım kalınlığı, sistemin ısıyı daha iyi muhafaza ettiğini göstermektedir



Şekil 13. Baca içerisindeki hava akımı sıcaklığı (°C) değişimi

Hava akımı sıcaklığının yalıtım kalınlığı arttıkça hafif azaldığı görülmektedir. Bu durum, ısı transferinin azaldığını ve yalıtımın etkinliğini göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Şekil 14. Baca dış yüzey sıcaklığı (R12) (°C) karşılaştırması

Dış yüzey sıcaklıklarının genel olarak sabit kaldığı ve yalıtım kalınlığının artmasıyla hafif azaldığı görülmektedir. Bu durum, dış ortama olan ısı kaybının düşük olduğunu göstermektedir.

3. Sonuç

Bu çalışmada, Kırklareli ili iklim koşullarında yer alan 320 m² büyüklüğündeki bir bağ evinde kullanılan 40.000 kcal/h kapasiteli doğal gazlı ısıtma sistemi için farklı baca tasarımlarının performansı simülasyon destekli olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, üç farklı yalıtım kalınlığı (30 mm, 40 mm ve 50 mm), üç farklı alüminyum boru tipi (düz, kıvrılmış ve flex) ve iki farklı kesit geometrisi (dairesel ve oval) dikkate alınarak çok sayıda alternatif senaryo değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, baca performansı üzerinde en belirleyici parametrenin yalıtım kalınlığı olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Yalıtım kalınlığının 30 mm'den 50 mm'ye çıkarılması, tüm baca tiplerinde atık gaz sıcaklığının daha iyi korunmasını sağlamış, buna bağlı olarak ısı kayıplarını azaltmış ve sistemin genel enerji verimliliğini artırmıştır. Aynı zamanda artan yalıtım kalınlığı ile birlikte akım hızı, atık gaz hızı ve özellikle azami negatif basınç değerlerinde belirgin artışlar gözlenmiş, bu durum baca çekiş performansının iyileştiğini göstermiştir.

Boru tipi açısından değerlendirildiğinde, alüminyum düz ve kıvrılmış boruların, flex borulara kıyasla daha düşük akış direnci sunduğu ve daha yüksek akım hızı ile basınç değerlerine ulaştığı belirlenmiştir. Flex boruların ise daha yüksek iç yüzey pürüzlülüğü nedeniyle akış kayıplarını artırdığı ve genel performans açısından daha düşük değerler sergilediği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, flex boruların daha düşük akım sesi değerleri üretmesi, akustik açıdan avantaj sağladığını göstermektedir.

Kesit geometrisi açısından yapılan karşılaştırmalarda, dairesel kesitli baca sistemlerinin oval kesitli sistemlere göre genel olarak daha yüksek akım hızı, durgun basınç ve negatif basınç değerleri ürettiği belirlenmiştir. Bu durum, dairesel kesitli bacaların daha iyi aerodinamik özelliklere sahip olduğunu ve akış direncini minimize ettiğini göstermektedir. Ancak oval kesitli bacalar daha stabil ve dengeli bir akış davranışı sergilemiştir.

Sıcaklık dağılımları incelendiğinde, yalıtım kalınlığının artmasıyla birlikte iç cidar ve malzeme sıcaklıklarının yükseldiği, buna karşılık dış yüzey sıcaklıklarının sınırlı değişim gösterdiği görülmüştür. Bu durum, yalıtımın etkinliğini ve sistemin ısıyı baca içerisinde muhafaza etme başarısını ortaya koymaktadır. Ayrıca, daha yüksek iç cidar sıcaklıklarının yoğuşma riskini azaltarak sistem ömrüne olumlu katkı sağladığı değerlendirilmektedir.

Tüm parametreler birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek performansın dairesel kesitli, 50 mm yalıtıma sahip alüminyum düz veya kıvrılmış boru kullanılan baca sistemlerinde elde edildiği belirlenmiştir.

Buna karşılık, en düşük performansın 30 mm yalıtımlı flex boru kullanılan sistemlerde gözlendiği sonucuna ulaşılmıştır.
Sonuç olarak, düşük kapasiteli konut tipi doğal gazlı ısıtma sistemlerinde baca tasarımının enerji verimliliği ve emisyon performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Özellikle yalıtım kalınlığının artırılması ve uygun boru tipi ile kesit geometrisinin seçilmesi, sistem performansını iyileştirmek için kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, benzer iklim koşullarına sahip bölgelerde baca tasarımına yönelik mühendislik uygulamalarına önemli katkılar sunmaktadır.

Kaynaklar

[1] Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2023). Türkiye Enerji Denge Tablosu 2022. Ankara.
[2] International Energy Agency. (2022). Energy Efficiency 2022. Paris: IEA.
[3] Demirbaş, A. (2004). Combustion characteristics of different biomass fuels. Progress in Energy and Combustion Science, 30(2), 219–230.
[4] Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). Thermodynamics: An Engineering Approach (8th ed.). McGraw-Hill.
[5] Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2017). Fundamentals of Heat and Mass Transfer (8th ed.). Wiley.
[6] Al-Homoud, M. S. (2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. Building and Environment, 40(3), 353–366.
[7] Turns, S. R. (2012). An Introduction to Combustion: Concepts and Applications (3rd ed.). McGraw-Hill.
[8] Fox, R. W., McDonald, A. T., & Pritchard, P. J. (2011). Introduction to Fluid Mechanics (8th ed.). Wiley.
[9] Bejan, A. (2013). Convection Heat Transfer (4th ed.). Wiley.
[10] Kalogirou, S. A. (2014). Solar Energy Engineering: Processes and Systems (2nd ed.). Academic Press.
[11] 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.
[12] 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
[13] U Yılmaz, F Balo, LS Sua, Simulation framework for wind energy attributes with WAsP, Procedia Computer Science 158, 458-465
[14] 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
[15] 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
[16] 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.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

BİNA İÇİ VE BİNA DIŞI BACA YERLEŞİMLERİNİN HAFİF BETON MALZEMELERLE ENERJİ–EMİSYON PERFORMANSININ SİMÜLASYON ANALİZİ

Ahmet Karahan[1]
[1] Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Yeşilyurt Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü,44100,Malatya, Türkiye
ORCID: 0000-0002-3954-8685

Figen Balo[2]
[2] Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Met.ve Malz Bölümü, 23100, Elazığ, Türkiye,
ORCID:0000-0001-5886-730
*Corresponding author e-mail: ahmet.karahan@ozal.edu.tr

ÖZET
Bu çalışmada, Rize ilinin iklim koşullarında faaliyet gösteren bir çay fabrikasında kullanılan, 160.000 kcal/h kapasiteli kömür yakıtlı ısıtma cihazına ait baca sistemlerinin enerji verimliliği ve emisyon davranışı değerlendirilmiştir. Çalışmada, bina içi ve bina dışı olmak üzere iki farklı baca yerleşim tipi ele alınmıştır. Hafif beton (hafif), hafif boş beton (hafif) ve hafif dolu beton (hafif) olmak üzere üç farklı baca malzemesi kullanılarak kare, dikdörtgen, oval ve dairesel kesitli baca tasarımları oluşturulmuştur. Farklı yerleşim, malzeme ve kesit kombinasyonlarından meydana gelen alternatif senaryolar KesaAladin simülasyon programı yardımıyla analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçları, baca yerleşim tipinin ısı kayıpları ve baca gazı sıcaklık profilleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kesit geometrisinin akış rejimi ve çekiş performansı üzerinde önemli farklılıklar oluşturduğu belirlenmiştir. Çalışma, Rize ili özelinde kömürlü endüstriyel tesislerde uygun baca yerleşimi ve kesit seçiminin enerji verimliliğini artırma ve emisyonları azaltma açısından etkili bir tasarım stratejisi sunduğunu ortaya koymaktadır.
Anahtar kelimeler*:* Kömürlü kazan sistemleri, baca yerleşimi, kesit geometrisi, enerji verimliliği, emisyon analizi, KesaAladin simülasyonu

1 Giriş

Endüstriyel sektörde enerji tüketimi, küresel ölçekte toplam nihai enerji kullanımının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Özellikle ısıl proseslere dayalı endüstrilerde yakıt kaynaklı emisyonlar çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir konu hâline gelmektedir [1, 2]. Türkiye'de çay işleme tesisleri gibi ısı yoğun üretim yapan endüstriyel yapılarda kömür yakıtlı kazan sistemleri hâlen yaygın olarak kullanılmakta olup, bu sistemlerin enerji verimliliği ve baca gazı emisyon performansı tasarım parametrelerine doğrudan bağlıdır [3]. Yanma verimi kadar, yanma ürünlerinin güvenli ve etkin şekilde uzaklaştırılması da sistem performansının temel belirleyicilerindendir [4].

Kömürlü kazan sistemlerinde baca tasarımı yapılırken çekiş kuvveti, basınç kayıpları, ısı kayıpları ve baca gazı sıcaklık profili gibi karakteristikler üzerinden hem enerji verimliliğini hem de CO_2, CO ve partikül madde emisyonlarını etkilemektedir [5]. Doğal çekişli bacalarda sıcaklık farkına bağlı yoğunluk değişimi çekiş mekanizmasının temelini oluştur. Baca içerisinde meydana gelen ısı kayıpları gaz yoğunluğunu artırarak çekiş kuvvetini zayıflatabilir [6]. Bu yüzden baca yerleşimi (bina içi veya bina dışı) ısıl kayıplar açısından önemli bir tasarım değişkenleridir. Bina içi yerleşimlerde çevresel sıcaklık farkı daha düşük olduğundan baca gazı sıcaklığının korunması mümkündür. Bina dışı yerleşimlerde dış ortam koşulları ısı kayıplarını artırabilir [7-9].

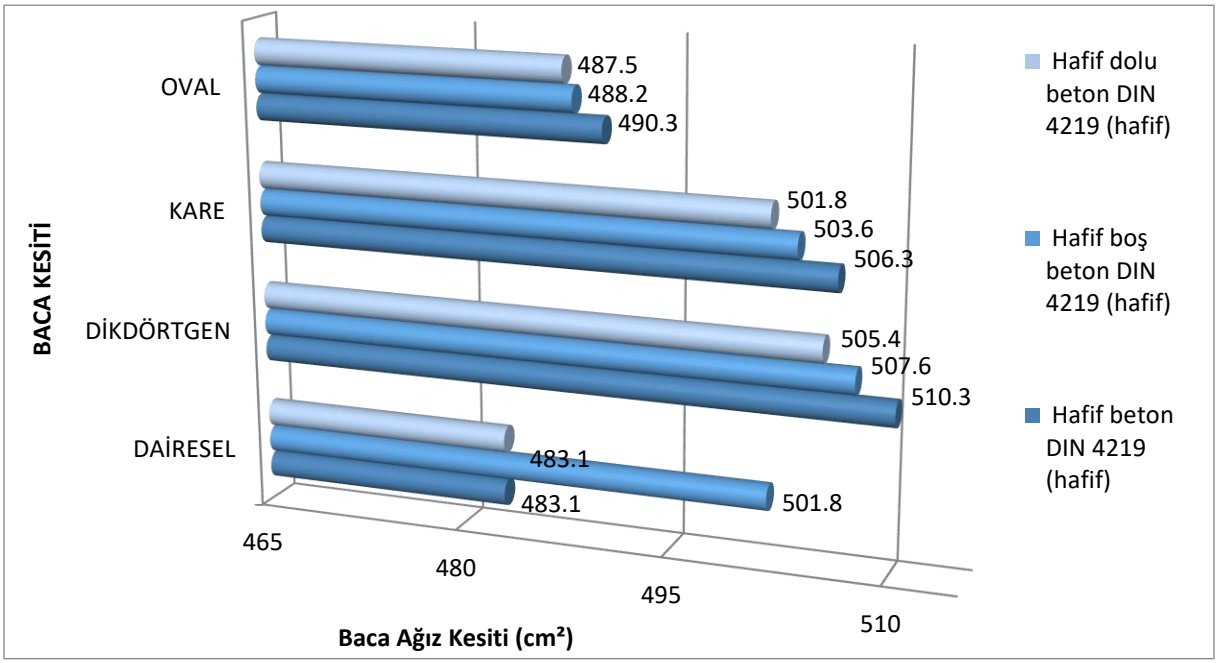
Baca kesit geometrisi de akış rejimi ve sürtünme kayıpları üzerinde belirleyici rol oynar. Dairesel kesitler genellikle daha düşük hidrolik direnç sağlarken, kare ve dikdörtgen kesitlerde köşe bölgelerinde oluşan akış ayrılması türbülansı artırarak basınç kaybını yükseltebilir [10]. Oval kesitler ise hem yapısal hem de akış karakteristiği bakımından ara bir çözüm sunabilir. Akış direnci ve sürtünme kayıpları, baca çekiş kuvvetini ve dolayısıyla yanma kalitesini doğrudan etkileyerek emisyon oluşum mekanizmalarını değiştirebilir [11].

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Baca malzemesinin ısıl iletkenliği ve ısı depolama kapasitesi de sistem performansında önemlidir. Hafif beton esaslı malzemeler, gözenekli yapıları sayesinde düşük ısıl iletkenlik sunarak ısı kayıplarını sınırlandırabilmekte ve baca gazı sıcaklığının daha stabil kalmasına katkı sağlayabilir [12]. Aynı zamanda malzemenin iç yüzey pürüzlülüğü akış direncini etkileyerek çekiş performansını değiştirebilir. Bu yüzden hafif, hafif boş ve hafif dolu beton alternatiflerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, enerji–emisyon optimizasyonu açısından önem taşır.
Son yıllarda baca ve kazan sistemlerinin performans değerlendirmesinde sayısal modelleme ve simülasyon tabanlı analizler yaygın biçimde kullanılmaktadır. Simülasyon araçları, farklı yerleşim–malzeme–kesit kombinasyonlarının deneysel çalışmalara kıyasla daha kısa sürede ve düşük maliyetle analiz edilmesine olanak sağlayabilir [13, 14]. Bu yöntem, özellikle çok parametreli tasarım problemlerinde karar verme sürecini destekleyen güçlü bir mühendislik yaklaşımı sunar.
Bu kapsamda, Rize ili iklim koşullarında faaliyet gösteren kömürlü bir çay fabrikasına ait baca sistemlerinin bina içi ve bina dışı yerleşim alternatifleri ile hafif beton esaslı farklı kesit geometrileri altında simülasyon destekli olarak incelenmesi, literatürde sınırlı sayıda ele alınmış bir konuya katkı sağlamaktadır. Çalışma, endüstriyel tesislerde baca tasarım parametrelerinin enerji verimliliği ve emisyon azaltımı üzerindeki bütüncül etkisini ortaya koyarak bölgesel iklim koşullarına uyumlu tasarım stratejileri geliştirilmesine teknik bir zemin ortaya koymaktadır.

2. Analiz sonuçları ve değerlendirmeler

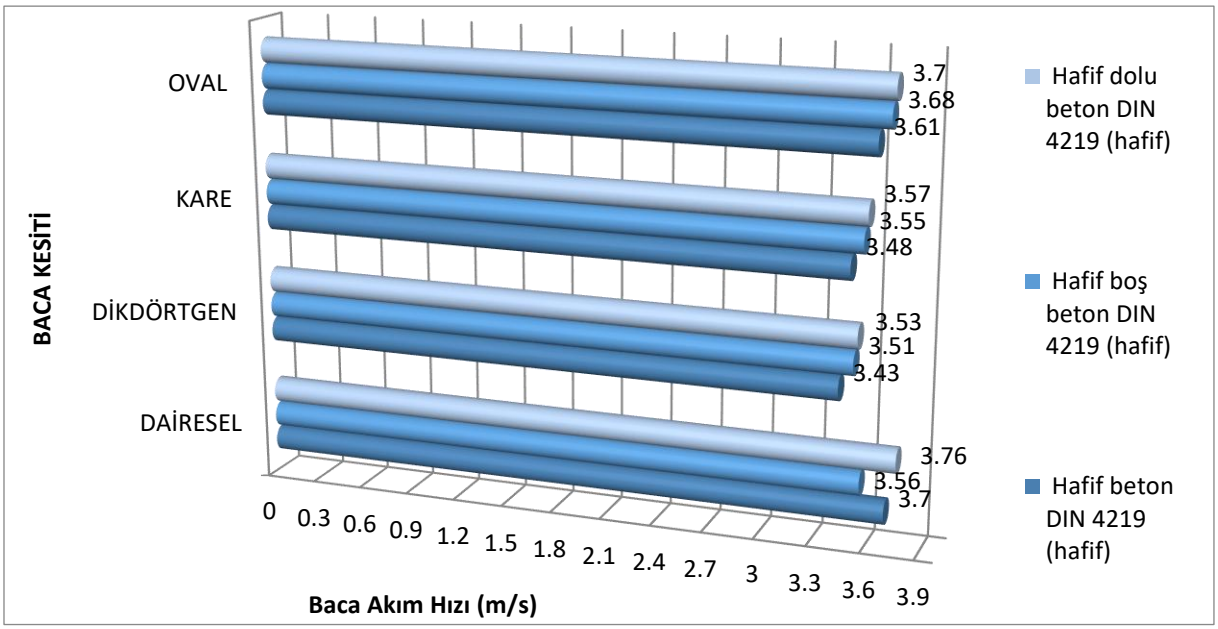
Bu bölümde, Rize ili iklim koşulları altında kömür yakıtlı bir ısıtma sistemine ait baca performansı, farklı yerleşim tipleri, kesit geometrileri ve hafif beton esaslı malzemeler dikkate alınarak detaylı biçimde analiz edilmiştir. KesaAladin simülasyon programı kullanılarak elde edilen sonuçlar; akış karakteristikleri, sıcaklık dağılımları, basınç değerleri ve emisyon davranışları açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Aşağıda sunulan şekillerde, her bir parametrenin baca performansı üzerindeki etkisi sistematik olarak incelenmiş ve elde edilen bulgular enerji verimliliği ile çevresel etkiler bağlamında yorumlanmıştır.



Şekil 1. Baca kesit geometrisi ve malzeme türüne göre ağız kesiti değişimi

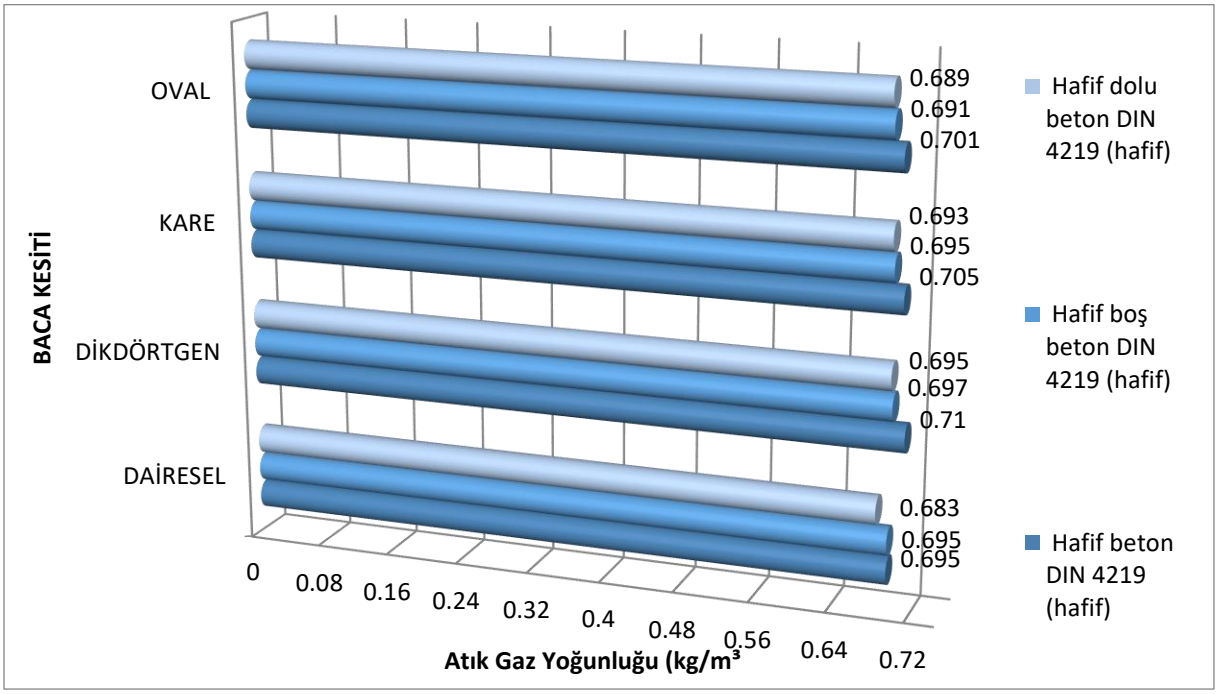
Sonuçlar, dikdörtgen ve kare kesitli bacalarda ağız kesitinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Oval ve dairesel kesitlerde ise daha kompakt bir yapı gözlemlenmiştir. Malzeme türünün ağız kesiti üzerinde sınırlı etkisi olduğu, kesit geometrisinin belirleyici olduğu anlaşılmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Şekil 2. Farklı kesit ve malzemelerde baca içi akım hızı karşılaştırması

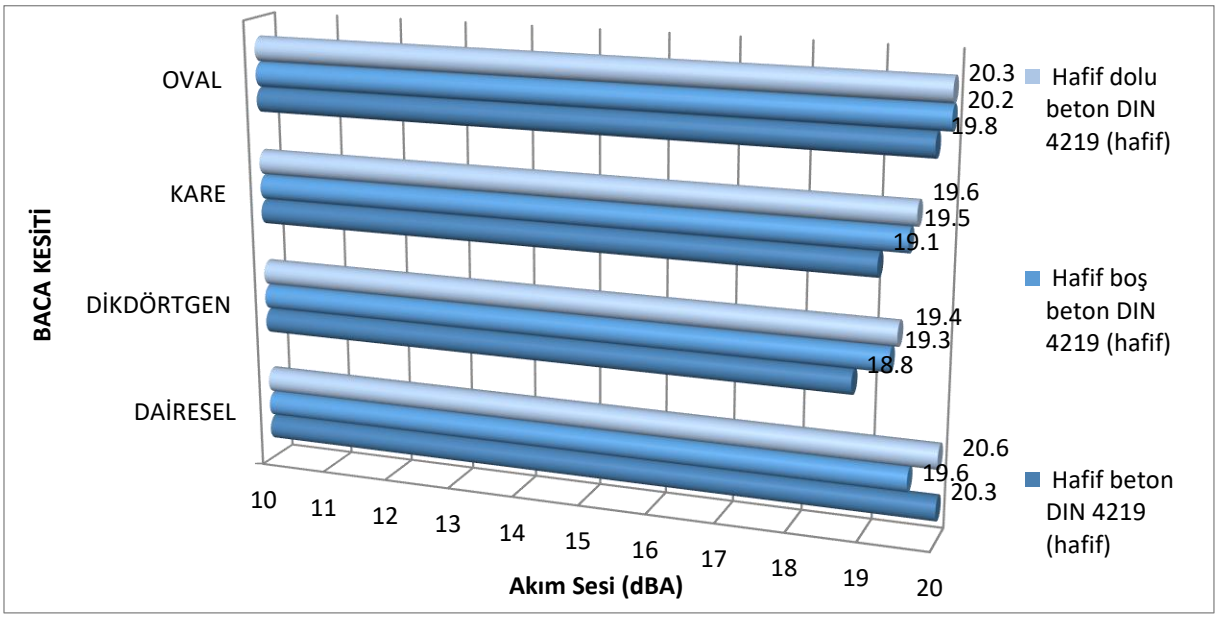
Oval ve dairesel kesitlerde akım hızının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, bu kesitlerin akış direncini azaltarak daha düzgün bir akış sağladığını göstermektedir. Dikdörtgen kesitlerde ise hızın daha düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3. Kesit ve malzeme türüne göre atık gaz yoğunluğu değişimi

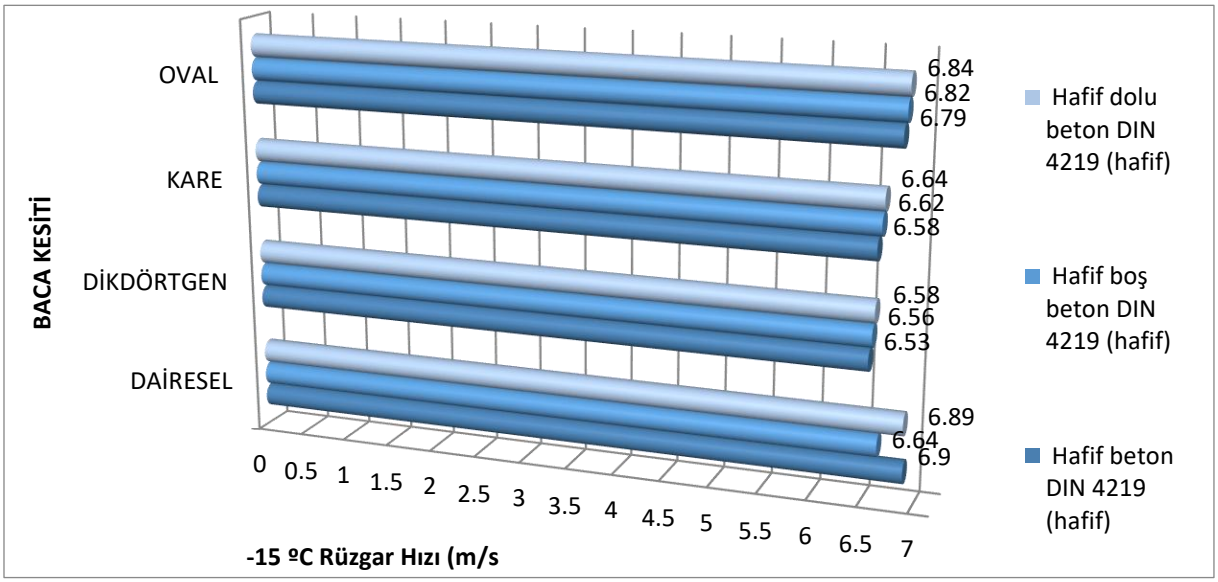
ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Atık gaz yoğunluğu değerlerinin tüm senaryolarda birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, yoğunluğun daha çok sıcaklık ve yakıt türüne bağlı olduğunu, kesit ve malzemenin etkisinin sınırlı kaldığını göstermektedir.



Şekil 4. Baca kesit geometrisine bağlı akım sesi seviyeleri

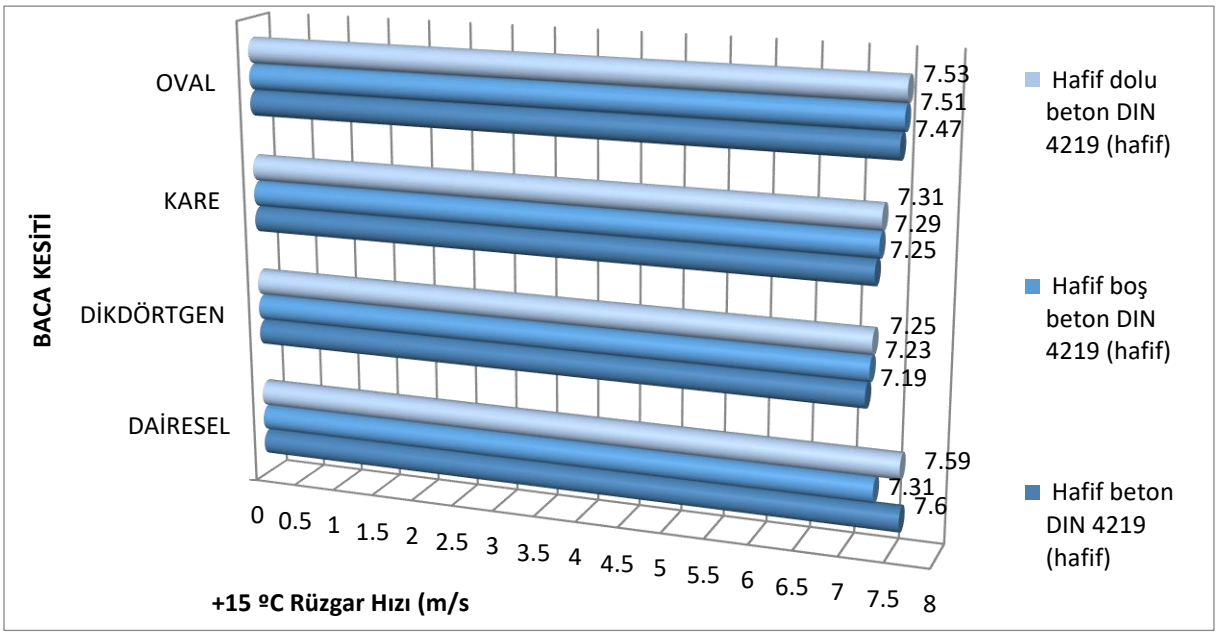
Dairesel ve oval kesitlerde akım sesinin nispeten daha yüksek olduğu, dikdörtgen kesitlerde ise daha düşük seviyelerde gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum, akış türbülansının kesit geometrisine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.



Şekil 5. Düşük sıcaklık koşullarında rüzgar hızının kesit ve malzemeye göre değişimi

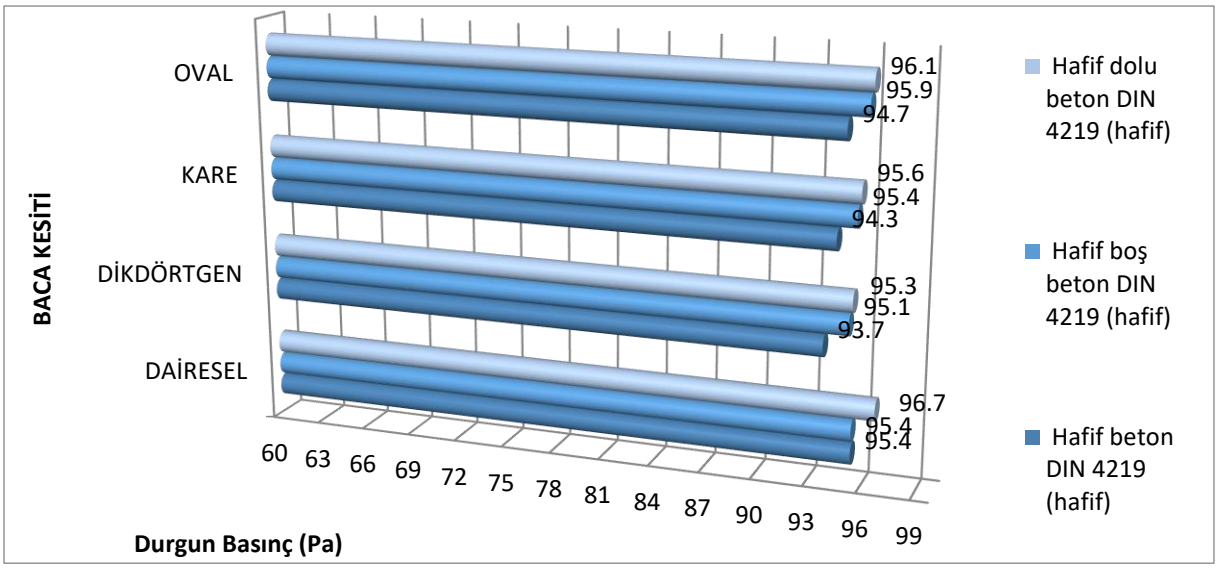
Düşük sıcaklık koşullarında oval ve dairesel kesitlerde rüzgar hızının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, bu kesitlerin dış ortam etkilerine daha duyarlı olduğunu göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Şekil 6. Ilıman sıcaklık koşullarında rüzgar hızı dağılımı

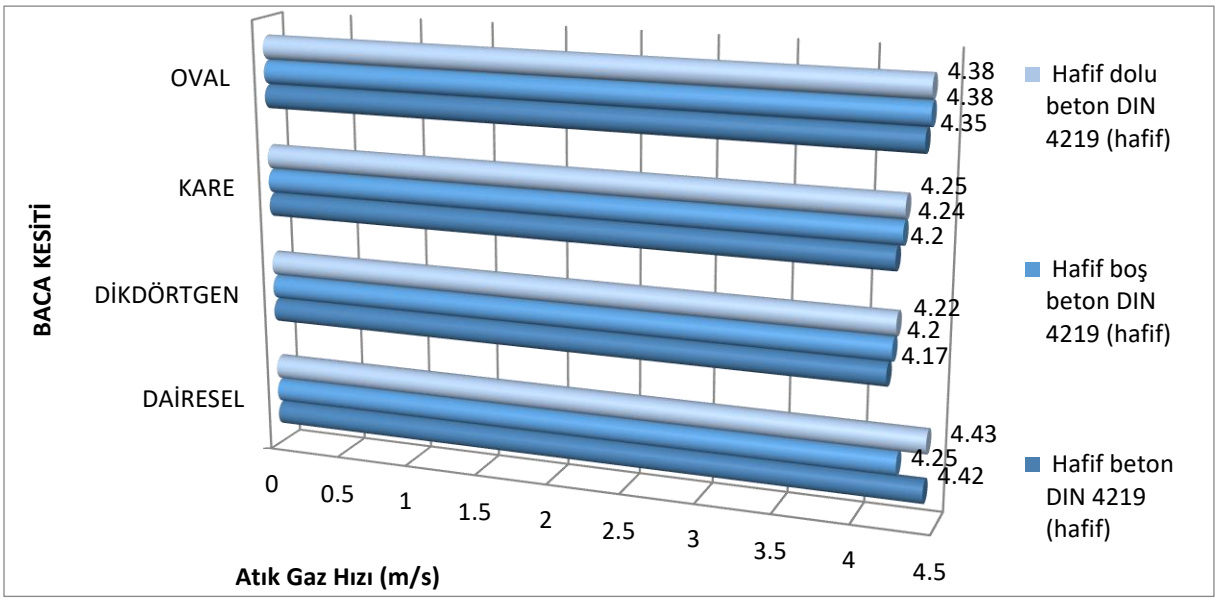
Tüm kesitlerde rüzgar hızının düşük sıcaklık koşullarına göre arttığı görülmektedir. Oval kesitlerin en yüksek değerlere ulaştığı, dikdörtgen kesitlerin ise en düşük seviyelerde kaldığı belirlenmiştir.



Şekil 7. Baca sistemlerinde durgun basınç değerlerinin karşılaştırılması

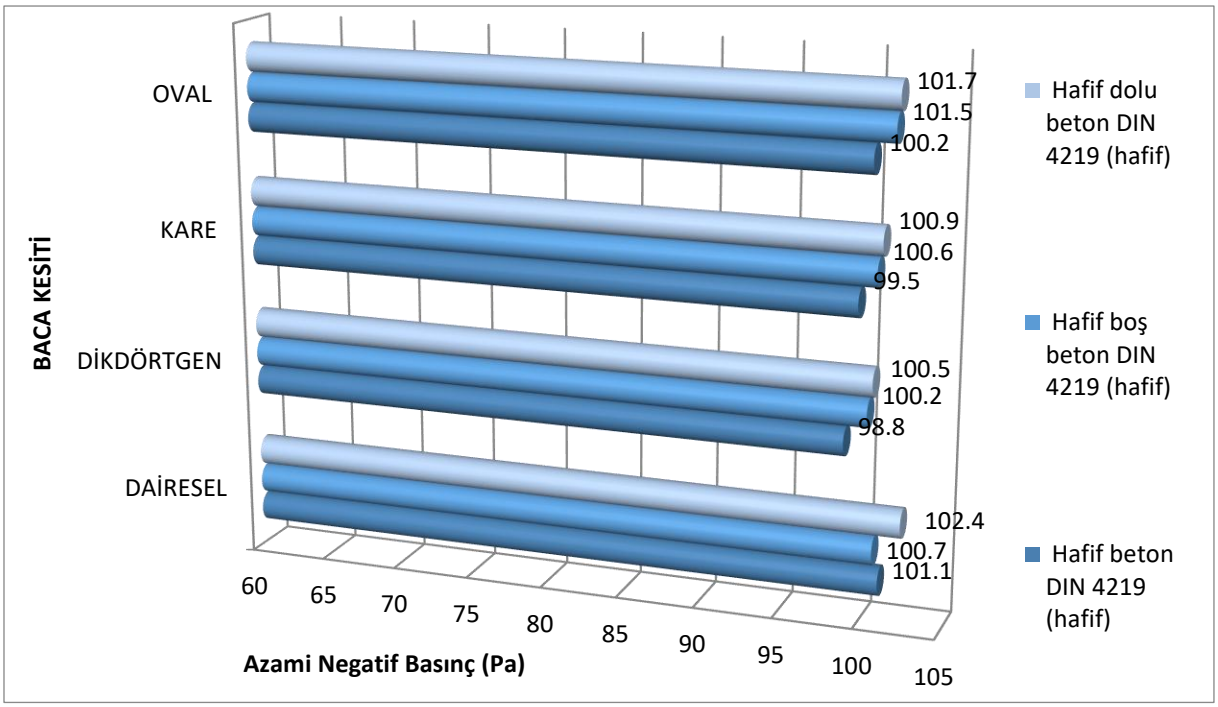
Durgun basınç değerlerinin kesitler arasında büyük farklılık göstermediği, ancak dolu beton malzemede nispeten daha yüksek değerlerin elde edildiği görülmektedir. Bu durum, malzeme yapısının akış direnci üzerindeki etkisini göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Şekil 8. Atık gaz çıkış hızının kesit geometrisine bağlı değişimi

En yüksek atık gaz hızları dairesel ve oval kesitlerde gözlemlenmiştir. Bu kesitlerin daha aerodinamik olması nedeniyle gazların daha hızlı tahliye edildiği söylenebilir.



Şekil 9. Maksimum çekiş (negatif basınç) değerlerinin karşılaştırılması

Dairesel ve oval kesitlerde daha yüksek negatif basınç değerleri elde edilmiştir. Bu durum, bu kesitlerin daha iyi çekiş performansı sağladığını ve baca verimliliğini artırdığını göstermektedir.

3. Sonuç

Bu çalışmada, Rize ili iklim koşullarında faaliyet gösteren kömür yakıtlı bir ısıtma sistemine ait baca performansı; farklı yerleşim tipleri, kesit geometrileri ve hafif beton esaslı malzemeler dikkate alınarak simülasyon destekli olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, hem enerji verimliliği hem de emisyon performansı açısından önemli sonuçlar ortaya koymaktadır.

Analiz sonuçlarına göre, baca kesit geometrisinin akış karakteristikleri üzerinde belirleyici bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Özellikle dairesel ve oval kesitli bacaların daha yüksek akım ve atık gaz hızlarına sahip olduğu, buna bağlı olarak daha etkin bir gaz tahliyesi ve çekiş performansı sağladığı görülmüştür. Buna karşın, kare ve dikdörtgen kesitlerde akış hızlarının nispeten düşük kaldığı ve türbülans etkilerinin arttığı belirlenmiştir. Bu durum, aerodinamik açıdan daha uygun olan kesitlerin enerji verimliliğini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir.

Basınç değerleri incelendiğinde, dairesel ve oval kesitlerde daha yüksek negatif basınç değerlerinin elde edildiği ve bu kesitlerin doğal çekiş mekanizmasını daha etkin desteklediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu özellik, özellikle kömürlü sistemlerde yanma veriminin artırılması ve zararlı gazların etkin şekilde uzaklaştırılması açısından kritik öneme sahiptir.

Malzeme türüne bağlı olarak yapılan değerlendirmelerde, hafif boş beton malzemenin daha düşük malzeme sıcaklıkları sergilediği ve bu sayede daha iyi bir ısı yalıtım performansı sunduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, hafif dolu beton ve klasik hafif beton malzemelerde daha yüksek sıcaklık değerleri gözlemlenmiş olup, bu durum ısı kayıplarının artabileceğine işaret etmektedir. Dolayısıyla, malzeme seçiminin yalnızca yapısal değil, aynı zamanda termal performans açısından da önemli olduğu ortaya konulmuştur.

Sıcaklık dağılımları genel olarak incelendiğinde, atık gaz sıcaklıklarının tüm senaryolarda birbirine yakın olduğu, ancak iç cidar ve malzeme sıcaklıklarının kesit ve malzeme türüne bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, baca içi ısı transfer mekanizmalarının tasarım parametrelerine duyarlı olduğunu göstermektedir.

Rüzgar hızı analizleri, dış ortam koşullarının baca performansı üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymuştur. Özellikle düşük sıcaklık koşullarında rüzgar hızlarının azalmasıyla birlikte çekiş performansının da kısmen etkilendiği, buna karşın daha aerodinamik kesitlerin bu olumsuz etkiyi minimize ettiği görülmüştür.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, enerji verimliliği ve emisyon performansı açısından en uygun baca tasarımının; dairesel veya oval kesit geometrisine sahip, hafif boş beton malzeme kullanılan ve uygun yerleşim koşulları sağlanan sistemler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu tür tasarımlar, hem ısı kayıplarını azaltmakta hem de yanma gazlarının daha etkin bir şekilde tahliye edilmesini sağlayarak çevresel etkilerin minimize edilmesine katkı sunmaktadır.

Sonuç olarak, baca tasarımında kesit geometrisi, malzeme seçimi ve yerleşim tipinin birlikte değerlendirilmesi gerektiği ve bu parametrelerin optimize edilmesinin endüstriyel tesislerde enerji verimliliği ile çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli kazanımlar sağlayacağı ortaya konulmuştur.

Kaynaklar

[1] Awbi, H. B. (2003). Ventilation of Buildings (2nd ed.). London: Spon Press.
[2] Cooper, C. D., & Alley, F. C. (2011). Air Pollution Control: A Design Approach (4th ed.). Long Grove, IL: Waveland Press.
[3] Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). Thermodynamics: An Engineering Approach (8th ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
[4] Turns, S. R. (2012). An Introduction to Combustion: Concepts and Applications (3rd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
[5] Fox, R. W., McDonald, A. T., & Pritchard, P. J. (2011). Introduction to Fluid Mechanics (8th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
[6] Glassman, I., Yetter, R. A., & Glumac, N. (2014). Combustion (5th ed.). Academic Press.
[7] Al-Homoud, M. S. (2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. Building and Environment, 40(3), 353–366.
[8] Bejan, A. (2013). Convection Heat Transfer (4th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
[9] U Yılmaz, F Balo, LS Sua, Simulation framework for wind energy attributes with WAsP, Procedia Computer Science 158, 458-465

[10] 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
[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] 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
[13] 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.
[14] 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.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

PROPHET VE TBATS MODELLERİ KULLANILARAK ENERJİ SEKTÖRÜNDE TALEP TAHMİNİ

Ahmet GÜRGAŞİN
Astor Enerji A.Ş. AR-GE Merkezi,
ahmet.gurgasin@gmail.com - 0000-0003-1954-0253

Talep tahmini, üretim yapan işletmeler için stratejik planlama, kaynak tahsisi ve finansal sürdürülebilirlik için kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmanın temel amacı enerji sektöründe üretim faaliyetleri gerçekleştiren Astor Enerji A.Ş. firmasına ait veriler kullanılarak çok modelli bir tahmin yapısı geliştirmek ve alternatif zaman serisi modellerinin performanslarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesidir. Araştırmada Prophet ve TBATS modelleri kullanılmış ve modellerin öngörü başarısı, rolling-origin cross-validation yaklaşımına dayalı üç aşamalı bir değerlendirme mimarisi çerçevesinde analiz edilmiştir. Model performansları sMAPE, MAE ve RMSE gibi ölçütler üzerinden karşılaştırılmıştır. Bulgular, Prophet modelinin özellikle sMAPE, MAE ve RMSE değerleri bakımından daha iyi sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar işletmenin ileri analitik yöntemlerin talep tahmini süreçlerine entegre edilmesinin stok yönetimi, üretim kapasite planlama ve veri odaklı karar verme süreçleri açısından önemli katkılar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Talep tahmini, Prophet, TBATS

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

HDBSCAN TABANLI DENETİMSİZ ÖĞRENME YÖNTEMİ İLE ENERJİ SEKTÖRÜNDE TEDARİK ZİNCİRİ RİSK MODELLEMESİ

Ahmet GÜRGAŞİN
Astor Enerji A.Ş. AR-GE Merkezi,
ahmet.gurgasin@gmail.com - 0000-0003-1954-0253

İşletmeler açısından stratejik önemi giderek artan tedarik zinciri risk yönetimi özellikle çok boyutlu karar süreçlerinin olduğu sektörlerde kritik bir yapıda bulunmaktadır. Yapılan bu çalışma, enerji sektöründe trafo üretimi süreçleri için tedarik zinciri risklerinin veri odaklı yöntemler kullanılarak sınıflandırılmasını içermektedir. Bu amaçla operasyonel, finansal, jeopolitik ve stratejik boyutları temsil eden on bir farklı değişken kullanılmıştır. Çalışmada yoğunluk tabanlı ve küme sayısının önceden belirlenme zorunluluğu bulunmayan denetimsiz öğrenme algoritmalarından HDBSCAN (Hierarchical Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) algoritması kullanılmıştır.

Astor Enerji firmasına ait tedarik zinciri verileri kullanılan hazırlanan çalışmada tedarik zinciri risk yapısını anlamlı biçimde kümelere ayıran dört farklı risk kümesi elde edilmiştir. Bunlar termin sapması, malzeme özelliği-kalite, fiyat değişkenliği-kalite riski ve finansal volatilite-bağımlılık yapısıdır. Elde edilen sonuçlar karar vericilere tedarikçi yönetimi, risk izleme gibi stratejik alanlarda önemli bir yol haritası sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Denetimsiz öğreneme, HDBSCAN, tedarik zinciri riski

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ANALYSIS OF AIRPORT AND AIRCRAFT FACTORS AFFECTING LTO-RELATED CARBON EMISSIONS

Zeynep İrem ÖZFİDAN[1],

[1]Necmettin Erbakan University,

ORCID[1]: 0009-0009-7895-6882,

iremozfidan9@gmail.com, 05382310093

Doç. Dr. Beyzanur ÇAYIR ERVURAL[2],

[2]Necmettin Erbakan University,

ORCID[2]: 0000-0002-0861-052X,

bc.ervural@erbakan.edu.tr

ABSTRACT

The objective of this study is to determine the relative importance of airport- and aircraft-related factors affecting carbon emissions during the landing and takeoff (LTO) cycle at airports. Within the scope of the study, two separate Analytic Hierarchy Process (AHP) models were developed: Criteria were prioritized using pairwise comparisons based on expert opinions, and two Analytic Hierarchy Process (AHP) models were developed separately: the first is for evaluating emission sources associated with general airport operations (LTO, terminal, GSE, etc.); the second is for prioritizing criteria that influence emission generation solely during the LTO phase. The consistency of the models was validated based on pairwise comparisons conducted by 30 aviation experts (CR < 0.10). The assessment revealed that aircraft movements (LTO) are the primary source of airport emissions.

Keywords: Emissions, Airport emissions, Landing and Take Off

1. INTRODUCTION

The rapid growth of global air transport has brought greenhouse gas emissions from airport and aircraft operations to the forefront of the climate change agenda. CO_2 emissions, in particular, contribute significantly to cities' overall carbon footprint through both aircraft take-off and landing (LTO) operations and airport components such as terminals, ground handling services, transport vehicles and energy consumption

In this study, the Analytic Hierarchy Process (AHP), developed by Saaty (1987), was used to prioritise emission factors. Expert opinions were quantified using a 1–9 scale based on pairwise comparisons of the criteria (Hu et al., 2022). Research indicates that increased demand in the aviation sector, technological advancements, alternative fuels and operational regulations

are key factors influencing emissions, and that these factors must be systematically identified and prioritised in order to develop effective reduction strategies (J. Singh et al., 2019).

Assessments conducted at airport level reveal that emission sources are not limited to aircraft alone; numerous subsystems—such as terminal energy consumption, ground handling equipment, auxiliary power units (APUs), ground transport vehicles and waste management—play a significant role in air quality and the carbon footprint (Postorino & Mantecchini, 2020). On the other hand, it is emphasised that aircraft emissions during the LTO phase can account for a significant proportion of total carbon emissions from civil aviation, and that operational improvements and investment in technology are therefore critical (Xiong et al., 2023). This study will prioritise the factors contributing to emissions from airports and aircraft using the Analytic Hierarchy Process (AHP).

2. METHODOLOGY AND APPLICATION

The study utilised the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, which resolves complex decision-making problems within a hierarchical structure.

2.1. Data collection and hierarchical structure

Two main models were developed as part of the study:

- General Airport Model: Assesses emission sources across the entire facility (LTO, GSE, APU, Terminal, etc.).
- Aircraft Operations Model: Assesses technical and operational criteria directly related to the LTO phase (fuel, aircraft type, age, etc.).

Data were obtained via pairwise comparison questionnaires collected from 30 aviation experts using Google Forms. The 1–9 importance scale proposed by Singh (2014) (Table 1) was used in the assessments.

Table 1. The AHP Fundamental Scale of Pairwise Comparison (A. Singh, 2014)

Intensity of Importance	Definition	Explanation
1	Equal Importance	Two activities contribute equally to the objective.
3	Moderate Importance	Experience and judgment slightly favor one activity over another.
5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favor one activity over another.
7	Very Strong Importance	An activity is favored very strongly over another; its dominance is

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

		demonstrated in practice.
9	Extreme Importance	The evidence favoring one activity over another is of the highest possible order of affirmation.
2, 4, 6, 8	Intermediate Values	Used when a compromise between two adjacent judgments is needed.
Reciprocals	Reciprocals for Inverse Comparison	If activity i has one of the above non-zero numbers assigned to it when compared with activity j, then j has the reciprocal value when compared with i (e.g., if i/j=3, then j/i=1/3).

In this study, the accuracy of the obtained values was evaluated by examining the group consistency index. The consistency ratio (CR) is calculated as the ratio of the consistency index (CI) to the randomness index (RI). The consistency index (CI) is calculated using the maximum eigenvalue (λmax) and the number of criteria (n) as follows: $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$

3. RESULTS AND EVALUATION

The analysis results were calculated by taking the geometric mean of the group decision matrices and were subjected to a Consistency Ratio (CR) test.

3.1. General Airport Emission Sources

In the analysis conducted across the airport as a whole, the consistency ratio was found to be CR = 0.063. The results demonstrate that aircraft movements are the primary source of emissions.

Table 2. Priority Ranking of General Airport Emission Factors

Criteria	Weight (W)	Rank
LTO (Aircraft Movements)	0,37	1
Terminal Energy Consumption	0,18	2
Ground Support Equipment (GSE)	0,14	3
Transport Vehicles (Buses, etc.)	0,13	4
Auxiliary Power Units (APU)	0,12	5
Waste Management	0,06	6

Factors Affecting Aircraft Operations (LTO Phase)

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

The consistency ratio (CR) for aircraft-based criteria was calculated as 0.029. Operational intensity has taken precedence over technical specifications.

Table 3. Ranking of Factors in Aircraft Operations (LTO Phase)

Criteria	Weight	Rank
Number of LTOs	0,407	1
Fuel Consumption	0,238	2
Aircraft Type	0,119	3
Aircraft Age	0,086	4
Cargo Traffic	0,084	5
Passenger Traffic	0,062	6

4. GENERAL ASSESSMENT AND CONCLUSIONS

According to this study, the AHP method has systematically prioritized factors that influence carbon emission from airports and aircraft operations. The results of a pairwise comparison that involved 30 experts imply a strategy for emission management. Aircraft Landing and Take-off Movements “LTO” had a maximum share of 37% according to the overall emission source model of the airport; Therefore, a fundamental component of the sustainable airport policy is prioritizing aircraft operations. The secondary but important areas to focus on therefore are Terminal energy use (18%) and Ground Support Equipment (14%). In the second hierarchical model focusing on aircraft operations, the number of LTOs (40.7%) was identified as the strongest criterion determining emission volume. This is followed, in order, by Fuel Consumption (23.9%) and Aircraft Type (11.9%). The analysis results indicate that emission performance is more closely linked to operational intensity and fuel flow efficiency rather than technical characteristics (Aircraft Age: 8.6%).

This study has systematically prioritised the factors influencing carbon emissions from airport and aircraft operations using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. The findings obtained from pairwise comparisons conducted with the participation of 30 experts indicate that strategies for emissions management. The AHP results indicate that concentrating emission reduction strategies in the following three areas will yield the highest environmental benefit:

- Airside Optimisation: Reducing taxiing times during the LTO cycle and planning aircraft mo
- vements more efficiently.
- Energy and Ground Services: Energy efficiency in terminal buildings and the electrification of ground support equipment (GSE).

- Power Unit Management: Minimising the operating times of Auxiliary Power Units (APUs).

Consequently, by presenting a consistent weighting based on expert opinions, this study has established a mathematical basis for determining which factors should be addressed as 'top priorities' in projects aimed at reducing carbon emissions.

ACKNOWLEDGEMENT

This work has been supported by Necmetttin Erbakan University Scientific Research Projects Coordination Unit under project number #25YL16001

(Bu çalışma, 25YL16001 numaralı proje kapsamında Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (NEÜ BAP) Koordinatörlüğü tarafından desteklenmektedir.)

REFERENCES

[1] Hu, Y.-J., Yang, L., Cui, H., Wang, H., Li, C., ve Tang, B.-J., Strategies to Mitigate Carbon Emissions for Sustainable Aviation: A Critical Review From a Life-cycle Perspective, Sustainable Production and Consumption, 33, 788–808, 2022.

[2] Postorino, M. N. ve Mantecchini, L., An Element-by-Element Approach for a Holistic Estimation of the Airport Carbon Footprint, Sustainable Aviation, 193–214, Springer International Publishing, 2020.

[3] Singh, A., Major MCDM Techniques and their application-A Review, IOSR Journal of Engineering, 4, 5, 15–25, 2014.

[4] Singh, J., Sharma, S. K. ve Srivastava, R., AHP-Entropy based priority assessment of factors to reduce aviation fuel consumption, International Journal of System Assurance Engineering and Management, 10, 2, 212–227, 2019.

[5] Xiong, X., Song, X., Kaygorodova, A., Ding, X., Guo, L. ve Huang, J., Aviation and carbon emissions: Evidence from airport operations, Journal of Air Transport Management, 109, 102383, 2023.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

SYNTHESİS OF DIOXOISOINDOLIN-2-YL-SUBSTTİTUTED-1,2,3- TRİAZOLE-CONTAINING NEW SULFONAMİDE DERİVATİVES

Sema KAYA

Sakarya University, sema.kaya7@ogr.sakarya.edu.tr- 0009-0006-3043-3917

Saliha GÜNDOĞDU

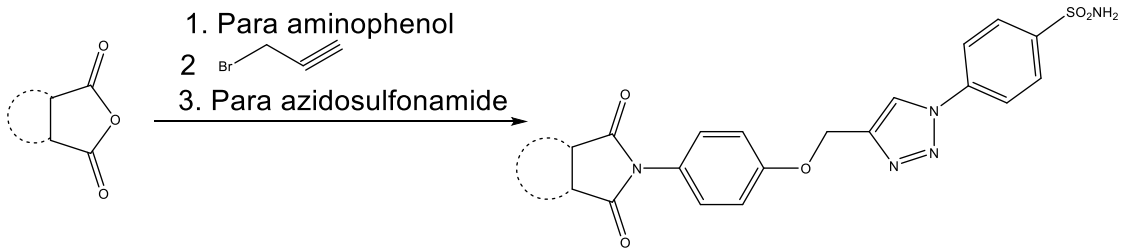
Sakarya University, saliha.gundogdu2@ogr.sakarya.edu.tr- 0000-0002-8287-6860

Prof. Dr. Mustafa ARSLAN

Sakarya University, marslan@sakarya.edu.tr- 0000-0003-0796-4374

ABSTRACT

Heterocyclic chemistry is of great importance for medical products due to their use in drugs. Research on drugs has led chemists to discover and develop new agents for treating diseases. The process of creating a new drug is extremely complex and involves people with different skills from various disciplines. More than half of therapeutic agents are composed of heterocyclic compounds. The most well-known and extensively studied heterocyclic compounds containing nitrogen, oxygen, and sulfur exhibit a wide variety of biological activities. The triazole ring is a biologically active heterocyclic structure widely used in pharmaceutical chemistry that exhibits antibacterial, antifungal, antiviral, and anticancer properties. In the chemical and pharmaceutical industries, sulfonamides are compounds of great importance due to their biological activities such as anticancer, antibacterial, antifungal properties, and carbonic anhydrase (CA) enzyme inhibitors. The aim of this study is to synthesize new sulfonamide derivatives containing a triazole ring. Dioxoisoindolin-2-yl-substituted-1,2,3- triazole-containing new sulfonamide derivatives were synthesized in three steps starting from substituted anhydrides with paraaminophenol, propargylbromide and paraazidosulfonamide, respectively. Structural analysis of the compounds was achieved by spectroscopic methods such as IR, $^{1}H/^{13}C$ NMR and QTOF LC- MS.



Anahtar Kelimeler: Isoindoline, 1,2,3-Triazole and Sulfonamide

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

TOZ METALÜRJİSİ İLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE BOR NİTRÜR TAKVİYESİNİN KOMPOZİTİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Arş. Gör. Aleyna TAŞKIN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, aleyna.taskin@omu.edu.tr - 0000-0002-8308-9957

Doç. Dr. Mahmut Can ŞENEL

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, mahmutcan.senel@omu.edu.tr - 0000-0001-7897-1366

ÖZET

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemiyle ağırlıkça %0,5–%3 oranlarında bor nitrür takviyeli alüminyum matrisli kompozitler üretilmiş ve bor nitrür ilavesinin kompozitin mekanik özellikleri üzerinde olan etkisi incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda kompozitlere yoğunluk, gözeneklilik, mikrosertlik ve basma dayanımı testleri uygulanmıştır. Testlerin sonucunda en yüksek yoğunluk (2,61 g/cm^3), en düşük gözeneklilik oranı (%3,18), en yüksek sertlik (49,59 HV) ve en yüksek basma dayanımı (135 MPa) olarak %1 bor nitrür takviyeli kompozitte belirlenmiştir. Ancak %1'in üzerindeki takviye oranlarında artan aglomerasyon ve yapısal düzensizlikler nedeniyle mekanik özelliklerde düşüş meydana geldiği belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, alüminyum matris için optimum bor nitrür takviye oranının yaklaşık %1 olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bor Nitrür, Alüminyum, Kompozit, Mekanik Özellik

1. GİRİŞ

Günümüzde yalnızca bireysel ihtiyaçlara değil, aynı zamanda farklı mühendislik disiplinlerinin gereksinimlerine cevap verebilecek yeni nesil malzemelerin tasarlanması öncelikli araştırma alanlarından biri hâline gelmiştir. Bu kapsamda geliştirilen en önemli malzeme gruplarından biri kompozit malzemelerdir [1]. Kompozitler, birbirleri içerisinde çözünmeyen ve farklı özelliklere sahip iki ya da daha fazla malzemenin makro ölçekte bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır. En dikkat çekici özelliği bileşenlerine kıyasla daha üstün mekanik ve kimyasal özellikler sergileyebilmesidir. Temel olarak matris ve takviye elemanı olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır.

Kompozit malzemeler; polimer matrisli, metal matrisli ve seramik matrisli olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. Özellikle hafiflik, yüksek mukavemet ve aşınma direncinin önemli olduğu uygulamalarda metal matrisli kompozitler (MMK) öne çıkmaktadır. Metal

matrisli kompozitler, genellikle bir metal veya metal alaşımının matris olarak kullanıldığı ve sürekli fiber, partikül veya whisker formundaki takviye malzemeleriyle güçlendirildiği malzemelerdir [2].

Metal matrisli kompozitlerde genellikle hafif metaller matris malzemesi olarak tercih edilmektedir. Özellikle alüminyum (Al) ve alaşımları; düşük yoğunluk, iyi şekillendirilebilirlik ve takviye malzemeleriyle uyumlu yapısı nedeniyle metal matrisli kompozitlerde en yaygın kullanılan matris malzemesidir [3]. Bunun yanında bakır (Cu), magnezyum (Mg), titanyum (Ti), çinko (Zn) ve kurşun (Pb) gibi metaller de matris malzemesi olarak kullanılabilmektedir.

MMK'lerde takviye elemanı olarak ise silisyum karbür (SiC), bor karbür (B4C), titanyum karbür (TiC) ve bor nitrür (BN) gibi malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler arasından BN yüksek sertlikleri ile bilinen malzemeler arasında yer almakta olup hızlı kesim, aşınma direnci, metal işleme, yüzey kaplama gibi alanlarda kullanılmaktadır [4].

Al matrisli kompozitlerde yaygın olarak sıvı metal infiltrasyonu ve döküm gibi üretim yöntemleri kullanılmasına rağmen, toz metalürjisi (TM) yöntemi de nihai malzeme özelliklerinin kontrol edilebilirliği ve nispeten daha düşük işlem sıcaklıkları gerektirmesi nedeniyle avantaj sağlamaktadır [5]. TM metal veya seramik tozlarının kullanılmasıyla kütlesel malzeme ve şekillendirilmiş parça üretimini kapsayan bir imalat teknolojisidir. Son şekle yakın üretim imkânı sunması ve ileri teknoloji malzemelerin kontrollü şekilde elde edilmesine olanak tanıması, toz metalürjisini önemli bir üretim yöntemi hâline getirmektedir [6].

Literatürde BN takviyeli kompozitlerle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Karabacak vd. BN takviyeli Al2024 nanokompozitleri toz metalürjisi yöntemiyle üretmiş ve farklı takviye oranlarının (ağırlıkça %0-5) kompozitin özelliklerine etkisini incelemişlerdir. BN parçacıkları %4'e kadar homojen dağılmış, bu oranda en yüksek sertlik (126 HB) ve çekme dayanımı (299,72 MPa) elde edilmiştir. Ayrıca %4 BN takviyesi aşınma kaybını azaltmış ve korozyon direncini takviyesiz alaşıma göre yaklaşık 5 kat artırmıştır [7]. Ammar vd. yaptıkları çalışmada Al5083 ve farklı oranlarda (%0–12) BN nanoparçacıkları kullanarak toz metalürjisi yöntemiyle nanokompozitler üretmişlerdir. BN takviyesi basma dayanımını önemli ölçüde artırmış ve en yüksek değer (%12 BN'de) yaklaşık 602 MPa olarak elde edilmiştir. Kompozitlerde %97'nin üzerinde bağıl yoğunluk sağlanmış olup, havacılık ve otomotiv uygulamaları için uygun sonuçlar elde edilmiştir [8]. Çubuk vd. tarafından yapılan çalışmada ise Al matrise ağırlıkça farklı oranlarda (%0,1-5) BN takviye edilerek kompozit üretilmiştir. %0,5 BN ve 600°C sinterleme koşulunda en yüksek sertlik (53,5 HV) elde edilmiştir. Daha yüksek katkı oranları ve sıcaklıklar kümelenme ve mekanik özelliklerde düşüşe yol açmıştır. Optimum katkı oranı ve sinterleme sıcaklığının kritik olduğu belirlenmiştir [9].

Bu çalışmada ise Al matrisli BN takviyeli metal matris kompozit malzemeler toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş ve BN katkı oranının kompozitin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulguların, hafif ve yüksek performanslı metal matrisli kompozitlerin geliştirilmesine katkı sunması amaçlanmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Yapılan bu çalışmada matris malzemesi olarak 10 µm boyutunda Al tozu kullanılmıştır. Al ve alaşımları hafiflik, iyi ısı ve elektrik iletkenliği, yüksek korozyon direnci ve kolay şekillendirilebilirlik gibi özelliklerinden dolayı birçok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Ayrıca şekil verme kolaylığı ve ince levha haline getirilebilme özelliği de tercih edilme nedenleri arasında yer almaktadır [10]. Takviye elemanı olarak ise 70 nm boyutunda BN kullanılmıştır. Bor nitrür iyi kimyasal, elektriksel ve termal özelliklere sahip olan beyaz renkli bir bileşiktir. Saf Al ve BN'nin belirli özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir [11-12].

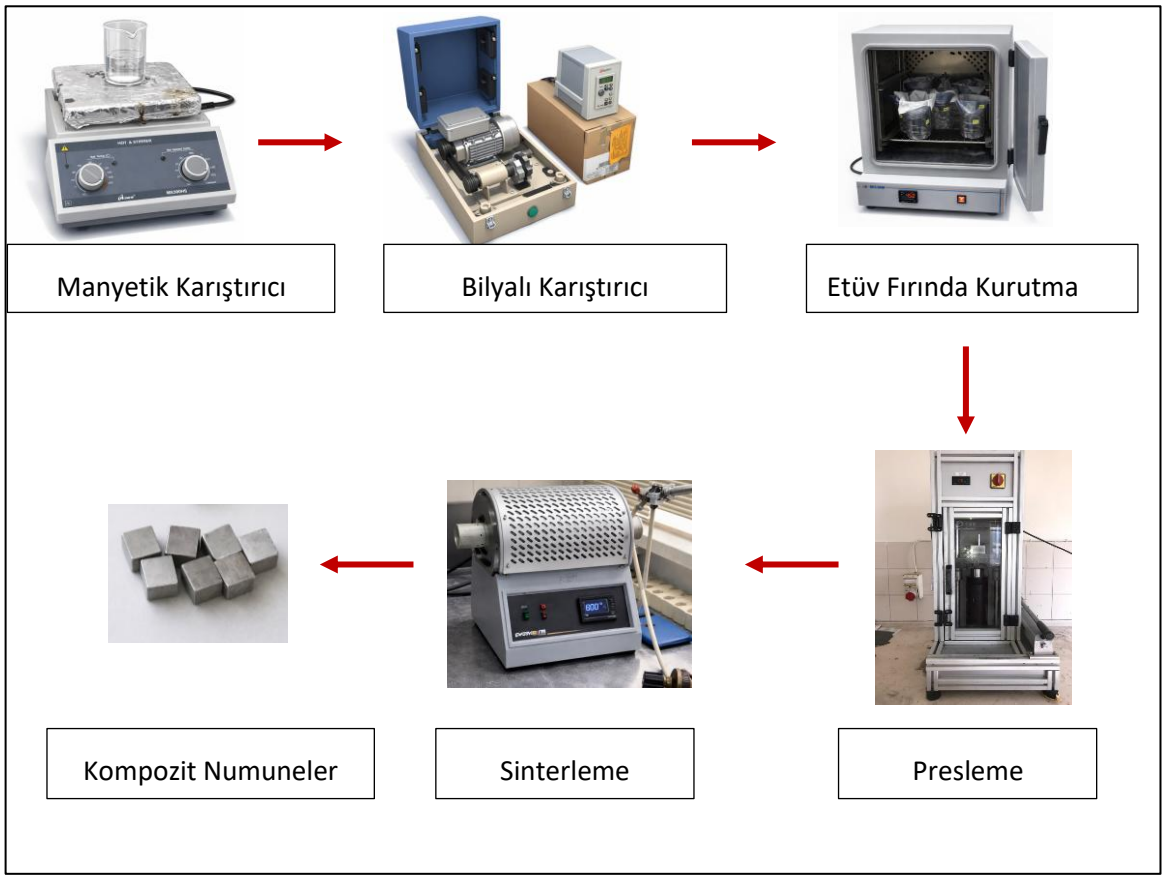
Çizelge 1. Saf Al ve BN özellikleri [11-12]

Özellik	Saf Al	BN
Yoğunluk (g/cm^3)	2,7	2,25
Ergime sıcaklığı (°C)	660,37	3000
Kaynama sıcaklığı (°C)	2467	3927
Isı iletkenliği (WK^{-1}/cm)	2,37	20-27
Elastisite modülü (GPa)	62,1-69	20-103

2.2. Yöntem

Bu çalışmada Al matrisli BN takviyeli metal matris kompozitler toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir (Görsel 1). Alüminyuma ağırlıkça %0,5, %1, %1,5, %2, %2,5 ve %3 oranlarında BN ilavesi yapılmıştır. Üretim sürecinde ilk olarak alüminyum tozu belirli miktarda etanol ile ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Ardından bor nitrür, etanol içerisinde yüksek enerjili bilyalı karıştırıcıda homojen hale getirilmiştir. Daha sonra her iki karışım birleştirilerek 1200 dev/dk hızda yaklaşık 1,5 dakika yüksek enerjili karıştırıcıda karıştırılmış ve topaklanmaların giderilmesi sağlanmıştır. Karıştırma işleminin ardından etanolü uzaklaştırmak amacıyla filtreleme yapılmış ve yalnızca katı partiküller elde edilmiştir. Filtrelenen tozlar, içerisindeki nemin giderilmesi için 45°C sıcaklıkta etüv fırınında 16 saat kurutulmuştur. Kurutulan tozlar agat havanda ezilmiş, elekten geçirilerek homojen partikül dağılımı sağlanmıştır. Şekillendirme aşamasında tozlar hidrolik pres makinesinde yaklaşık 780 MPa basınç altında sıkıştırılmıştır. Ancak numunelerin nihai mukavemeti sinterleme işlemi ile kazandırılmıştır. Sinterleme işlemi oksitlenmeyi önlemek amacıyla vakum altında (10^{-2} Pa) gerçekleştirilmiştir. Numuneler 630°C sıcaklıkta 3 saat boyunca sinterlenmiş, böylece iç yapıdaki gözeneklilik azaltılarak yoğunluk ve mekanik dayanım artırılmıştır. Sinterleme sonrasında numune yüzeylerine zımparalama-parlatma işlemleri uygulanmıştır. Ardından numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Görsel 1. Al-BN kompozitlerin üretim diyagramı

TM ile üretilen numunelerin deneysel yoğunlukları Denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\rho_D = \frac{m}{V} \tag{1}$$

Burada ρ_D deneysel yoğunluğu, m numune kütlesini ve V numune hacmini ifade etmektedir. Sinterleme öncesi ve sonrası yoğunluk değerleri karşılaştırılarak yoğunluk değişimi analiz edilmiştir. Numunelerin teorik yoğunlukları ise Denklem 2 ile hesaplanmıştır:

$$\rho_T = (\,\%m_{Al} \times \rho_{Al}) + (\,\%m_{BN} \times \rho_{BN}) \tag{2}$$

Burada m_{Al} ve m_{BN} ilgili fazların ağırlıkça oranlarını, ρ_{Al} ve ρ_{BN} ise saf bileşenlerin teorik yoğunluklarını temsil etmektedir.

Numunelerin yüzde gözeneklilik oranları Denklem 3 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\%G = (1 - \rho_D/\rho_T)\ x\,100 \tag{3}$$

Burada ρ_D deneysel yoğunluğu, ρ_T ise teorik yoğunluğu göstermektedir. Sertlik ölçümleri Vickers sertlik cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Her numune için 7 adet mikrosertlik deneyi yapılmıştır. Denklem 4 ile hesaplanan sertlik değerlerinin ortalaması alınmıştır.

$$VSD = 1{,}8544 \times {}^{F}/_{d^2} \tag{4}$$

Denklemde F numune yüzeyine uygulanan kuvveti, d yüzeyde oluşan izin köşegenlerinin ortalamasını ifade etmektedir. Basma dayanımı ise Eşitlik 5 ile hesaplanmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

$$\sigma = F_{maks}/A_0 \quad (5)$$

Eşitlikte yer alan F_{maks} malzemeye uygulanan maksimum kuvvet, A_0 ise ilk kesit alanıdır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

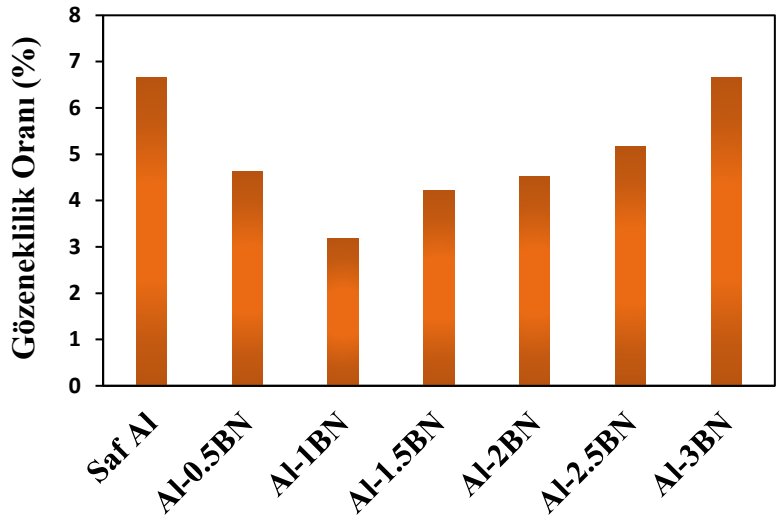
Sinterleme öncesinde yoğunluk değerleri saf alüminyumdan %1 BN takviyeli kompozite kadar artmış, %3 BN oranında ise azalma göstermiştir (Çizelge 2). En yüksek yoğunluk %1 BN içeren numunede 2,59 g/cm³, en düşük değer ise %3 BN takviyeli numunede 2,48 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Sinterleme sonrasında da benzer eğilim gözlenmiş; en yüksek yoğunluk %1 BN takviyeli numunede 2,61 g/cm³, en düşük yoğunluk ise %3 BN takviyeli numunede 2,51 g/cm³ olarak ölçülmüştür.

Çizelge 2. Al-BN kompozitlerin yoğunluk değerleri

Kompozit	Sinterleme Öncesi (g/cm^3)	Sinterleme Sonrası (g/cm^3)
Saf Al	2,5	2,52
Al-0,5BN	2,54	2,56
Al-1BN	2,59	2,61
Al-1,5BN	2,56	2,58
Al-2BN	2,53	2,57
Al-2,5BN	2,51	2,55
Al-3BN	2,48	2,51

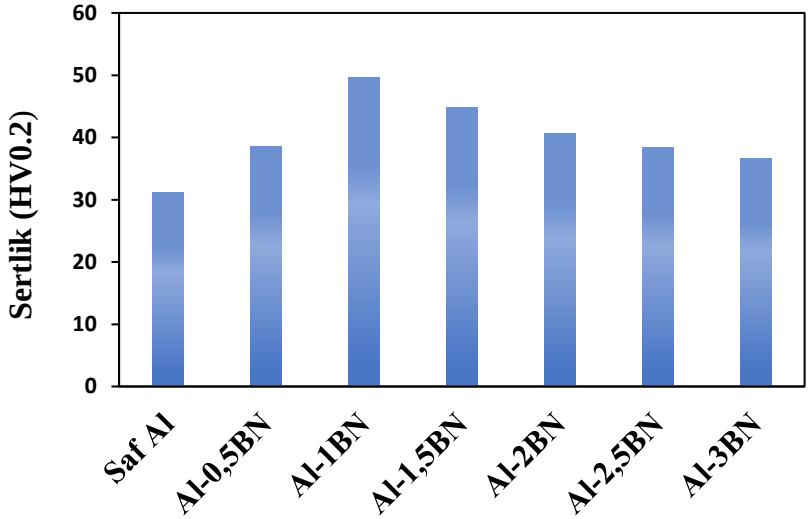
Görsel 2’de verilen gözeneklilik sonuçlarına göre, saf alüminyumdan %1 BN takviyeli kompozite kadar gözeneklilik azalmış, ancak BN oranının %3’e çıkarılmasıyla yeniden artış göstermiştir. Bu durum, %1’in üzerindeki takviye miktarlarında numunenin sıkıştırılabilirliğinin azalması ve tanecikler arası boşlukların yeterince kapanmaması ile ilişkilendirilmektedir. En düşük gözeneklilik %1 BN takviyeli kompozitte (%3,18), en yüksek gözeneklilik ise saf alüminyum ve %3 BN takviyeli kompozitte (yaklaşık %6,67) tespit edilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



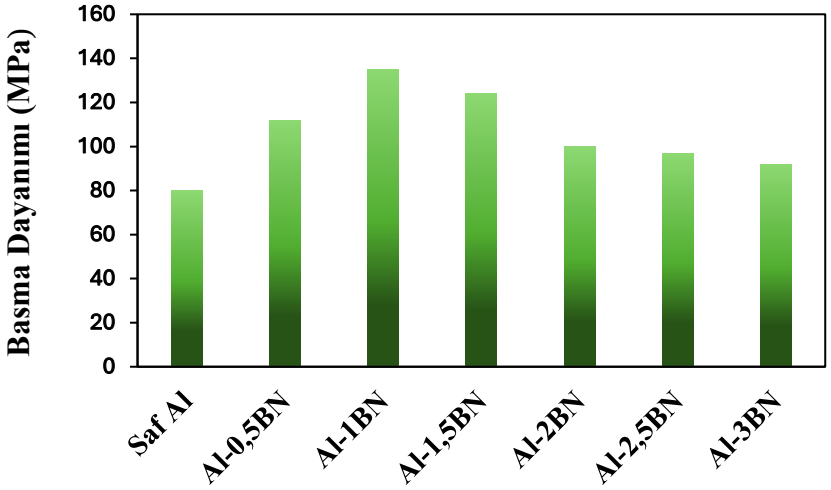
Görsel 2. Al-BN kompozitlerin gözeneklilik oranı (%) değerleri

Üretilen kompozitlerin Vickers mikrosertlik sonuçları incelendiğinde, saf alüminyumdan %1 BN takviyeli kompozite kadar sertlik değerlerinde artış, %3 BN oranında ise azalma gözlenmiştir (Görsel 3). En yüksek sertlik değeri %1 BN takviyeli numunede 49,59 HV, en düşük değer ise saf alüminyumda 31,23 HV olarak ölçülmüştür. %1 BN oranından sonra sertlikte görülen düşüş, artan takviye miktarına bağlı olarak matriste oluşan aglomerasyonların (topaklanmaların) artması ve homojen dağılımın bozulması ile ilişkilendirilmektedir.



Görsel 3. Al-BN kompozitlerin Vickers sertlik değerleri

Görsel 4'te verilen basma dayanımı sonuçlarına göre, değerlerin saf alüminyumdan %1 BN takviyeli kompozite kadar arttığı, %3 BN oranına ulaşıldığında ise azaldığı görülmüştür. Bu eğilim, yoğunluk ve sertlik sonuçlarıyla uyum göstermektedir. En yüksek basma dayanımı 135 MPa ile %1 BN takviyeli kompozitte, en düşük değer ise 80 MPa ile saf alüminyumda elde edilmiştir. Basma dayanımındaki bu artış, sert takviye partiküllerinin saf alüminyumun dayanımını artırmasından kaynaklanmaktadır.



Görsel 4. Al-BN kompozitlerin basma dayanımı değerleri

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada toz metalürjisi yöntemiyle Al matrisli, ağırlıkça %0,5–%3 oranlarında BN takviyeli kompozitler üretilmiş ve takviye oranının yoğunluk, gözeneklilik, Vickers sertlik ve basma dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Kompozitlerin sinterleme sonrası yoğunluk değerleri artmıştır. En yüksek yoğunluk %1 BN takviyeli kompozitte olup, sinterleme öncesi 2,59 g/cm³, sinterleme sonrası 2,61 g/cm³ olarak belirlenmiştir.
- En düşük gözeneklilik %3,18 ile %1 BN takviyeli kompozitte, en yüksek değer ise %6,67 ile %3 BN takviyeli kompozitte görülmüştür.
- Saf alüminyumda 31,23 HV olan sertlik değeri, %1 BN ilavesiyle 49,59 HV'ye yükselmiş, %3 BN oranında ise 36,68 HV'ye düşmüştür.
- Ayrıca saf alüminyumda 80 MPa olan basma dayanımı, %1 BN takviyesinde 135 MPa'a çıkmış, daha yüksek takviye oranlarında azalma göstermiştir.

Sonuç olarak Al matrise %1 BN ilavesinde mekanik özellikler iyileşmiştir. Bu oranın üzerinde ise artan takviye miktarına bağlı olarak aglomerasyon ve yapısal düzensizlikler nedeniyle meknaik özelliklerde düşüş meydana geldiği belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

[1] Sharma, D. K., Mahant, D., & Upadhyay, G. Manufacturing of metal matrix composites: A state of review. Materials Today: Proceedings, 26, 506-519, 2020.

[2] Chen, L. Y., Qin, P., Zhang, L., & Zhang, L. C. An overview of additively manufactured metal matrix composites: preparation, performance, and challenge. International Journal of Extreme Manufacturing, 6(5), 052006, 2024.

[3] Ozkan, Z., Gokmen, U., & Bilge Ocak, S. E. M. A. Enhanced Mechanical Properties of AA6082 Matrix Composites Reinforced with B4C and TiO2: A Powder Metallurgy Approach. ACS omega, 10(48), 58123-58133, 2025.

[4] Abdulkader, N. J., Abass, M. A., Alkhafaji, M. M., & Jassim, G. Processing and Mechanical Properties of AA6061 Matrix Composites Reinforced With Nano Scaled Boron Nitride. Revue des Composites et des Materiaux Avances, 35(3), 593, 2025.

[5] Sharma, S. K., Gajević, S., Sharma, L. K., Mohan, D. G., Sharma, Y., Radojković, M., & Stojanović, B. Significance of the powder metallurgy approach and its processing parameters on the mechanical behavior of magnesium-based materials. Nanomaterials, 15(2), 92, 2025.

[6] Gök, D. A., Bayraktar, C., & Hoşkun, M. A review on processing, mechanical and wear properties of Al matrix composites reinforced with Al2O3, SiC, B4C and MgO by powder metallurgy method. Journal of Materials Research and Technology, 31, 1132-1150, 2024.

[7] Karabacak, A. H., Çanakçı, A., Celebi, M., Güler, O., Tunc, S. A., & Arpacı, K. A. Production of Al2024/h-BN nanocomposites with improved corrosion, wear and mechanical properties. Materials Chemistry and Physics, 300, 127566, 2023.

[8] Ammar, H. R., & Sivasankaran, S. Synthesis, microstructural investigation, and mechanical behavior of AA5083/boron nitride nanocomposite. Advanced Engineering Materials, 27(6), 2401009, 2025.

[9] Çubuk, H. S., & Çavdar, U. (2025). Toz Metalurjisi ile Üretilen Nano Bor Nitrür Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Mekanik ve İçyapı Özelliklerinin İncelenmesi. Journal of Materials and Mechatronics: A, 6(1), 170-184, 2025.

[10] Zheng, K., Politis, D. J., Wang, L., & Lin, J. A review on forming techniques for manufacturing lightweight complex—shaped aluminium panel components. International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, 1(2), 55-80, 2018.

[11] Erdoğan, M., *Çelik Takviyeli Alüminyum Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 53, Kütahya, 2025.

[12] Eryilmaz, A., Ünal, H. Y., & Pekbey, Y. Investigation of the effect of hexagonal boron nitride addition on the mechanical properties of flax fiber-reinforced composite materials. Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation, 11(3), 577-588, 2024.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

C45E ÇELİĞİNDE MENEVİŞLEME SICAKLIĞI VE SÜRESİNİN ÖNCEKİ ÖSTENİT TANE SINIRLARINA ETKİSİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Şevval KELEŞ
Kocaeli Üniversitesi, sevvalklss1@gmail.com, ORCID: 0009-0008-9838-591X
Dr. Öğr. Üyesi Fulya KAHRIMAN
Kocaeli Üniversitesi, fulya.kahriman@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9609-0562

ÖZET

Menevişleme, tavlanmış veya su verme yöntemi ile sertleştirilmiş bir çeliğin alt kritik sıcaklığının altında bir sıcaklıkta ısıtılması, belirli bir süre bekletilmesi ve ardından kontrollü soğutulması prensibine dayanan bir ısıl işlemdir. Su verilmiş yapıda menevişleme ısıl işlemi sırasında faz dönüşümü sonrasında mikroyapıda östenit tane sınırlarının izleri kalabilmektedir. Bu önceki östenit tane sınırları, oluşacak martenzit yapının lata veya plaka tipi paketlenme yapısını belirlemesi, dayanımı, tokluk, kırılma davranışını etkilemesi, çatlak ilerleme yolu, hidrojen gevrekliği ve ısıl işlem performansını etkilemesi gibi konularda önemlidir. C45E makine elamanları, mil ve aks gibi otomotiv parçalarının imalatında ve motor parçalarında kullanılan alaşımsız orta karbonlu bir çeliktir. İçerisindeki karbon miktarı sayesinde sertliği ve mukavemeti yüksek bir çeliktir.

Bu çalışmada C45E çeliğinde menevişleme ısıl işlemi sıcaklığının ve süresinin önceki östenit tane sınırlarına etkisi incelenmiştir. Bu işlem iki farklı sıcaklık ve iki farklı süre olmak üzere yapılmış ve sıcaklık/süre ikilisinin mikroyapı ve sertlik üzerindeki etkisi incelenmiştir. Isıl işlemsiz durumda C45E çeliği 210 HV sertliğe sahiptir. Menevişleme işlemi sonrasında ölçülen sertlik değerleri; 200°C'de 2 saat süreyle uygulanan işlem için 660 HV, 4 saat için 686 HV; 500°C'de 2 saat için 389 HV ve 4 saat için 439 HV olarak belirlenmiştir. İncelemeler sonucunda menevişleme sıcaklığı ve süresinin artması ile birlikte önceki östenit tane sınırının optik mikroskopta belirginliğinin azaldığı görülmüştür. Bu durum, tane sınırları boyunca oluşan ince segregasyonlar ve karbür oluşumlarının neden olduğu lokalize kontrastın, menevişleme sürecinde gerçekleşen toparlanma mekanizmaları ve karbürlerin hacim içerisinde daha homojen bir dağılım göstermesi sonucunda belirginliğini yitirmesi ile açıklanabilir. Bu nedenle, 500 °C'de 4 saat süreyle gerçekleştirilen menevişleme işlemi sonucunda elde edilen mikroyapı, daha homojen bir temperlenmiş martenzit morfolojisine yaklaşmış ve optik mikroskop incelemelerinde belirginliğini büyük ölçüde kaybetmiştir.

Anahtar Kelimeler: Menevişleme, C45E çeliği, Mikroyapı, Sertlik

1. GİRİŞ

Isıl işlem, katı fazdaki alaşımlara fiziksel veya mekanik özelliklerini iyileştirmek için yapılan işlemlerdir. Bir veya birden fazla basamağın kontrollü bir şekilde uygulanmasıyla gerçekleşen

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ısıtma ve soğutma işlemlerinin adıdır. Isıl işlem uygulamaları genellikle en az üç kademeden oluşmaktadır. Bu kademeler malzemenin belirlenen sıcaklığa kadar ısıtılması, bu sıcaklıkta uygun bir süre bekletilmesi ve kontrollü bir şekilde soğutulmasıdır. Çelik malzemelerde ısıl işlem uygulanmasının temel amacı; istenilen mikroyapıyı elde etmek, malzeme içerisinde bulunan iç gerilmeleri azaltmak, işlenebilirliği arttırmak ve mikro segregasyonu gidermektir. [1]

Menevişleme, su verme işlemi ile sertleştirilmiş bir malzemenin, alt kritik sıcaklığın (Ac_1) altında belirlenen bir sıcaklığa kadar ısıtılması, bu sıcaklıkta belirli bir süre tutulması ve ardından uygun soğutma koşulları altında kontrollü biçimde soğutulması esasına dayanan bir ısıl işlem sürecidir. Çeliklerde uygulanan bu işlemin amacı; sertleştirme ısıl işlemi sonrasında oluşan iç gerilmeleri azaltmak, mekanik özellikleri kullanım koşullarına uygun hale getirmek ve boyutsal kararlılığı sağlamaktır. Örneğin, normalizasyon işlemi sonrasında 26–37 HRC sertlik ve yaklaşık 140 J tokluk değerlerine sahip olan malzemenin, su verme işlemiyle oluşan martenzitik yapı sonucunda sertliğinin 59–70 HRC aralığına yükseldiği; buna karşılık tokluk değerinin önemli ölçüde azalarak en düşük seviyeye indiği görülmüştür. Menevişleme sonrasında ise sertlikte bir miktar düşüş olmakla birlikte tokluğun (80-150 J) iyileştiği görülmüştür. [1,2]

C45E çeliği işlenebilirliği yüksek mekanik uygulamalarda (otomotiv, makine, motor vb.) sıkça kullanılan ve ısıl işlem uygulanabilen alaşımsız karbon çeliğidir. Orta karbonlu çeliklere de yüksek sayılabilecek bir karbon oranına sahip olması sertliğinin ve mukavemeti yüksek olmasını sağlar. Bu yüksek sertlik, malzemenin sünekliğinin ve tokluğunun düşmesine sebep olur. C45E çeliği denge koşullarında ferrit ve perlit mikroyapısına sahiptir. Isıl işlemeler sonrasında bu yapının martenzit olması sonucunda çeliğin sertliği artar. Sertlikteki bu artış malzemenin içyapısının dengesiz ve kırılgan olmasına sebep olur. Bu kırılganlığı azaltmak ve yapıyı kararlı hale getirmek için menevişleme ısıl işlemi uygulanır. [1,3,4,6]

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, endüstride yaygın olarak tercih edilen C45E çeliği kullanılmıştır. Söz konusu çelik, sahip olduğu yüksek mukavemet ve iyi işlenebilirlik özellikleri sayesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. İmalat sürecinde yüksek işlenebilirlik sunması ve mekanik özelliklerinin alaşımsız çeliklere kıyasla daha üstün olması, bu malzemenin tercih edilmesinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca, başta mekanik uygulamalar olmak üzere krank milleri, cıvatalar, piston çubukları ve şanzıman parçaları gibi birçok farklı alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. [1,2,4,5] Deneysel çalışmada kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi, optik emisyon spektrometresi (OES) ile belirlenmiş olup, analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneysel çalışmada kullanılan C45E çeliğinin OES analizi ile belirlenen kimyasal kompozisyonu (% ağr.)

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al

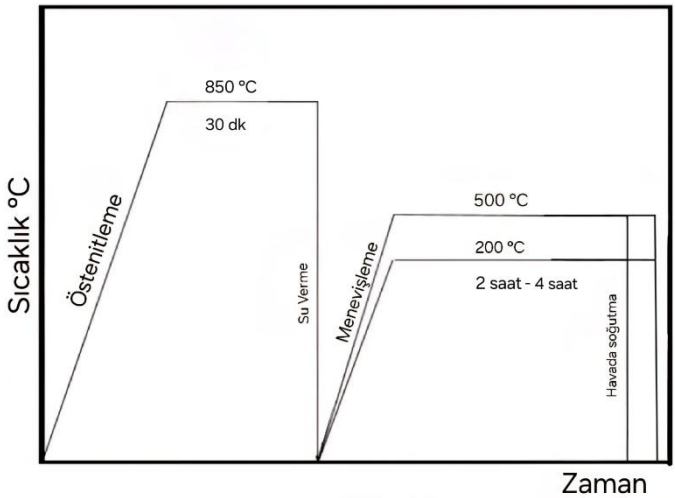
ISBN NR: 978-625-5694-96-6

97,900	0,520	0,323	0,685	0,013	0,038	0,153	0,068	0,092	0,033

2.1. Östenitleme ve Menevişleme Isıl İşlemleri

Östenitleme, malzemenin yapısının tamamen veya büyük ölçüde östenit fazına dönüştürülmesi amacıyla uygulanan bir ısıl işlem basamağıdır. Bu işlemde çelik, kritik dönüşüm sıcaklıklarının (Ac_1) üzerine ısıtılarak belirli bir süre bu sıcaklıkta tutulur ve böylece mevcut ferrit ve perlit fazları çözünerek östenit yapısı elde edilir. Östenitleme işlemini su verme adımı takip eder ve nihai mikroyapı ile mekanik özelliklerin belirlenmesinde kritik bir rol oynar. Östenitleme sırasındaki bekletme sıcaklığı ve süresi, östenit tane büyüklüğünü, karbonun çözünmesini ve homojen dağılımını doğrudan etkiler; bu parametreler ise su verme sonrası oluşacak martenzitik yapının sertlik, tokluk ve diğer mekanik özelliklerini belirler. Östenitleme ve su verme ısıl işleminin devamında ise menevişleme işlemi uygulanır.

Deneysel çalışmada kullanılan ısıl işlem çevrimi Görsel 1'de gösterilmiştir. Menevişleme işlemi sonunda martenzit yapısı temperlenmiş martenzit yapısına dönüşür. Temperlenmiş martenzit, martenzitin kendi yapısındaki karbonu bir miktar çözerek daha kararlı bir yapıya gelmesi durumudur. Eğer yapıda kalıntı östenit varsa bu yapı sıcaklığa bağlı olarak ferrit ve sementit yapısına dönüşebilir. Temper martenzit ve kalıntı östenitin kararlı hale gelmesinin en önemli faktörleri sıcaklık ve zamandır. Düşük menevişleme sıcaklarında temper martenzitten çok fazla karbon çözünmeyeceği için yapı daha sert ve mukavemeti daha yüksek olur bunun beraberinde sünekliği ve tokluğu düşük bir malzeme elde edilir. Meneviş sıcaklığı arttıkça yapı daha stabil ve homojen hale gelir, martenzit yapısı yumuşar ve sertlik, mukavemet azalır. Ancak malzeme daha sünek ve daha tok bir yapıya gelmiş olur. [1,3,4,5,6]



Görsel 1. Deneysel çalışmada uygulanan ısıl işlem çevrimi.

Menevişleme işlemi düşük, orta ve yüksek sıcaklıklar olarak farklı sıcaklıklarda yapılabilmektedir. Çeliğin mekanik özelliklerinin (süneklik, dayanım gibi) optimum olması için "termal iyileştirme" işlemi sonucunda mümkün olmaktadır. Bu yaklaşım optimum sertleşme ve optimum menevişleme kombinasyonları ile mümkündür. [7]

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

2.2. Önceki Östenit Tane Sınırı

Çelik malzemelerin en önemli özelliklerinden bir polimorfik olmalıdır. Yani çelikteki kafes yapıları sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Oda sıcaklığında hacim merkezli kübik (HMK) kafes yapısına sahip ferrit fazında bulunurken, yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezli kübik (YMK) sahip östenit yapısında bulunur. Çelik üretimi yapılırken, sıcak şekillendirme ve ısıl işlem kademeleri genellikle östenit fazının bulunduğu sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Alaşımsız çeliklerde soğuma işleminde yapı dönüşürken soğuma hızı ve malzemenin kimyasal bileşimine bağlı olarak ferrit, beynit veya martenzit yapısına dönüşür. Bu dönüşümlerin morfolojisi östenitin tane boyutu ve tane sınır faz davranışını etkiler bu sebeple fazın mikroyapısını ve morfolojisini etkiler. Östenit tanesi büyüdükçe tane sınırı azalır. Önceki östenit tane sınırın (ÖÖTS) az olması karbür çökeltilerinin daha az olmasına sebep olur bu da yapıdaki sertliği, homojenliği ve oluşacak yapının morfolojisini etkiler. ÖÖTS artması martenzit dönüşümünde, martenzit yapısını inceltebilir ve ayrıca martenzit başlama sıcaklığını düşürebilir bu sıcaklık düşüşü dönüşüm hızını arttırabilir. Bu nedenle önceki östenit tane (ÖÖT) boyutunu ve sınırını ölçebilmek ve mikroyapıda görebilmek çok önemlidir. Alaşımsız çeliklerde östenit, oda sıcaklığındaki nihai yapıda görülmez. Klasik yöntemler ile görünürlüğü sağlanmaz bu sebepten mikroyapıyı açığa çıkartabilmek için özel dağlama yöntemlerine başvurmak gerekmektedir. ÖÖT'i belirlemek için en yaygın kullanılan yaklaşımlardan biri metalografik yaklaşımlardır. Farklı yöntemler (termal dağlama gibi) kullanılsa da ekipman gereksinimi sebebi ile en yaygın metalografik yöntem kimyasal dağlamadır. [8]

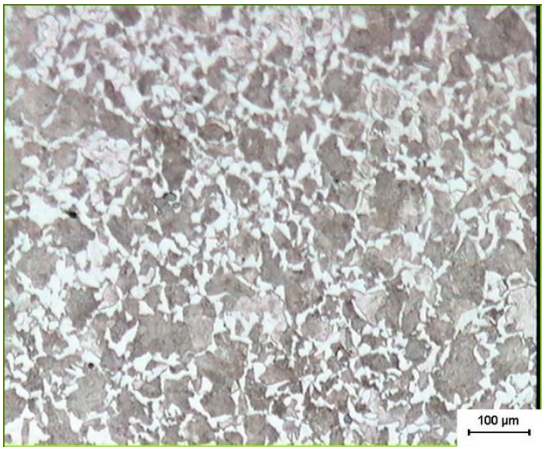
Düşük karbonlu martenzitik çeliklerde ÖÖTS'nın çekme dayanımı ve sertlik etkileri bazı yerlerde göz ardı edilebilse de dinamik yüklenme koşullarında önemli etkilere sahip olabilmektedir. ÖÖTS incelmesi literatürdeki çalışmalarda genel olarak mukavemet ve tokluk artışına sebep olduğu görülmüştür. Bu artışın dinamik yüklenme koşullarında da pozitif etki yapacağı gözlenmektedir. [9,10]

ÖÖTS'nin artması ve yapının incelmesi yeni oluşacak yapının da incelmesini beraberinde getirecektir. Bu incelme önceki östenit tane yapısındaki hiyerarşik yapıların (paket, blok ve lamel) da incelmesine doğal olarak oluşacak yapının morfolojisine etkisi fazladır. [10,11]

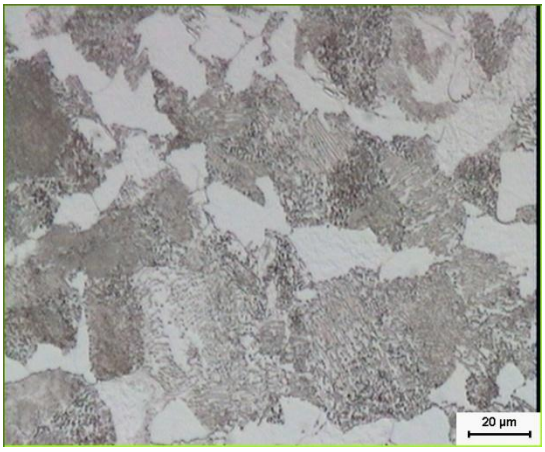
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan deneysel çalışmada mikroyapı görüntülerini net bir şekilde elde edebilmek için farklı dağlama yöntemleri denenmiş, ancak klasik yöntemlerle istenilen sonuçların elde edilemediği görülmüştür. Bu nedenle, literatür taramaları sonucunda elde edilen ve 10 g CrO_3, 50 g NaOH, 1,5 g pikrik asit ($(O_2N)_3C_6H_2OH$) ve 100 ml distile su bileşimine sahip olan farklı bir dağlama çözeltisi kullanılmıştır. Kullanılan bu çözeltide yapıların net bir şekilde ortaya çıktığı gözlenmiştir. Görsel 2'de ısıl işlemsiz ve ısıl işlemli C45E çeliğin optik mikroskop (OM) ile farklı büyütmelerde çekilmiş mikro yapı görüntüleri verilmiştir. [12]

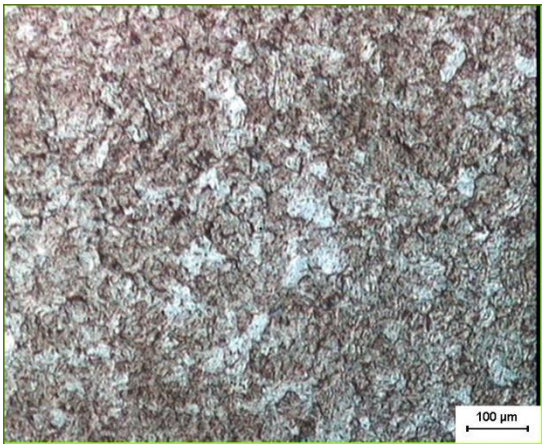
ISBN NR: 978-625-5694-96-6



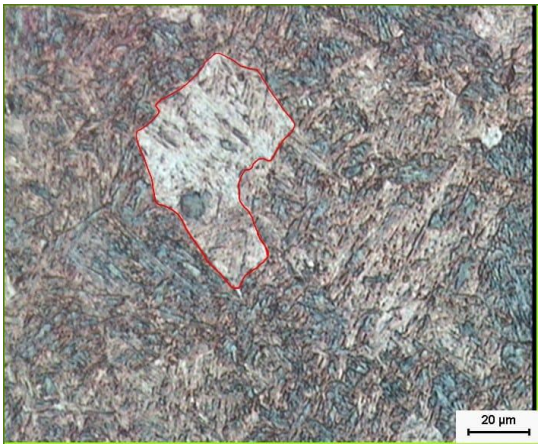
(a)



(b)

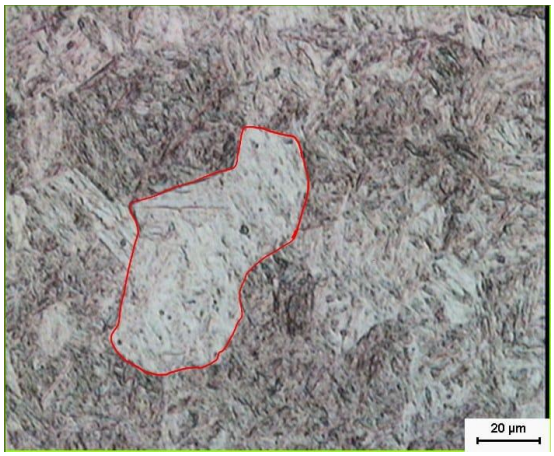


(c)



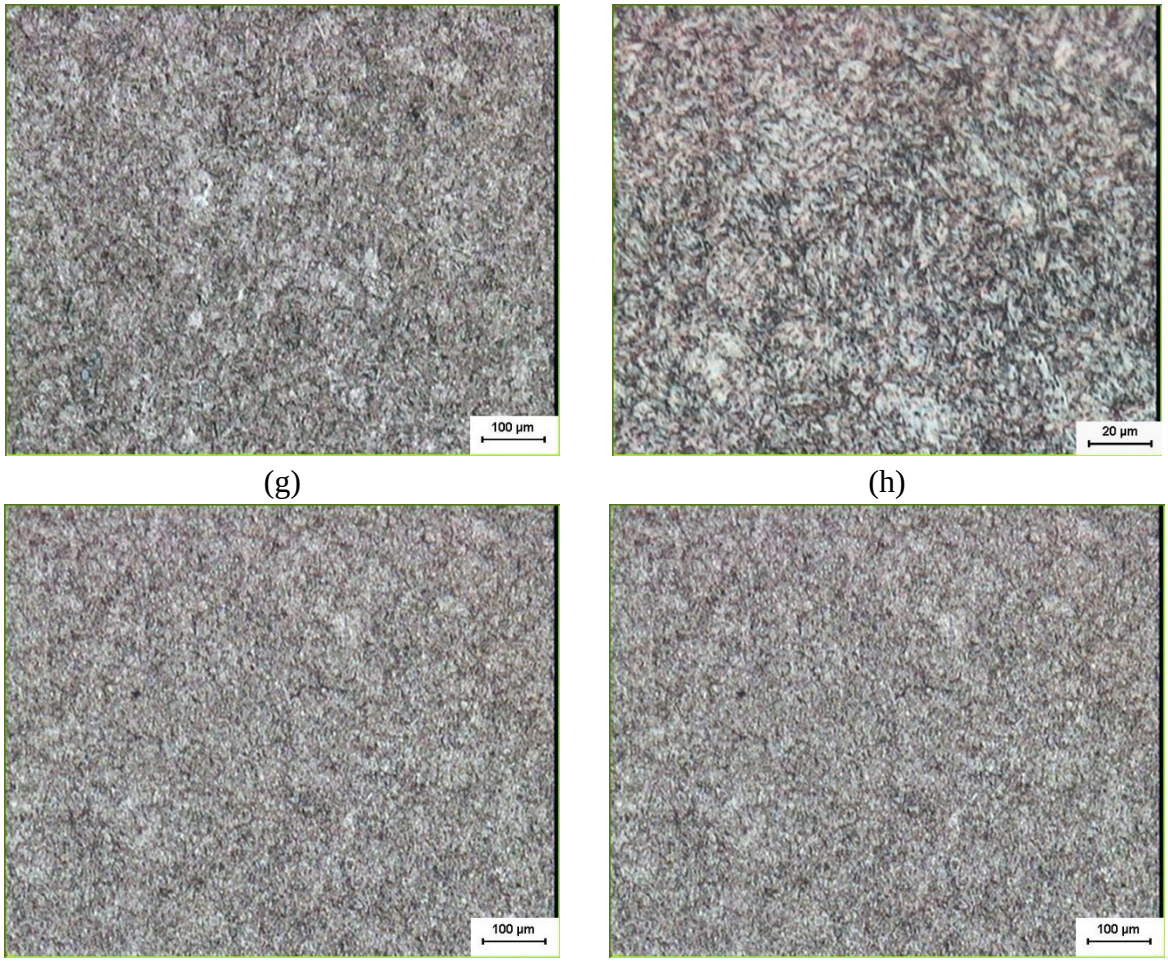
(d)

(e)



(f)

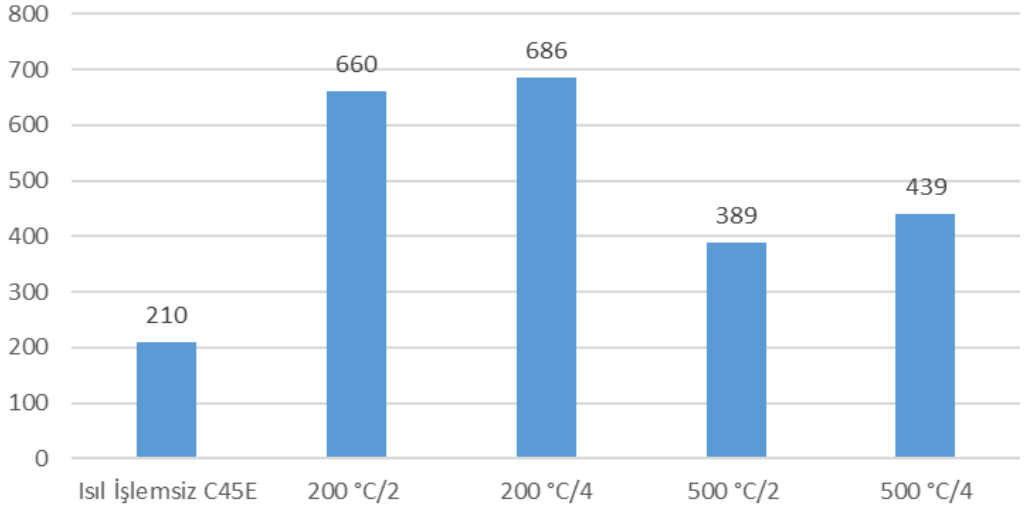
ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Görsel 2. Isıl işlemsiz ve ısıl işlemli C45E çeliği numunelerinin OM ile çekilmiş mikroyapıları görüntüleri; (a,b) ısıl işlem görmemiş numunenin 10x ve 50x görüntüleri, (c,d) 200 °C'de 2 saat menevişlenmiş numunenin 10x ve 50x görüntüleri, (e,f) 200 °C'de 4 saat menevişlenmiş numunenin 10x ve 50x görüntüleri, (g,h) 500 °C'de 2 saat menevişlenmiş numunenin 10x ve 50x görüntüleri, (ı,i) 500 °C'de 4 saat menevişlenmiş numunenin 10x ve 50x görüntüleri.

Yapılan mikroyapı incelemelerinin sonucunda 200 °C'de temperlenmiş numunelerin ÖÖTS yapısının korunduğunu ve uygun dağlama koşulları sağlandığında yapıdaki sınırların tespit edilebildiği görülmüştür. Ancak 500 °C'de sıcaklık artışı ile birlikte sınırların maskelenme etkisi gösterdiği ve görünürlüğünün azaldığı tespit edilmiştir.

Numunelerin makro Vickers sertlik değerleri ölçülmüş olup sonuçlar Görsel 3'de verilmiştir. Sertlik testlerinin sonucunda; 200 °C'de martenzit yapının korunması sebebi ile yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Bunun sebebi düşük sıcaklıkta karbon çözünürlüğünün düşük olması sebebi ile martenzit yapının ayrışamamasıdır. Buna karşılık 500 °C'de artan difüzyon hızı ile martenzit yapısı dönüşümü sağlanmış ve temperlenmiş martenzit yapısı elde edilmiştir. Aynı zamanda artan sıcaklıkla birlikte yapıdaki dislokasyon yoğunluğunun azalması sertliğin düşmesine sebep olmuştur.



Görsel 3. Numunelerin Vickers sertlik değerleri.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Deneysel çalışmanın sonucunda; yapılan menevişleme ısıl işleminin sıcaklık ve süre parametrelerinin ÖÖTS üzerindeki etkileri araştırılmış ve önemli bulgular elde edilmiştir. 200 °C'de uygulanan düşük sıcaklık temperleme işleminde, karbon difüzyonunun sınırlı olması nedeniyle ÖÖTS yapısı büyük ölçüde korunmuş ve yüksek dislokasyon yoğunluğu nedeniyle sertlik değerleri hâlâ yüksek seviyelerde kalmıştır. Bu durumda, oluşan ince geçiş karbürleri ve kısmi toparlanma, yapının genel sertliğine katkı sağlamıştır.

Temperleme sıcaklığı 500 °C'ye çıkarıldığında, karbon atomlarının difüzyon hızı artmış, martenzit içindeki dislokasyon yoğunluğu azalmış ve karbürler daha düzenli bir şekilde çökelmiştir. Bu süreç, mikroyapının daha homojen ve kararlı hâle gelmesini sağlamış, optik mikroskop ile yapılan incelemelerde ÖÖTS sınırlarının belirginliği azalmıştır. Sonuç olarak, yüksek sıcaklıkta temperleme ile oluşan homojenleşme ve yapısal yeniden yapılanma, sertlik değerlerinde belirgin bir azalmaya yol açmıştır.

KAYNAKÇA

[1] Çakır, G. (2023). Dövme yöntemi ile üretilen parçalarda alternatif ısıl işlem uygulamalarının araştırılması, Investigation of alternative heat treatment applications on parts manufactured by forging method (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).

[2] Mudda, S., Hegde, A., Sharma, S., Gurumurthy, B. M., & Poojary, U. R. (2026). A review of the latest developments regarding the heat treatment effects on hardness, impact toughness, and microstructure in AISI 1040, 4140, and 4340 medium carbon structural steels. *Discover Materials*.

[3] Luca, D., Sărbătoare, I. A., Munteanu, C., Lupu, F. C., Luca, D. D., & Țugui, C. A. (2025). Structure and Mechanical Properties of Tubular Steel Products Processed by Cold Rotary Swaging. Crystals, 15(10), 836.

[4] Klippel, H., Süssmaier, S., Zhang, N., Kuffa, M., & Wegener, K. (2024). Large-scale investigation of dry orthogonal cutting experiments Ti6Al4V and Ck45. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 135(5), 2871-2908.

[5] Şap, E., Usca, Ü. A., Değirmenci, Ü., Şap, S., & Uzun, M. (2025). Evaluation of machinability and energy consumption of CK45 steel using synthetic-based nanofluid and minimum quantity lubrication cutting fluid. Metals, 15(1), 36.

[6] Zhao, C., Zhang, X., Liang, X., Song, G., Wang, B., Guo, L., ... & Zhang, S. (2025). Effect of Tempering Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of Cr-Ni-Mo-V Rotor Steel. *Materials*, *18*(3), 555.

[7] Woźniak, W., Sąsiadek, M., Jachowicz, T., Edl, M., & Zając, P. (2022). Studies on the mechanical properties of C45 steel with martensitic structure after a high tempering process. *Advances in Science and Technology. Research Journal*, *16*(3).

[8] Bachmann, B. I., Müller, M., Britz, D., Durmaz, A. R., Ackermann, M., Shchyglo, O., Mücklich, F. (2022). Efficient reconstruction of prior austenite grains in steel from etched light optical micrographs using deep learning and annotations from correlative microscopy. *Frontiers in materials*, *9*, 1033505.

[9] Zemlik, M., Białobrzeska, B., & Konat, Ł. (2025). The effect of grain size on the mechanical properties and abrasion resistance of high-strength Hardox Extreme steel. *Advances in Science & Technology Research Journal*, *19*(9).

[10] Li, X., Lu, G., Wang, Q., Zhao, J., Xie, Z., Misra, R. D. K., & Shang, C. (2021). The effects of prior austenite grain refinement on strength and toughness of high-strength low-alloy steel. *Metals*, *12*(1), 28

[11] Park, S., Kim, J. G., Seol, J. B., & Sung, H. (2022). Ultrastrong and stress corrosion cracking-resistant martensitic steels. *Acta Materialia*, *239*, 118291.

[12] Hashmi, F. H., & Khan, A. Q. (1988). Simple technique for revealing prior austenite grain boundaries in CrMoV turbine rotor steels. *Metallography*, *21*(2), 233-235.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

SIL İŞLEM GÖRMÜŞ SARIÇAM'A FARKLI YAĞLAR NÜFUZ EDİLEREK BAHÇE MOBİLYALARINA ALTERNATİF OLUŞTURMASI

Yusuf YAŞAR

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, yusuf.yasar2@gazi.edu.tr - 0009-0008-3770-1931

Dr, Ramazan BÜLBÜL

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, ramazanbulbul@gazi.edu.tr – 0000-0003-4760-9166

Dr.Öğr.Üyesi, İbrahim PAZARKAYA

Afyon Kocatepe Üniversitesi, ipazarkaya@aku.edu.tr – 0000-0002-7046-2572

ÖZET

Bu projede, Türkiye'de yetişen yerli Sarıçam (*Pinus sylvestris*) ağacının, bahçe mobilyalarında sıkça tercih edilen Teak (*Tectona grandis*) odununa alternatif bir malzeme olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, sarıçam odununa 56°C ve 180°C ısıl işlem uygulanmış; ardından UV ışınlarına ve yağmur gibi dış etkenlere karşı dayanıklılığını arttırmak amacıyla kısa süreli daldırma yöntemiyle bezir yağı ve ayçiçek yağı nüfuz edilmiştir. Çalışma kapsamında; kontrol grubu, ısıl işlem görmüş ve yağ uygulanmış sarıçam örnekleri ile teak örneklerine yoğunluk, rutubet, liflere paralel basınç direnci, eğilme direnci, eğilme direncinde elastikiyet modülü ve dinamik eğilme direnci tayinleri yapılmıştır. Yapılan testlerde yağ uygulaması öncesinde sarıçam kontrol grubu ile 56°C ve 180°C ısıl işlem grubu örneklerinde hava kurusu yoğunluk değerleri sırasıyla 0,557 g/cm^3, 0,550 g/cm^3 ve 0,431 g/cm^3 tespit edilmiştir. Yağ uygulaması sonrasında ise bu değerler ayçiçek yağı grubunda sırasıyla 0,602 g/cm^3, 0,601 g/cm^3 ve 0,646 g/cm^3 olarak tespit edilmiştir. En yüksek dinamik eğilme direnci değeri Teak odununda 104,98 kJ/m^2 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, güncel demonte sistemlere uygun bir bahçe mobilyası tasarlanmıştır. Tasarlanan bahçe mobilyası Ansys Workbench programında elde edilen verilerle malzeme özellikleri ve uygun temas yüzeyleri tanımlanarak arkalık statik mukavemet testi ve kolçak mukavemet testi sonlu elemanlar metodu ile uygulanmıştır ve toplam deformasyonlar gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sarıçam, Teak, Bezir ve Ayçiçek Yağı, Sonlu Elemanlar Analizi, Fiziksel ve Mekanik Testler

1. GİRİŞ

Ahşap sahip olduğu bazı avantajları sayesinde birçok kullanım yerinde tercih edilen önemli bir malzemedir. Ancak, biyotik ve abiyotik faktörlerin zaman içerisindeki etkisiyle ahşapta bazı bozulmalar görülmektedir. Bu sebeple, ahşabın mantar, böcek ve diğer iklim koşullarının etkilerinden dolayı korunması gerekmektedir. Örneğin, koruma yöntemlerinden birisi olan ısıl işlem ahşabın bazı özelliklerini olumlu yönde artırmaktadır [1].

Termal modifikasyona uğramış odunun fiziksel ve mekaniksel özellikleri kalıcı olarak değişmektedir. Bu değişim hemiselülozun termik degradasyonundan kaynaklanmaktadır. Bu değişim yaklaşık olarak 150°C'de elde edilmeye başlanır ve sıcaklığın artmasıyla değişmeye devam etmektedir. Termal modifikasyonda sıcaklık en önemli etkendir. Bunun yanında ağaç türü, ısıl işlem süresi, işlem atmosferi, basınç, rutubet miktarı ve sıcaklığın eşit dağılımı sonucu doğrudan etkilemektedir [2].

Odunun ısıtılması eski çağlardan beri ahşabın kurutması ve özelliklerin modifiye edilmesinde kullanılan bir metottur. Günümüzde de ısı muamelesi aynı nedenlerden dolayı endüstriyel olarak kullanılmaktadır. 150 °C ve üstündeki sıcaklıklardaki muamelelerle odunun rengi değiştirilebilmekte, biyolojik direnç ve boyutsal stabilizasyon iyileştirilebilmektedir. Fakat odunun mekaniksel özelliklerinde kayıplar olmakta ve odunun kimyasal yapısı değişmektedir. Bu dezavantaj ısıyla muamele edilmiş odunun, kullanım yerini sınırlamaktadır. Dünya'da en yaygın kullanılan muamele metodu "Thermowood" olarak adlandırılmakta ve muamele su buharı altında yapılmaktadır. Bu yöntem Finlandiya'da kullanılan ve patenti de bu ülkeye ait olan endüstriyel bir metottur [3].

Odunu tahrip eden mantarların odundaki optimal su ihtiyacı genellikle % 30 – 60 arasındadır. Ancak gerçek ev çürüklüğü mantarı (merulius lacrimans) yaşadığı ağaç malzemeyi damla halinde su üreterek kendisi nemlendirerek yaşamakta olduğundan optimal su ihtiyacı %20'dir. Önemli mantarların yaşayacabileceği en yüksek sıcaklık 38 – 39 °C'dir. Ev çürüklüğü mantarının 26-27 °C'de gelişmesi yavaşlar. Böcek zararının görünmesi halinde keresteler 60 – 65 °C sıcaklıkta fırında ısıtılır [4].

Isıl işlemin, neme, haşaratların atağına ve çürümeye karşı bir ahşap modifikasyon yöntemi olarak uzun zamandan beri kullanıldığı bilinmektedir. Ancak, yüksek sıcaklık ve uzun süreli ısıl işlem uygulamaları mekanik özelliklerde önemli oranda kayıplara neden olmaktadır. Bu durum dikkate alınarak, farklı sıcaklık derecesi ve sürelerde ısıl işlemin ahşap malzemenin özelliklerine etkileri literatüre bakıldığında araştırılmaya devam ettiği anlaşılmaktadır [5].

Su iticilik sağlayan muameleler ise, odunun su alımını kontrol etmeye veya önlemeye yöneliktir. Odunda su itici bir bariyer oluşturularak, su alma oranı önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Kullanılan maddelere ve miktarlarına bağlı olarak, su itici maddeler hücre boşluklarını doldurmakta, dış yüzeylerde ve kısmi olarak iç yüzeylerde depolanmaktadır. Böylece odun yüzeyi hidrofobik özellik göstermekte ve su alma oranı azaltılabilmektedir [6]. Panov ve arkadaşları odun tarafından absorbe edilen yağ miktarı artışı ile azalan su alma oranı arasında önemli bir korelasyon olduğunu, ancak odun tarafından absorbe edilen yağ ile

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

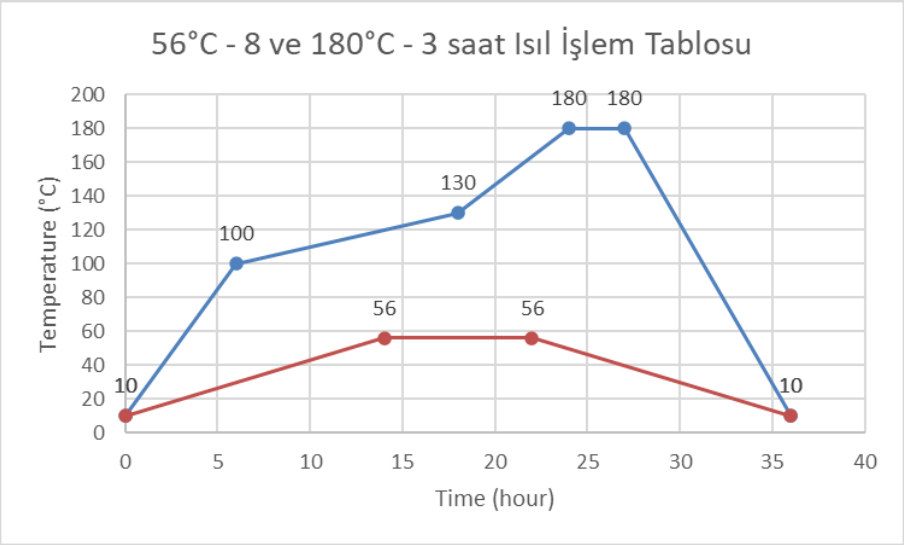
daralmayı önleyici etkinlik (DÖE) arasında bir korelasyon olmadığını bunun da bezir yağının, mekanik olarak hücre boşluklarına suyun girişini engellediğinden ve odun hücre çeperi bileşenleri ile bir bağ oluşturmamasından kaynaklı olduğunu [7] bildirmişlerdir.

Sonlu Elemanlar Metodu (SEM) mühendislikte malzemelerin veya sistemlerin dış etkenlere (kuvvet, ısı, elektrik, vb.) karşı davranışlarının analizinde kullanılan nümerik bir yöntemdir. SEM yapısal statik hesaplamalarda rijitlik matrisi (K) ile deformasyonlar matrisinin (u) kuvvetler matrisine (F) eşitlenmesi ile kurulan matematik modelin nümerik çözümünü içerir [8].

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada, sarıçam ve teak odunları, planlanan fiziksel ve mekanik testler öncesinde şerit testerede kaba kesim ile dilimlenmiştir. Kaba kesim işleminin ardından sarıçam örnekleri Atria marka bir ısıl işlem fırınında ısıl işlem uygulanmıştır (Görsel 1). Isıl işlem 3 safha olacak şekilde gerçekleştirilmiş olup, örnekler sırasıyla 56°C'de 8 saat ve 180°C'de 3 saat süreyle toplamda her aşama 36 saat sürecek şekilde ısıl işlem uygulanmıştır. Uygulanan ısıl işleme ait safhalar Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Isıl İşlem Tablosu



Isıl işlem süreçlerinin tamamlanmasının ardından, parçalar şerit testere yardımıyla 2,5 cm kalınlığında olacak şekilde dilimlenmiştir. Bir yüz bir cumba temizliği için planya makinesine, ardından tüm parçaların 2 cm olan net kalınlıklarına getirilmesi için kalınlık makinesinden geçilmiştir. Kalınlık ölçüleri tamamlanan parçalar, gerçekleştirilecek her bir fiziksel ve mekanik testin gerektirdiği 2x2x3 cm, 2x2x30 cm ve 2x2x35 cm ebatlarına uygun olacak şekilde daire testere makinesinde boyutlandırılmıştır.

Boyutlandırma işlemi biten test numunelerine uygulanacak yağ işlemi, kısa süreli daldırma yöntemi esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler, hazırlanan yağ banyosu içerisinde 10 dakika süreyle tam daldırma işlemine tabi tutulmuştur. Sürenin bitiminde banyodan çıkarılan parçalar, yüzeylerindeki fazla yağın süzülmesi amacıyla 10 dakika boyunca askıda

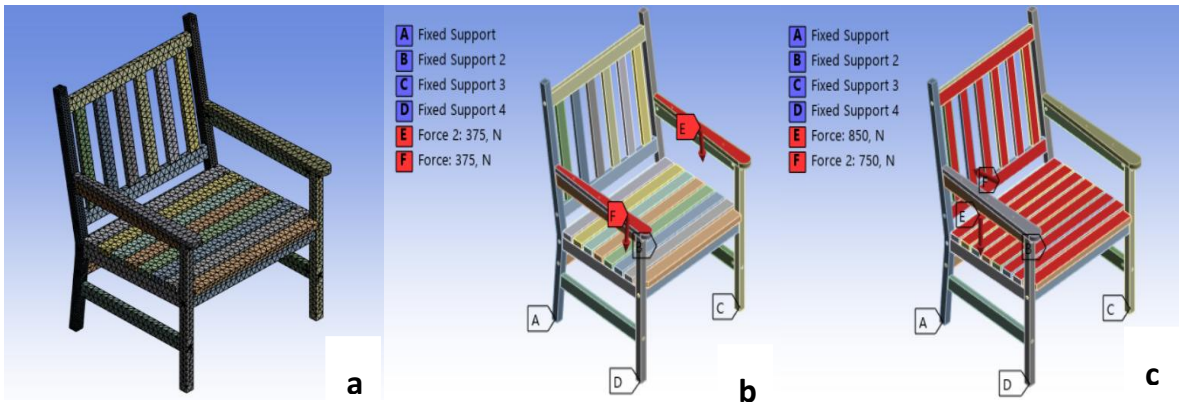
ISBN NR: 978-625-5694-96-6

bekletilmiştir. Son aşamada ise numune yüzeylerinde kalan yağ kalıntıları fiziksel olarak temizlenerek numuneler mekanik testler için hazır hale getirilmiştir (Görsel 1).

Görsel 1. a) Isıl işlem fırını b) Kısa süreli daldırma metoduyla yağ uygulaması yapılan deney parçaları c) Fazlalık yağın akması için askıda bekletilen parçalar

Elde edilen fiziksel ve mekanik verilerin Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) yöntemiyle simüle edilmesi amacıyla ANSYS Workbench yazılımı tercih edilmiştir. Bu kapsamda, güncel demonte mobilya üretim standartlarına uygun bir bahçe mobilyası tasarlanmıştır. Tasarlanan modelin köşe birleştirme ve montaj noktalarında; 10x14 mm silindir somun çektirme takımı, ahşap kavela, kolçak ve alt kayıt birleştirmesinde ise inbus cıvata ve minifix dübel bağlantı elemanları tercih edilmiştir.

Analiz programında sınır şartları ve temas tanımlamaları oluşturulurken, ahşap bileşenlerin birbirleriyle olan yüzey etkileşimleri “frictional” olarak tanımlanmış ve ahşap-ahşap arası sürtünme katsayısı olarak 0,4 [9] kabul edilmiştir. Ahşap ve kavela arasında “no seperation”, sistem bütünlüğünü sağlayan zamak bağlantı elemanları ile ahşap arasındaki etkileşimler ise “bonded” olarak ayarlanmıştır. Simülasyonun malzeme tanımlama aşamasında, ahşap elemanlara ait giriş verileri (elastikiyet modülü, yoğunluk vb.) laboratuvar ortamında gerçekleştirilen fiziksel deney sonuçlarından doğrudan sisteme aktarılmıştır. Ahşap kavela haricinde sistemde yer alan diğer tüm metal bağlantı elemanlarının malzeme özellikleri ise Zamak alaşımı olarak atanmış [10] ve analiz çözümleri bu parametreler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir (Görsel 2). Analizler toplam 127122 düğüm noktası ve 64053 elementten oluşmaktadır. Görsel 2’de mesh yapısı gösterilmektedir.



ISBN NR: 978-625-5694-96-6

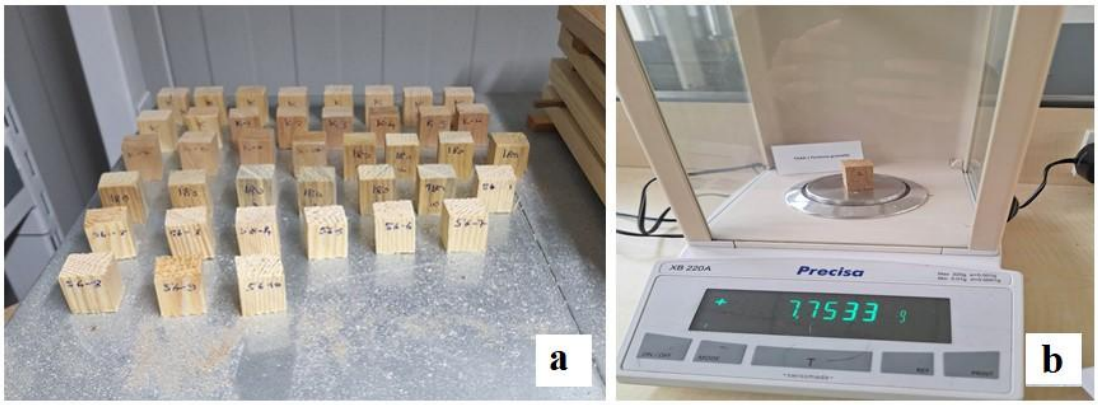
Görsel 2. a) Sandalye mesh yapısı b) Sandalyeye uygulanan kolçak testi mesnet noktaları ve uygulanan kuvvetler c) Sandalyeye uygulanan arkalık testi mesnet noktaları ve uygulanan kuvvetler

2.1. Yoğunluk Tayini

Deney örneklerinin yoğunluklarının belirlenmesi amacıyla TS ISO 13061-2'de [11] belirtilen esaslara uyulmuştur. Sarıçam kontrol grubu, ısıl işlem grubu, yağ uygulaması grubu ve teak parçalarından 5 adet olmak üzere 20×20×30 mm ölçülerinde toplam 50 adet örnek hazırlanmıştır (Görsel 3). Hazırlanan parçalar 1 hafta boyunca değişmez ağırlığa gelinceye kadar %65±5 bağıl nemde ve 20±2 °C'deki iklimlendirme odasında istifte bekletilmiştir. Böylece örneklerin rutubetli (W: %12 hava kurusu yoğunluğu) ağırlıkları (mW) tespit edilmiştir. Daha sonra bu örneklerin boyutları ± 0,01 mm duyarlıklı dijital kumpas ile ölçülerek hacimleri (VW) hesaplanmıştır. Hesaplaması ise Eşitlik 1'e göre yapılmıştır.

$$P_w = \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot c_w} = \frac{m_w}{v_w}\ g/cm^3 \tag{1}$$

Burada; P_w = Yoğunluk (g/cm^3), m_w = Hava kurusu kütle (g) ve v_w = Hava kurusu hacim (cm^3) olarak hesaplanmıştır.



Görsel 3. a) Hazırlanan deney numuneleri b) Ağırlık ölçümü

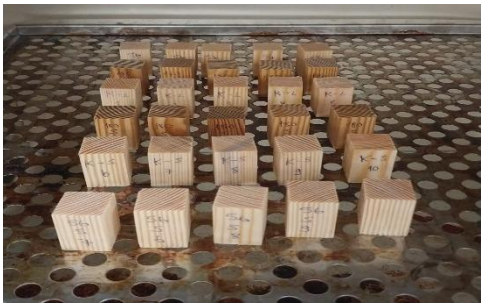
2.2 Rutubet Tayini

Deney örneklerinin rutubetlerinin belirlenmesi amacıyla TS ISO 13061-1' de [12] belirtilen esaslara uyulmuştur. Kurutmadan önce test parçasının başlangıç kütlesi ($m1$), g cinsinden ve deney parçasının etüv fırınında değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş kütlesi ($m2$),g cinsindendir. Rutubetin belirlenmesi için; Eşitlik 2 kullanılmıştır. Görsel 4'te etüv fırınında bekletilen deney numuneleri gösterilmektedir.

$$W, \% = \frac{m_1 - m_2}{m_2}\ x\ 100 \tag{2}$$

Burada; W = Rutubet (%), m_1 = Başlangıç kütlesi (mm) ve m_2 = Fırında kurutulduktan sonraki kütle (mm) olarak hesaplanmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



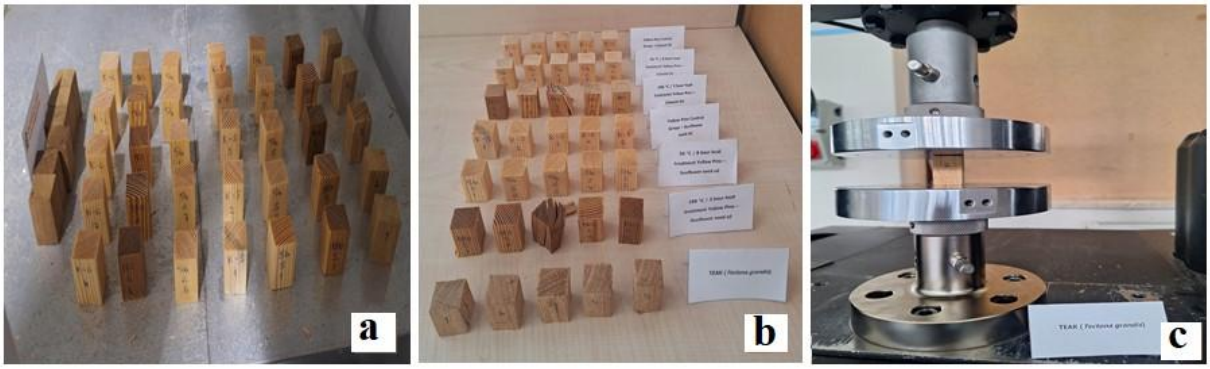
Görsel 4. Etüv cihazında kurumaya bekletilen deney numuneleri

2.3. Liflere Paralel Basınç Direnci Tayini

Basınç dirençlerinin belirlenmesinde, TS ISO 13061-17 [13] standardı esaslarına uyulmuştur. Liflere paralel basınç direnci deneylerinde 20×20 mm en kesitli ve lifler yönünde 30mm uzunluğundaki numuneler kullanılmıştır. Basınç direnci hesaplanırken Eşitlik 3 kullanılmıştır. Deneylerde ezilme anındaki maksimum kuvvet ($Fmax$) ve örnek enine kesit alanı ($a \times b$) için basınç direnci (σc, 0, W) şeklindedir.

$$\sigma c, 0, W = \frac{F_{max}}{a \cdot b} \; N/mm^2 \tag{3}$$

Burada; σ_c, 0, W = Basınç direnci (N/mm^2), F_{max} = Ezilme anındaki maksimum kuvvet (N), a = Deney parçasının genişliği (mm) ve b = Deney parçasının kalınlığı (mm) olarak hesaplanmıştır. Görsel 5'te basınç testi deney numuneleri ve deney test düzeneği gösterilmektedir.



Görsel 5. a) İklimlendirme odasında bekletilen deney numuneleri b) Basınç testi sonrası deney numuneleri c) Basınç testi deney düzeneği

2.4. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü Tayini

Eğilme direncinde TS ISO 13061-3'de [14] belirtilen esaslara uyulmuştur. Deney örnekleri, ağaç malzemeler için 350×20×20 mm, ölçülerinde olmak üzere her parçadan 5'er adet olmak üzere toplam 50 adet örnek hazırlanmıştır. Deneylerde yük numunelerin tam ortasından uygulanmıştır. Eğilme direnci Eşitlik 4'e göre hesaplanmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

$$\sigma_{bW} = \frac{3 \cdot P_{max} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \; N/mm^2 \tag{4}$$

Burada; σ_{bW}= Eğilme direnci (N/mm^2), P_{max} = Kırılma anındaki maksimum kuvvet (F), l = Mesnetlerin merkezleri arası mesafe (mm), b = Deney parçasının genişliği (mm) ve h = Deney parçasının kalınlığı (mm) olarak hesaplanmıştır.

Eğilme deneylerinde, eğilmede elastikiyet modülü değerleri de hesaplanmıştır. Bu amaçla, masif ağaç malzemelerde TS ISO13061-4'te [15] belirtilen esaslara uyulmuştur. Elastikiyet modülü(EW), yükler değiştirme eğrisinin doğrusal kısmından yararlanılarak hesaplanmıştır., Elastikiyet modülü Eşitlik 5'e göre hesaplanmıştır.

$$E_W = \frac{P \cdot l^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot f} \; N/mm^2 \tag{5}$$

Burada; E_W = Elastikiyet modülü (N/mm^2), P = Yüklemenin üst ve alt sınırları arasındaki farka eşit yük (F), l = Desteklerin merkezleri arasındaki mesafe (mm), b = Test parçasının genişliği (mm), h = Test parçasının kalınlığı (mm) ve f = Yüklemenin üst ve alt sınırları arasındaki farka karşılık oluşan yer değiştirme miktarı (mm) olarak hesaplanmıştır. Görsel 6'da eğilme direnci testi ve öncesi deney numuneleri ve deney düzeneği gösterilmektedir.

Görsel 6. a) Statik eğilme testi öncesi deney numuneleri b) Statik eğilme testi sonrası deney numuneleri c) Statik eğilme test deney düzeneği

2.5. Dinamik Eğilme Direnci Tayini

Dinamik eğilme direnci hesaplanırken TS ISO 13061 – 10 [16] esaslarına uyulmuştur. Deney örnekleri, ağaç malzemeler için 300×20×20 mm, ölçülerinde olmak üzere 5'ar adet olmak üzere toplam 50 adet örnek hazırlanmıştır. Dinamik eğilme direnci Eşitlik 6'ya göre hesaplanmıştır.

$$A_W = \frac{1000 \cdot Q}{b \cdot h} \; kj \,/\, m^2 \tag{6}$$

Burada; A_W = Dinamik eğilme şok direnci (kj/m^2), Q = Deney örneğinin kırıldığı andaki iş miktarı (J), b = Test örneğinin genişliği (mm) ve h = Test örneğinin kalınlığı (mm) olarak

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

hesaplanmıştır. Görsel 7'de dinamik eğilme testi sonrası deney numuneleri ve deney test düzeneği gösterilmektedir.

Görsel 7. a) Dinamik eğilme direnci sonrası deney numuneleri b) Dinamik eğilme test düzeneği

3. BULGULAR

3.1. Hava Kurusu Yoğunluk, Tam Kuru Yoğunluk ve Rutubet Değerleri

TS ISO 13061- 1 [12] ve TS ISO 13061- 2 [11] göre tespit edilen hava kurusu yoğunluk, tam kuru yoğunluk ve rutubet değerlerine ilişkin sayısal değerler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Hava Kurusu Yoğunluk (HKY), Tam Kuru Yoğunluk (TKY) ve Rutubet Değerleri

Tür	Isıl İşlem	Yağ	N	HKY X_{ort} (g/cm^3)	TKY X_{ort} (g/cm^3)	X_{ort} (%)
Teak	-	-	5	0,623	0,588	9,11
Sarıçam	-	-	5	0,557	0,533	10,22
	56°C / 8 saat	-	5	0,550	0,503	11,05
	180°C / 3 saat	-	5	0,431	0,424	2,80
	-	Bezir	5	0,577	0,550	14,50
	56°C / 8 saat	Bezir	5	0,613	0,582	11,35
	180°C / 3 saat	Bezir	5	0,647	0,627	8,84
	-	Ayçiçek	5	0,602	0,569	15,16
	56°C / 8 saat	Ayçiçek	5	0,601	0,567	12,13
	180°C / 3 saat	Ayçiçek	5	0,646	0,617	8,11

Bu çalışmada kullanılan teak ve sarıçam numunelerine ait hava kurusu yoğunluk, tam kuru yoğunluk ve rutubet değerleri deneysel ölçümler temelinde incelenmiştir. Odun türü, ısıl işlem uygulaması ve yağ uygulamasının hava kurusu yoğunluk, tam kuru yoğunluk ve rutubet değerlerinde belirleyici bir etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 2'ye göre; kontrol grubu teak odununun hava kurusu yoğunluk değeri 0,623 g/cm³, tam kuru yoğunluk değeri ise 0,588 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, herhangi bir ısıl işlem veya yağ uygulaması görmemiş kontrol grubu sarıçam odununa ait hava kurusu yoğunluk değeri 0,557 g/cm³, tam kuru yoğunluk değeri ise 0,533 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Orta ağırlıktaki ağaçların yoğunluk değerleri 0,50 g/cm³ ile 0,69 g/cm³ [17] arasında olduklarından,

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

hem teak hem de işlem görmemiş sarıçam odunları mevcut yoğunluk değerlerine bağlı olarak bu sınıflandırmaya tabi tutulabilir.

Isıl işlemin sarıçam odunu üzerindeki etkileri incelendiğinde; 180°C / 3 saat parametrelerinde uygulanan ısıl işlemin odun yoğunluğunda belirgin bir düşüşe neden olduğu görülmüştür. Bu işlem grubunda sarıçamın hava kurusu yoğunluğu 0,431 g/cm³'e gerileyerek hafif ağaçların yoğunluk değeri 0,30 g/cm³ ile 0,49 g/cm³ [17] arasında olduğu söylenebilir.

Sarıçam odununa uygulanan bezir ve ayçiçek yağı işlemlerinin yoğunluk kayıplarını telafi ettiği tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklıktaki ısıl işlem koşullarına (180°C / 3 saat) maruz bırakılmasına rağmen, bezir yağı uygulanan sarıçam örneklerinin hava kurusu yoğunluk değeri 0,647 g/cm³, ayçiçek yağı uygulanan örneklerin ise 0,646 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Bu veriler ışığında, yağ uygulamalarının ısıl işlem kaynaklı kütle kayıplarını dengelediği ve sarıçam odununu yoğunluk değerine bağlı olarak yeniden orta ağırlıktaki ağaçlar sınıfına dahil ettiği belirlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada, ısıl işlem sıcaklığındaki artışa bağlı olarak, sarıçam odunu yoğunluğunun kontrol grubuna kıyasla azaldığını tespit edilmiştir [5]. Başka bir çalışmada ısıl işlemin ağaç malzemelerin hava kurusu yoğunluk ve tam kuru yoğunluk özelliklerini önemli oranda düşürdüğünü belirtmişlerdir [18]. Bu çalışmada ise elde edilen bulgular ısıl işlemin hava kurusu yoğunluk ve tam kuru yoğunluk değerlerinde ısıl işlem sıcaklığının yüksek olması sonucu azaldığını göstermektedir.

3.2. Elastikiyet Modülü Değerleri

Yapılan çalışmada ilgili standartlar esas alınarak tespit edilen teak ve sarıçam odununun elastikiyet modülüne ait sayısal veriler Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Elastikiyet Modülü Değerleri

Tür	Isıl İşlem	Yağ	N	Elastikiyet Modülü (N/mm²)			
				X_{min}	X_{max}	X_{ort}	Std.Sp.
Teak	-	-	5	10739,46	14694,91	**12455,50**	1579,11
Sarıçam	-	-	5	11408,64	15309,74	**13464,04**	1854,67
	56°C / 8 saat	-	5	13137,86	17396,90	**17396,90**	1574,66
	180°C / 3 saat	-	5	14447,67	16537,10	**15612,97**	867,89
	-	Bezir	5	14527,20	15993,69	**15182,68**	556,27
	56°C / 8 saat	Bezir	5	10578,64	15055,12	**12710,93**	1622,14
	180°C / 3 saat	Bezir	5	7169,18	14501,45	**10543,94**	3215,83
	-	Ayçiçek	5	15145,42	17321,92	**15940,72**	860,11
	56°C / 8 saat	Ayçiçek	5	7651,90	15527,79	**11478,16**	3574,15
	180°C / 3 saat	Ayçiçek	5	14877,82	17081,32	**16093,30**	806,50

Çizelge 3 incelendiğinde, teak odununun ortalama elastikiyet modülü değeri 12455,50 N/mm² iken, herhangi bir işlem görmemiş kontrol grubu sarıçam odununun 13464,04 N/mm² olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, doğal haldeki sarıçam odununun teak odununa kıyasla eğilmede daha esnek/dirençli bir yapı sergilediği söylenebilir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Sarıçam odununa uygulanan ısıl işlem parametrelerinin mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelendiğinde; yağ uygulaması olmayan 56°C'de 8 saat ısıl işlem gören örneklerin elastikiyet modülü değerinin 17396,90 N/mm²'ye yükseldiği belirlenmiştir. Bu değer, çalışmada elde edilen en yüksek elastikiyet modülü olup, malzemenin bu işlem sonucunda mekanik direncini artırdığını göstermektedir. Ancak, uygulanan ısıl işlem sıcaklığı 180°C'de 3 saate çıkarıldığında bu değerin 15612,97 N/mm²'ye gerilediği tespit edilmiştir.

Yağlı ısıl işlemlerin etkilerine bakıldığında ise özellikle bezir yağı uygulamalarında mekanik özelliklerde belirgin düşüşler gözlemlenmiştir. 180°C / 3 saat ısıl işlem uygulanan bezir yağlı sarıçam örneklerinin elastikiyet modülü 10543,94 N/mm² değerini görmüştür. Yüksek sıcaklıkta bezir yağı ile muamele edilen sarıçam odununun, kontrol grubuna ve diğer işlem gruplarına kıyasla daha kırılgan bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Buna karşın, ayçiçek yağı nüfuz edilmiş ve 180°C / 3 saat ısıl işlem görmüş sarıçam örneklerinde elastikiyet modülünün 16093,30 N/mm² gibi yüksek bir değerde kaldığı görülmektedir. Bu da ayçiçek yağının, yüksek sıcaklığın getirdiği mekanik zayıflama etkisine karşı bezir yağına göre çok daha başarılı bir koruma sağladığı söylenebilir.

Tropikal Kereste Atlasına göre Teak ağacının elastikiyet modülü 13740 N/mm^2 olarak hesaplanmıştır [19]. Bu değer yaptığımız çalışmada bulunan değerin altında bir sonuç vermiştir.

3.3. Eğilme Direnci Değerleri

Yapılan çalışmada ilgili standartlar esas alınarak tespit edilen teak ve sarıçam odununun statik eğilme direncine ait sayısal veriler Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Statik Eğilme Direnci Değerleri

Tür	Isıl İşlem	Yağ	N	Eğilme Direnci (N/mm^2)			
				X_{min}	X_{max}	X_{ort}	Std.Sp.
Teak	-	-	5	104,73	129,42	**116,77**	9,83
Sarıçam	-	-	5	92,32	129,09	**109,80**	14,67
	56°C / 8 saat	-	5	105,04	123,52	**115,44**	7,81
	180°C / 3 saat	-	5	108,52	123,24	**116,20**	6,14
	-	Bezir	5	75,95	124,05	**110,92**	20,02
	56°C / 8 saat	Bezir	5	76,24	108,20	**93,72**	11,45
	180°C / 3 saat	Bezir	5	34,99	109,30	**70,21**	29,33
	-	Ayçiçek	5	102,25	127,26	**114,96**	10,33
	56°C / 8 saat	Ayçiçek	5	54,90	110,48	**74,28**	25,36
	180°C / 3 saat	Ayçiçek	5	119,21	146,10	**129,13**	10,23

Çizelge 4 incelendiğinde, teak odununun ortalama eğilme direnci 116,77 N/mm² iken, herhangi bir işlem uygulanmamış kontrol grubu sarıçam odununun eğilme direnci 109,80 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Bu durum, doğal haldeki teak odununun eğilme dayanımının sarıçam odununa kıyasla bir miktar daha yüksek olduğunu göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Sarıçam odununa yağ uygulaması olmadan yapılan ısıl işlemlerin eğilme direnci üzerindeki etkisi incelendiğinde; 56°C / 8 saat uygulamasında değerin 115,44 N/mm²'ye, 180°C / 3 saat uygulamasında ise 116,20 N/mm²'ye yükseldiği belirlenmiştir. Bu veriler, tek başına uygulanan ısıl işlemin sarıçam odununun eğilme direncini kontrol grubuna göre bir miktar artırdığını ortaya koymaktadır. Ancak, ısıl işlem ve yağ uygulamalarının kombine etkileri incelendiğinde oldukça farklı sonuçlar elde edilmiştir. Sarıçam odununa bezir yağı uygulanıp 180°C'de 3 saat ısıl işleme maruz bırakıldığında, eğilme direnci değerinin tabloda tespit edilen en düşük seviye olan 70,21 N/mm²'dir. Direnç değerindeki bu keskin düşüş, yüksek sıcaklıkta bezir yağı ile muamele edilen odunun mekanik dayanımını kaybederek diğer işlem gruplarına kıyasla daha kırılgan bir yapıya sahip olduğu söylenebilir.

3.4. Dinamik Eğilme Direnci Değerleri

Yapılan çalışmada ilgili standartlar esas alınarak tespit edilen teak ve sarıçam odununun dinamik eğilme direncine ait sayısal veriler Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Dinamik Eğilme Direnci Değerleri

Tür	Isıl İşlem	Yağ	N	Dinamik Eğilme Direnci (kJ/m²)			
				X_{min}	X_{max}	X_{ort}	Std.Sp.
Teak	-	-	5	94,83	114,75	**104,98**	7,55
Sarıçam	-	-	5	62,15	82,96	**71,50**	9,86
	56°C / 8 saat	-	5	83,01	99,08	**91,08**	6,59
	180°C / 3 saat	-	5	47,23	63,30	**54,73**	7,75
	-	Bezir	5	56,27	77,10	**66,55**	7,40
	56°C / 8 saat	Bezir	5	56,80	71,54	**65,60**	5,53
	180°C / 3 saat	Bezir	5	27,64	77,30	**61,03**	20,36
	-	Ayçiçek	5	43,44	97,45	**69,25**	19,87
	56°C / 8 saat	Ayçiçek	5	29,84	71,57	**53,82**	16,17
	180°C / 3 saat	Ayçiçek	5	30,78	43,05	**36,28**	4,98

Çizelge 5 incelendiğinde, teak odununun ortalama dinamik eğilme direnci 104,98 kJ/m² iken, herhangi bir işlem görmemiş kontrol grubu sarıçam odununun direnci 71,50 kJ/m² olarak tespit edilmiştir. Bu durum, doğal haldeki teak odununun dinamik yüklere ve ani darbelere karşı sarıçam odununa kıyasla oldukça yüksek bir şok direncine sahip olduğunu göstermektedir.

Sarıçam odununa yağ uygulaması olmadan yapılan ısıl işlemlerin dinamik eğilme direnci üzerindeki etkisi incelendiğinde; 56°C / 8 saat uygulamasında direnç değerinin 91,08 kJ/m²'ye yükseldiği, ancak ısıl işlem sıcaklığı 180°C'ye (3 saat) çıkarıldığında bu değerin 54,73 kJ/m²'ye belirgin bir şekilde gerilediği belirlenmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklıktaki ısıl işlemin odunun şok direncini düşürerek darbelere karşı zayıflattığını ortaya koymaktadır.

Isıl işlem ve yağ uygulamalarının birlikte etkileri incelendiğinde; bezir yağı uygulanan gruplarda ısıl işlemin sıcaklık artışıyla birlikte dinamik eğilme direncinin kademeli olarak azaldığı (sırasıyla 66.55, 65.60 ve 61.03 kJ/m²) gözlemlenmiştir. Ancak asıl çarpıcı düşüş ayçiçek yağı emprenye edilen grupta tespit edilmiştir. Ayçiçek yağı ile 180°C'de 3 saat ısıl

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

işlem gören sarıçam örneklerinin dinamik eğilme direnci tablodaki en düşük seviye olan 36,28 kJ/m²'ye kadar gerilemiştir. Dinamik eğilme direncindeki bu düşüş, malzemenin ani darbelere ve şok yüklerine karşı dayanımını büyük ölçüde kaybettiğini ve yüksek sıcaklıkta ayçiçek yağı ile muamele edilen sarıçam odununun diğer tüm işlem gruplarına kıyasla en kırılgan yapıya dönüştüğü söylenebilir.

3.5. Basınç Direnci Değerleri

Yapılan çalışmada ilgili standartlar esas alınarak tespit edilen teak ve sarıçam odununun basınç direncine ait sayısal veriler Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Basınç Direnci Değerleri

Tür	Isıl İşlem	Yağ	N	Basınç Direnci (N/mm²)			
				X_{min}	X_{max}	X_{ort}	Std.Sp.
Teak	-	-	5	56,46	64,74	**59,46**	3,36
Sarıçam	-	-	5	65,40	71,76	**69,49**	2,64
	56°C / 8 saat	-	5	61,92	69,41	**65,93**	3,34
	180°C / 3 saat	-	5	55,17	59,91	**57,46**	2,10
	-	Bezir	5	67,84	72,11	**69,39**	1,94
	56°C / 8 saat	Bezir	5	60,28	63,91	**62,25**	1,52
	180°C / 3 saat	Bezir	5	62,67	86,18	**75,97**	8,57
	-	Ayçiçek	5	47,73	70,84	**63,40**	9,32
	56°C / 8 saat	Ayçiçek	5	63,54	73,76	**68,88**	4,68
	180°C / 3 saat	Ayçiçek	5	80,26	92,55	**85,95**	4,48

Çizelge 6 incelendiğinde, teak odununun ortalama basınç direnci 59,46 N/mm² iken, herhangi bir işlem görmemiş kontrol grubu sarıçam odununun basınç direncinin 69,49 N/mm² olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu, doğal haldeki sarıçam odununun liflere paralel yönde uygulanan basınç yüklerine karşı teak odunundan daha yüksek bir yapısal dayanım sergilediğini göstermektedir.

Sarıçam odununa yağ uygulamadan yapılan ısıl işlemlerin basınç direnci üzerindeki etkisi incelendiğinde; artan ısıl işlem sıcaklığının malzemenin basınç dayanımını zayıflattığı belirlenmiştir. Kontrol grubunda 69,49 N/mm² olan değer, 56°C / 8 saat uygulamasında 65,93 N/mm²'ye, 180°C / 3 saat uygulamasında ise 57,46 N/mm²'ye gerilemiştir. Bu durum, yüksek sıcaklık uygulamasının odunun hücre çeperlerindeki bileşenleri (özellikle hemiselüloz) bozulmaya uğratarak malzemenin yük taşıma kapasitesini ve mekanik direncini düşürdüğü söylenebilir.

Isıl işlem ve yağ uygulamalarının birlikte etkilerine bakıldığında ise; tek başına uygulanan ısıl işlemin yarattığı bu mekanik zayıflatmanın, yağ uygulamaları ile sadece telafi edilmekle kalmayıp malzemenin dayanımını ciddi oranda artırdığı tespit edilmiştir. Bezir yağı ile 180°C'de 3 saat ısıl işlem gören sarıçam örneklerinin basınç direnci 75,97 N/mm²'ye yükselmiştir. En belirgin ve dikkat çekici artış ise ayçiçek yağı emprenye edilen grupta

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

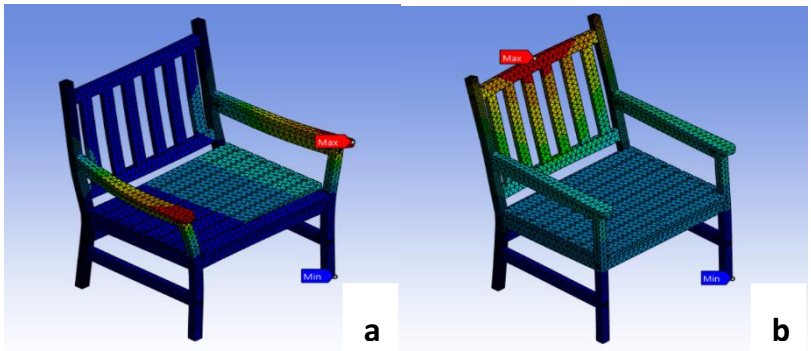
gözlemlenmiştir. Ayçiçek yağı ile 180°C'de 3 saat ısıl işlem gören sarıçam örneklerinin basınç direnci, çizelgedeki en yüksek seviye olan 85,95 N/mm² değerine ulaşmıştır.

3.6. Sonlu Elemanlar Analizi Değerleri

Yapılan çalışmada sonlu elemanlar analizi sonucu tespit edilen teak ve sarıçam odununun toplam deformasyonlarına ait sayısal veriler Çizelge 7'de verilmiştir. Görsel 8'de sonlu elemanlar analizi sonucu toplam deformasyonların oluştuğu bölge gösterilmektedir.

Çizelge 7. Sonlu elemanlar analizi değerleri

	Teak	Sarıçam								
		-			Bezir			Ayçiçek		
		Kontrol	56	180	Kontrol	56	180	Kontrol	56	180
Kolçak Testi (mm)	0,237	0,221	0,198	0,193	0,198	0,233	0,283	0,190	0,256	0,188
Arkalık Testi (mm)	5,427	5,079	4,593	4,380	4,595	5,333	6,384	4,414	5,827	4,490



Görsel 8. a) Kolçak testi sonucu oluşan toplam deformasyonun oluştuğu bölge b) Arkalık testi sonucu oluşan toplam deformasyonun oluştuğu bölge

Sonlu elemanlar analizi (FEA) kapsamında gerçekleştirilen toplam deformasyon testleri incelendiğinde, kolçak bölgesine uygulanan yükler altında Sarıçam malzemesinde 0,221 mm, Teak ağacında ise 0,237 mm maksimum deformasyon meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu bulgu, Sarıçam odununun kolçak tasarımında Teak ağacına kıyasla daha düşük bir esneme gösterdiğini ve yük altında şeklini koruma konusunda daha dirençli olduğunu ortaya koymaktadır. Arkalık bölgesine uygulanan yüklemeler sonucunda elde edilen toplam deformasyon değerlerine bakıldığında, Sarıçam malzemesinde 5,079 mm, Teak ağacında ise 5,427 mm deformasyon ölçülmüştür. Her iki testin sonuçları bütüncül olarak değerlendirildiğinde, modifiye edilmiş Sarıçamın bahçe mobilyalarında hem kolçak hem de arkalık gibi kritik esneme bölgelerinde Teak ağacına karşı yapısal bütünlüğünü başarıyla koruduğu ve mekanik performans açısından oldukça güçlü bir alternatif oluşturduğu görülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında elde edilen sayısal veriler incelendiğinde, Teak odununun hava kurusu yoğunluğu 0,623 g/cm³ iken, herhangi bir işlem görmemiş sarıçam odununun 0,557 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Yüksek sıcaklıkta (180°C/3 saat) uygulanan ısıl işlem sarıçamın hava kurusu yoğunluğunu 0,431 g/cm³ seviyesine düşürmüştür. Ancak ayçiçek yağı ve bezir yağı uygulamaları bu kayıpları telafi ederek hava kurusu yoğunluğu sırasıyla 0,646 g/cm³ ve 0,647 g/cm³ değerlerine yükseltmiştir. Mekanik test sonuçlarına göre, kontrol grubu sarıçamın elastikiyet modülü (13464,04 N/mm²) ve basınç direnci (69,49 N/mm²), Teak odununun elastikiyet modülü (12455,50 N/mm²) ve basınç direncinden (59,46 N/mm²) daha yüksek bulunmuştur. Uygulanan modifikasyon işlemleri arasında özellikle 180°C ısıl işlem ve ayçiçek yağı kombinasyonu dikkat çekici sonuçlar vermiştir; bu grupta statik eğilme direnci 129,13 N/mm²'ye ve basınç direnci 85,95 N/mm²'ye ulaşarak test edilen tüm gruplar içindeki en yüksek statik dayanım değerlerini sergilemiştir. Buna karşılık, aynı işlem grubunun (180°C + ayçiçek yağı) dinamik eğilme direnci 36,28 kJ/m² ile en düşük seviyeye gerilemiş ve ortalama 104,98 kJ/m² şok direncine sahip Teak odununa kıyasla oldukça kırılgan bir yapı oluşturmuştur. Sonlu elemanlar analizi bulgularına göre, Sarıçam odununun kolçak ve arkalık bölgelerinde Teak ağacına kıyasla daha düşük deformasyon değerleri sergilemesi, modifiye edilmiş bu malzemenin bahçe mobilyalarında esnemeye karşı yüksek yapısal direnç sağladığını ve dış mekan bahçe mobilyalarında mekanik açıdan güvenle tercih edilebileceğini göstermektedir. Ayçiçek yağı ile 180°C'de modifiye edilmiş sarıçamın yüksek statik yük taşıma kapasitesi gerektiren bahçe mobilyası elemanlarında Teak odununa sayısal olarak üstün bir alternatif oluşturduğunu, ancak şok yüklerine maruz kalacak bölgelerde kırılganlık dezavantajının dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2024/1. Döneminde TÜBİTAK tarafından desteklenen, 1919B012470201 numaralı, “Isıl İşlem Görmüş Sarıçam’a Farklı Yağlar Nüfuz Edilerek Bahçe Mobilyalarına Alternatif Oluşturması” adlı TÜBİTAK projesinden üretilmiştir. TÜBİTAK’a teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

1 . Kesik, H., Vurdu, H., Çağatay, K., Özkan, O., vd. (2015). Yağlı Isıl İşlem Görmüş Sarıçam Odunlarında Koruyucu Katmanın Yapışma ve Sertlik Özellikleri. Kastamonu University Journal of Forestry Faculty, 15(2), 261-266.

2. Viitanen H. Jämsä S., Paajanen, L. Nurmi A. ve Viitaniemi, P. The Effect of Heat Treatment on the Properties of Spruce, A preliminary report, International Research Group on Wood Preservation, Doc. No. IRG/WP 94-40032; 1994

3. (Viitanen H. Jämsä S., Paajanen, L. Nurmi A. ve Viitaniemi, P. The Effect of Heat Treatment on the Properties of Spruce, A preliminary report, International Research Group on Wood Preservation, Doc. No. IRG/WP 94-40032; 1994)

4. Örs, Y., Keskin H., Ağaç Malzeme Teknolojisi, Gazi kitabevi, s:32-33,37, 2008

5. Altunok, M., Bülbül, R., & Güneş, M. (2023). Farklı Konsepte Sahip Isıl İşlem ve Klimatik Uygulamanın Yapısal Ahşabın Mekanik ve Fiziksel Performansına Etkilerinin Deneysel İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 11(1), 263-272. https://doi.org/10.29109/gujsc.1190933.

6. Koski, A., (2008). Applicability of Crude Tall Oil for Wood Protection, PhD Thesis, Faculty ofTechnology, Department of Process and Environmental Engineering, University of Oulu, Oulu, Finland,Acta Univ. Oul. C 293.

7.Panov D, Terziev N, Daniel G (2010) Using Plant Oils as Hydrophobic Substances for Wood Protection. 41. IRG Annual Meeting, Biarritz, IRG-WP 10-30550.

8. Bektaş, İ., Güler, C., Baştürk, M.A., 2002. Principal mechanical properties of Eastern Beech Wood (Fagus orientalis Lipsky) naturally grown in Andırın Northeastern Mediterranean Region of Turkey. Turk Journal Agriculture Forest: 147-154.

9. Aira, J. R., Arriaga, F., Íñiguez-González, İ., Crespo, J., 2014. Staticand kinetic friction coefficients of Scots pine (Pinus sylvestrisL.), parallel and perpendicular to grain direction. Materiales deConstrucción, 64(315): 1-9. http://dx.doi.org/10.3989/mc.2014.03913

10. https://www.zamak.com.tr/zamak-3 Erişim Tarihi : 25.03.2026

11. TS ISO 13061-2 “Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri –Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri –Bölüm 2: Fiziksel ve mekanik deneyler için yoğunluğun belirlenmesi”, T.S.E., Ankara, 2021.

12. TS ISO 13061-1 “Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri –Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri –Bölüm 1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi”, T.S.E., Ankara, 2021.

13. TS ISO 13061-17 “Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri –Küçük kusursuz odun numuneleri için deney yöntemleri –Bölüm 17: Liflere paralel basınç altında nihai gerilimin belirlenmesi”, T.S.E., Ankara, 2019.

14. TS ISO 13061-3 “Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri –Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri –Bölüm 3: Statik eğilmede nihai mukavemet tayini”, T.S.E., Ankara, 2021.

15. TS ISO 13061-4 “Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri –Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri –Bölüm 4: Statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini, ,T.S.E., Ankara, 2021.

16. TS ISO 13061-10, 2021. “Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri -Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm10: Çarpmaya karşı eğilme mukavemetinin tayini”. T.S.E., Ankara, 2021.

17. Bozkurt, Y., Erdin, N., 1990. Ticarette kullanılan ağaçlarda fiziksel ve mekanik özellikler. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 40(1): 6-24.

18. Altınok, M., Perçin, O., & Doruk, Ş. (2010). Isıl İşlemin (Thermo-Process) Ağaç Malzemenin Teknolojik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, 023, 71-84. https://izlik.org/JA29WM65GG).

19. Gérard, J., Guibal, D., Paradis, S. ve Cerre, J.-C. (2017). *Tropical timber atlas: Technological characteristics and uses*. Éditions Quæ.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

INTEGRATING JAL JEEVAN MISSION AND SWACHH BHARAT MISSION: LINKING WATER QUALITY, SANITATION DEFICITS AND DISEASE BURDEN IN RURAL INDIA WITH A FOCUS ON DELHI-NCR

Prof Mamta Sharma

KM College, University of Delhi, India

mamta610@gmail.com ; mamta610@kmc.du.ac.in

ORCID number 0009-0009-5804-7673

Prof Sandeep K Sharma

Rajdhani College, University of Delhi, India

sandeep259@gmail.com

ORCID number 0009-0005-0636-9102

Abstract

This paper analyses how convergence between Jal Jeevan Mission (JJM) and Swachh Bharat Mission (SBM) can reduce water- and sanitation-related disease burden in rural India, using exclusively secondary data from national surveys and official reports. Drawing on Census 2011, NFHS, NSS, CGWB groundwater quality assessments and WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme data, the study first maps national patterns of rural drinking water sources, groundwater contamination (fluoride, arsenic, nitrate, salinity, iron and heavy metals), sanitation deficits and associated morbidity, particularly diarrhoeal diseases. Evidence suggests that although more than two-thirds of rural households report access to "protected" sources, an estimated 70 million people are at risk from excess fluoride and around 10 million from arsenic, while inadequate sanitation and unsafe water together account for a substantial share of communicable disease burden.

The analysis then narrows to Delhi-NCR's rural and peri-urban fringes, where rapid urbanisation, industrial effluents and intensive groundwater extraction compound risks documented in national datasets, including nitrate and heavy metal contamination and persistent pockets of open defecation. By juxtaposing JJM and SBM coverage indicators with district-level water quality and health statistics, the paper develops an integrated framework for joint planning: aligning source sustainability, water quality surveillance, toilet and faecal sludge management infrastructure, and behaviour change communication at micro-regional scale. It argues that such coordinated implementation—supported by unified indicators and targeted prioritisation of high-risk blocks around major urban centres—can yield larger health gains than

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

scheme-wise approaches and is critical for achieving SDG 6 and SDG 3 in Delhi-NCR and comparable metropolitan regions.

Keywords: Jal Jeevan Mission; Swachh Bharat Mission; rural water quality; Delhi-NCR; sanitation deficits; disease burden.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

VIRULENCE THROUGH ASSOCIATION: CORRELATING THE RELATIONSHIP BETWEEN VEGETATIVE COMPATIBILITY GROUPS AND FORMAE SPECIALES IN *FUSARIUM OXYSPORUM* AFFECTING ALLIUM SPECIES

PhD student: Nedaa M.M. Tanina (1)
Gaziantep University, neda.tanina1987@gmail.com- https://orcid.org/0009-0006-8555-2999

Assist. Prof. Dr. Feyza N. KAFADAR (2)
Gaziantep University, incik@gantep.edu.tr- https://orcid.org/0000-0003-3544-2979

Prof. Canan Can (2)
Gaziantep University, ayselcan1938@gmail.com - https://orcid.org/0000-0002-0473-1914

ABSTRACT:

The fungal genus *Fusarium* is among the most economically significant plant pathogens globally. Due to its substantial impact on crops, resulting in significant economic losses and the production of mycotoxins that threaten food security, understanding these pathogens is essential. However, further investigation into their genetic relationships and evolutionary dynamics is critically needed**.**

Fusarium oxysporum has been extensively studied due to its broad host range. This review concentrates on F. oxysporum affecting *Allium* species. Morphological identification methods using special media such as Potato Dextrose Agar (PDA), Synthetic Nutrient Agar (SNA), and Carnation leaf Agar (CLA), among others, as well as molecular characterization techniques using markers like calmodulin (CaM), RNA polymerase large subunit (rpb1), RNA polymerase second-largest subunit (rpb2), translation elongation factor 1-alpha (tef1), and beta-tubulin (tub2), are well documented in existing literature.

However, due to the absence of sexual reproduction, vegetative compatibility groups (VCG) analysis is a standard method used to assess the genetic diversity and population structure of the pathogen. Such analyses may indicate ongoing genetic exchange and dynamic processes within these populations. Additionally, vegetative compatibility has been correlated with pathogenicity assessments. Moreover, pathogens can be classified based on their virulence toward Allium species, including onion, garlic, and leek. Those that specifically infect garlic are designated as *F. oxysporum* f. sp. g*arlic*, whereas *F. oxysporum* f. sp. c*epae* has the capacity to infect all *Allium* species.

Key words: *Fusarium oxysporum*, Vegetative compatibility groups, Forma specialis

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

FERULA BİTKİSİ VE DİYABETTEKİ ETKİNLİĞİ

Öğr. Gör. Ayhan BEYAZPOLAT
Hakkari Üniversitesi, ayhanbeyazpolat@hakkari.edu.tr- 0000-0002-7222-0956
Doç. Dr. Uğur ÖZDEK
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, ugurozdek@yyu.edu.tr-0000-0002-0709-1545
Prof. Dr. Yeter DEĞER
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, yeterdeger@yyu.edu.tr- 0000-0001-9346-3685

ÖZET

Diabetes mellitus (DM); insülin salgılanmasındaki yetersizlikler veya dokularda gelişen direnç neticesinde glikoz kullanımının bozulduğu ve kronik hiperglisemi ile karakterize küresel bir metabolizma hastalığıdır. Dünya genelinde hızla yayılan bu hastalığın, 2030 yılına kadar yaklaşık 578 milyon kişiyi etkileyeceği öngörülmektedir. Kronik hiperglisemi hali; başta damar ve sinir sistemleri olmak üzere göz, böbrek ve kalp gibi hayati organlarda ciddi fonksiyonel hasarlara yol açarak bireylerin yaşam kalitesini ve süresini olumsuz etkilemektedir. Bu kronik sağlık sorunuyla mücadelede tıbbi bitkiler, geleneksel tıpta ve modern ilaç araştırmalarında vazgeçilmez bir kaynak teşkil etmektedir. Literatürde 400'den fazla bitki türünün hipoglisemik aktivite gösterdiği tanımlanmış olup, özellikle *Apiaceae* (Maydanozgiller) familyası diyabet tedavisinde en sık başvurulan bitki grupları arasında yer almaktadır. Bu familyanın önemli bir üyesi olan *Ferula* (Çakşırotu) cinsi, dünya genelinde yaklaşık 185, Türkiye'de ise 24 civarında takson ile temsil edilmekte ve Anadolu halkı tarafından diyabet, kolesterol ve mide rahatsızlıklarının tedavisinde geleneksel olarak kullanılmaktadır. Bilimsel araştırmalar; *Ferula duranii*, *Ferula elaochytris*, *Ferula asafoetida* ve *Ferula rigidula* gibi türlerin kan glikozu ve lipid profili üzerinde düzenleyici etkilere sahip olduğunu kanıtlamıştır. Bu bitkilerin, diyabetle birlikte bozulan metabolik parametreleri iyileştirmenin yanı sıra, pankreas ve karaciğer dokularındaki oksidatif stresi azaltarak vücudun antioksidan savunma mekanizmalarını (SOD, CAT, GSH-Px) güçlendirdiği saptanmıştır. Sonuç olarak *Ferula* türleri, diyabet ve ilişkili komplikasyonların yönetiminde güçlü ve doğal birer terapötik alternatif sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Diyabet, *Ferula,* Oksidatif Stres, Hiperlipidemi.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

FERULA PLANT AND ITS EFFECTIVENESS IN DIABETES

Lec. Ayhan BEYAZPOLAT

Hakkari University, ayhanbeyazpolat@hakkari.edu.tr- 0000-0002-7222-0956

Assoc. Prof. Dr. Uğur ÖZDEK

Van Yüzüncü Yıl University, ugurozdek@yyu.edu.tr-0000-0002-0709-1545

Prof. Dr. Yeter DEĞER

Van Yüzüncü Yıl University, yeterdeger@yyu.edu.tr- 0000-0001-9346-3685

ABSTRACT

Diabetes mellitus (DM) is a global metabolic disorder characterized by impaired glucose utilization due to deficiencies in insulin secretion or the development of insulin resistance in target tissues, resulting in chronic hyperglycemia. The prevalence of this rapidly spreading disease is projected to affect approximately 578 million individuals worldwide by 2030. Chronic hyperglycemia leads to severe functional impairments in vital organs, including the vascular and nervous systems, as well as the eyes, kidneys, and heart, thereby negatively impacting both quality and duration of life. In addressing this chronic health challenge, medicinal plants have long served as an indispensable resource in both traditional medicine and modern pharmacological research. Literature reports indicate that over 400 plant species exhibit hypoglycemic activity, with the Apiaceae (parsley) family being among the most frequently employed for diabetes management. An important member of this family, the genus *Ferula* (asafoetida), is represented by approximately 185 taxa globally and around 24 taxa in Turkey, and has traditionally been used by Anatolian populations for the treatment of diabetes, hypercholesterolemia, and gastrointestinal disorders. Scientific studies have demonstrated that species such as *Ferula duranii*, *Ferula elaeochytris*, *Ferula asafoetida*, and *Ferula rigidula* exert regulatory effects on blood glucose and lipid profiles. In addition to ameliorating metabolic disturbances associated with diabetes, these plants have been shown to reduce oxidative stress in pancreatic and hepatic tissues, enhancing the body's antioxidant defense systems, including superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and glutathione peroxidase (GSH-Px). Consequently, *Ferula* species represent a potent and natural therapeutic alternative for the management of diabetes and its related complications.

Keywords: Diabetes*, Ferula*, Oxidative Stress, Hyperlipidemia.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

1.GİRİŞ

Diabetes mellitus (DM); insülin salgılanmasındaki yetersizlikler, insülin etkisindeki bozukluklar veya her iki durumun birleşimi neticesinde karbonhidrat, yağ ve protein metabolizmasında aksaklıkların meydana geldiği, kronik hiperglisemi ile karakterize metabolik bir hastalıklar grubudur. 2019 yılında küresel diyabet prevalansının %9,3 (463 milyon kişi) olduğu tahmin edilmekte olup, bu oran 2030 yılına kadar %10,2'ye (578 milyon) ve 2045 yılına kadar %10,9'a (700 milyon) yükseleceği tahmin edilmektedir (Saeedi ve ark., 2019). Kronik hiperglisemi tablosu; başta göz, böbrek ve kalp gibi hayati organlar olmak üzere damar ve sinir sistemlerinde ciddi hasarlara yol açarak bireylerin yaşam kalitesini ve süresini olumsuz etkilemektedir. Hastalığın patofizyolojisinde görülen bu sistemik tahribat, erken tanı ve etkin tedavi yöntemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Ozmutlu ve ark., 2012).

Diyabet yönetiminde kullanılan modern farmakolojik yaklaşımların yanı sıra, tıbbi bitkiler tarih boyunca ilaç araştırmalarında hem doğrudan hem de dolaylı olarak temel bir kaynak teşkil etmiştir. Yapılan güncel çalışmalara göre literatürde hipoglisemik aktiviteye sahip 400-800 arası bitki türü tanımlanmış durumdadır. Yaklaşık 30.000 bitki türüyle dünyanın en zengin floralarından birine sahip olan Türkiye, geleneksel tıpta antidiyabetik amaçlı kullanılan bitkisel kaynaklar açısından büyük bir potansiyele sahiptir (Sarıkaya ve ark., 2010; Alam ve ark., 2022). Özellikle *Apiaceae* (Maydanozgiller) ailesi, diyabet tedavisinde en sık başvurulan familyalardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu familya, dünya genelinde 464 cinsle temsil edilmekte olup Türkiye'de 100 cinsi ve 187'si endemik olmak üzere toplam 527 türü bulunmaktadır (Pimenov & Leonov, 2004; Duran ve ark., 2015).

Apiaceae ailesinin biyolojik aktivite açısından en önemli üyelerinden biri olan *Ferula* (Çakşırotu) cinsi, dünya genelinde yaklaşık 180-185, Türkiye'de ise 24 civarında takson ile temsil edilmektedir (Pimenov & Leonov, 2004; Tuncay ve ark., 2023). Anadolu'da *Ferula* türlerinin kök ve yaprakları geleneksel olarak diyabet, kolesterol, mide ağrısı ve kadın hastalıklarının tedavisinde kullanılmasının yanı sıra afrodizyak etkileri ve hayvanlarda doğurganlığı artırıcı özellikleri nedeniyle de bilinmektedir (Baytop, 1999). Son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar; *Ferula duranii*, *Ferula elaochytris* ve *Ferula asafoetida* gibi türlerin antidiyabetik, antihiperlipidemik ve antioksidan özelliklere sahip olduğunu; kan şekeri, HbA1c ve lipid profili üzerinde düzenleyici etkiler sergilediğini ortaya koymuştur (Akhlaghi ve ark., 2012; Yusufoğlu ve ark., 2015; Eser ve ark., 2020).

Bu çalışmaların odağında yer alan *Ferula rigidula* (Siyabo) türü üzerine yapılan güncel araştırmalar, bitkinin deneysel diyabet modellerinde önemli terapötik etkiler sergilediğini göstermektedir. *Ferula rigidula* kök üstü ekstraktlarının, diyabetle birlikte artan açlık kan şekeri, kolesterol ve trigliserit seviyelerini anlamlı derecede düşürdüğü, azalan insülin düzeylerini ise artırdığı tespit edilmiştir (Beyazpolat ve ark., 2023). Ayrıca bitkinin, pankreas dokusundaki oksidatif stresi azaltarak SOD, GSH-Px ve CAT gibi antioksidan enzim aktivitelerini normalize ettiği görülmüştür. Bu veriler, *Ferula* türlerinin diyabet ve ilişkili komplikasyonların yönetiminde doğal ve etkili birer ajan olma potansiyelini desteklemektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

2. FERULA BİTKİSİ VE DİYABET

2.1. Diyabetes Mellitus

Diyabetes mellitus, insülin sekresyonundaki yetersizlik ve hedef dokularda insülinin etkisine karşı gelişen direnç ile karakterize, genetik yatkınlığı olan kronik bir metabolik hastalıktır (Baydaş ve ark., 2002). Bu hastalıkta glikoz metabolizması bozulmakta ve bunun sonucunda kan glukoz düzeyinde artış (hiperglisemi) meydana gelmektedir. Sürekli yüksek seyreden kan şekeri, başta damarlar ve sinir sistemi olmak üzere birçok organ ve dokuda ciddi hasarlara yol açmaktadır (Phillips ve ark., 2004).

2.1.1. Diyabetes Mellitus'un Tanımı

Diyabetes mellitus, insülin sekresyonu, insülinin etki mekanizması veya her ikisindeki bozukluklar sonucunda karbonhidrat, yağ ve protein metabolizmasının etkilendiği ve hiperglisemi ile seyreden bir grup metabolik hastalığı ifade eder. Süregelen hiperglisemi; başta göz, böbrek ve kalp olmak üzere birçok organda, ayrıca damar ve sinir sisteminde yapısal ve fonksiyonel hasarlara yol açarak yaşam süresi ve kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Hastalığın başlıca klinik belirtileri arasında poliüri, polidipsi, kaşıntı ve kilo kaybı yer almakta; bazı olgularda iştah artışı ve görme bulanıklığı da gözlenebilmektedir. Bununla birlikte, diyabet bazı bireylerde belirgin semptomlar olmaksızın ilerleyebilmekte ve rutin kan ile idrar analizlerinde glukoz düzeylerinin yüksek bulunmasıyla tespit edilebilmektedir. Çoğu vakada tanı konulmadan önce uzun süre devam eden hiperglisemi, çeşitli organlarda geri dönüşü zor hasarlara neden olabilmektedir. Bu nedenle, diyabetes mellitusun erken tanısı ve etkili tedavi yaklaşımlarının uygulanması büyük önem taşımaktadır (Ozmutlu ve ark., 2012).

2.1.2. Diyabetes Mellitus'un Tanı ve Sınıflandırma Kriterleri

Diyabetes mellitusun tanımı, sınıflandırılması ve tanı kriterleri ilk olarak Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından oluşturulan çalışma grubu tarafından belirlenmiş, daha sonra ise American Diabetes Association tarafından daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilerek benimsenmiştir. 2026 yılında ADA tarafından yapılan sınıflandırma aşağıda sunulmuştur (ADA, 2026).

2.1.3. Diyabetes Mellitus'un Sınıflandırılması

I. Tip 1 diyabet: İnsüline bağımlı diyabet olarak da adlandırılan bu tip, genellikle çocukluk veya gençlik döneminde ortaya çıkmakta ve ketoza eğilim göstermektedir.

II. Tip 2 diyabet: İnsüline bağımlı olmayan diyabet olarak bilinen bu form, çoğunlukla erişkin yaşta görülmekte olup ketoza dirençli bir seyir izlemektedir.

III. Diğer spesifik diyabet tipleri: Genetik, pankreatik, endokrin veya ilaçlara bağlı gelişen özel diyabet formlarını kapsamaktadır.

IV. Gestasyonel diyabet: Gebelik sırasında ortaya çıkan ve genellikle doğum sonrasında gerileyebilen diyabet türüdür.

Tip 1 diyabet

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Tip 1 diyabet, pankreas β-hücrelerinin otoimmün yıkımı ile karakterize olup, mutlak insülin eksikliği ile sonuçlanır. American Diabetes Association'a göre tip 1 diyabet, "vücudun insülin adı verilen hormonu üretememesi nedeniyle kan glukoz (şeker) düzeyinin yükselmesi" durumunda ortaya çıkar (ADA, 2026). Bu otoimmün süreç, pankreasta insülin üreten hücrelere saldırarak insülin üretiminin tamamen ortadan kalkmasına yol açar. Bunun fizyolojik sonucu basit ancak ağırdır: karbonhidrat metabolizması sonucu oluşan glukoz kana geçer, ancak hücreler tarafından enerji üretimi için kullanılamaz. Sonuç olarak glukoz kanda birikir, hiperglisemi gelişir ve poliüri, polidipsi ve polifaji gibi klasik semptomlar ortaya çıkar; bu tabloya çoğunlukla artmış iştaha rağmen açıklanamayan kilo kaybı eşlik eder (Yameny, 2025).

Tip 2 diyabet

Tip 2 diyabet, küresel olarak en yaygın görülen diyabet formu olup, hem insülin direnci hem de ilerleyici β-hücre disfonksiyonunu içeren daha karmaşık bir patofizyolojik tablo ile karakterizedir. Araştırmalara göre, Tip 2 diyabet, periferik insülin direnci ile pankreatik β-hücrelerden yetersiz insülin sekresyonunun birleşimi ile tanımlanmaktadır (Kyrou ve ark., 2020). Tip 1 diyabetten farklı olarak, insülin üretimi devam etmekte, ancak kan glukoz düzeylerini kontrol etmede giderek daha etkisiz hale gelmektedir. Hastalık genellikle yavaş gelişir ve çoğu zaman bozulmuş glukoz toleransı veya bozulmuş açlık glukozu ile karakterize prediyabetik bir dönemle öncellenir. Tip 2 diyabetin giderek artan şekilde "metabolik sendromun bir bileşeni" olduğu ya da bazı araştırmacıların ifade ettiği üzere "metabolik disfonksiyon sendromu (MDS)" kapsamında değerlendirildiği kabul edilmektedir (ADA, 2026).

Diğer spesifik tipler

Diğer spesifik diyabet tipleri; pankreatit, Cushing sendromu ve akromegali gibi hastalıkların seyri sırasında ortaya çıkabilen ya da iyatrojenik nedenler, genetik sendromlar ve insülin reseptör anomalilerine bağlı gelişebilen diyabet formlarını kapsamaktadır. Bu grup içerisinde; β hücre fonksiyonuna ilişkin genetik bozukluklar, insülin etkisinde rol oynayan genetik defektler, endokrin pankreas hastalıkları, çeşitli endokrinopatiler, ilaç ve kimyasal maddelere bağlı diyabet, enfeksiyon kaynaklı diyabet, immün mekanizmalarla ilişkili nadir diyabet tipleri ve diyabetle birlikte görülen diğer genetik sendromlar yer almaktadır (Kuzuya ve ark., 2001).

Gestasyonel diyabet (gebelik diyabeti)

Gestasyonel diyabet, gebelik sırasında ortaya çıkar ve genellikle doğum sonrasında düzelir; ancak, yaşamın ilerleyen dönemlerinde Tip 2 diyabet gelişme riskini önemli ölçüde artırır. Bu diyabet türü, gebeliğe bağlı gelişen insülin direnci ile yetersiz kompansatuvar insülin sekresyonunun bir kombinasyonu sonucu meydana gelir. Özellikle gebeliğin ikinci ve üçüncü trimesterlerinde hormon düzeylerindeki değişiklikler, gelişmekte olan fetüse besin aktarımını önceliklendirmek amacıyla insülin direncine katkıda bulunur. Gestasyonel diyabetin, hem anne hem de çocuk açısından komplikasyonları önlemek amacıyla dikkatle yönetilmesi gerekir; bu komplikasyonlar arasında makrozomi, doğum travması ve neonatal hipoglisemi yer alır (Li ve ark., 2020).

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

2.1.4. Deneysel Diyabet

Streptozosin (STZ) ve alloksan, deneysel diyabet modelleri oluşturmak için en yaygın kullanılan ajanlardır. Bu kimyasallar intraperitoneal, subkutan veya intravenöz (i.v.) yolla uygulanarak diyabetin indüksiyonunu sağlarlar. Her iki ajan da pankreastaki Langerhans adacıklarındaki β hücrelerini hedef alarak tahrip eder ve sonuç olarak hipoinsülinemik ile hiperglisemik bir tabloya yol açar. Özellikle alloksan ve onun redüksiyon ürünü olan dialürik asit, süperoksit radikali ve hidrojen peroksit gibi reaktif oksijen türlerine dönüşerek oksidatif stres oluşturur. Bu serbest radikaller, β hücrelerinde masif kalsiyum artışına neden olarak adacıklarda toksisite yaratır. Deneysel diyabet oluşturmanın bir diğer yöntemi ise pankreasın total rezeksiyonudur. Ancak bu yöntem cerrahi müdahale gerektirmesi ve malabsorbsiyon riskini artırması nedeniyle teknik olarak daha zordur (Erbaş, 2015).

2.2. Diyabet Tedavisinde Kullanılan Bitkiler

Son yıllarda diyabet, toplum sağlığı açısından giderek artan bir önem kazanmış ve üzerine yapılan araştırmalar hızla çoğalmıştır. Bu süreçte tıbbi bitkiler, ilaç geliştirme çalışmalarında hem doğrudan hem de dolaylı olarak sürekli bir kaynak teşkil etmektedir. Literatür taramaları, geleneksel tıpta pek çok bitkinin antidiyabetik amaçlarla kullanıldığını ortaya koymaktadır. Hipoglisemik etkiye sahip 400'den fazla bitki türü bilimsel çalışmalarda tanımlanmıştır. Yaklaşık 30.000 bitki türüyle dünyanın en zengin floralarından biri olan Türkiye florası, geleneksel tıpta antidiyabetik olarak değerlendirilen çok sayıda bitkiyi içermektedir (Sarıkaya ve ark., 2010).

2.3. *Apiaceae* Ailesi

Apiaceae familyası, ılıman iklimlerin hâkim olduğu bölgelerde, özellikle Asya kıtasında yayılım göstermektedir. Yaklaşık 464 cinsi ile oldukça geniş bir familya olan *Apiaceae*'nin Türkiye florasında 100 cinsi ve 527 türü bulunmaktadır; bunların 187'si endemiktir ve her geçen gün bu familyaya yeni kayıtlar eklenmektedir (Duran ve ark., 2015).

Hem ülkemizde hem de dünya genelinde, *Apiaceae* familyasına ait farklı bitkiler geleneksel tedavi yöntemlerinde çeşitli hastalıkların yönetiminde kullanılmaktadır (Arıtuluk ve ark., 2016). Özellikle diyabet tedavisinde kullanılan bazı türlerin, yapılan bilimsel araştırmalarda etkili olduğu belirlenmiştir.

2.3.1. *Ferula* (Çakşırotu)

Ferula L., *Apiaceae* familyasında yer alan ve bu ailenin üçüncü en geniş cinsini oluşturan bir gruptur; cinsin 180–185 kadar türü bulunduğu bildirilmiştir. Türlerin çoğunluğu Orta ve Güney Batı Asya bölgelerinde yayılım gösterirken, bazı türler Uzakdoğu, Kuzey Hindistan ve Akdeniz Havzasına kadar ulaşmaktadır. *Ferula* türleri genel olarak dağlık alanlarda yetişmekle birlikte, bazı türlerin çöl ortamlarında de görüldüğü raporlanmıştır. Bölgesel dağılım açısından, Eski Sovyetler Birliği ülkelerinde 94, Pakistan'da 15, Hindistan'da 19, Çin'de 25, Kuzey Himalayalar'da 19, Suudi Arabistan'da 4 ve İran'da 32 tür yetiştiği literatürde belirtilmektedir (Yaqoob ve ark., 2016).

Anadolu'da *Ferula* bitkisi halk arasında kök ve yapraklarının toz hâline getirilip çay şeklinde tüketilmesiyle afrodizyak etkisi sağlamak ve sperm sayısını artırmak için

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

kullanılmaktadır. Ayrıca keçi ve koyunlarda süt verimi ve doğurganlığı artırıcı etkileri olduğu bildirilmektedir (Baytop, 1999). Bunun yanı sıra, *Ferula* bitkisinin halk arasında diyabet tedavisinde de kullanıldığı bilinmektedir. Deneysel diyabet modellerinde kullanılan *Ferula* türlerine ilişkin örnekler aşağıda sunulmuştur.

***Ferula duranii* (Gavcar)**

Yusufoğlu ve ark. (2015), deneysel diyabet oluşturdukları ratlarda 2013 yazında 1500 m. Rakımda Antalya Akseki ve Çukurköy'den topladıkları *Ferula duranii* bitkisinin kök metanol ekstarktının antidiyebetik ve antihiperlipidemik etkiye sahip olup olmadığını araştırmışlardır.

Ferula duranii kök ekstraktının verilmesiyle, diyabetle birlikte artan kan glikoz, HbA1c, trigliserit, total kolestrol, LDL, ALT, AST, ALP ve bilirübin seviyelerinin azaldığı, bununla birlikte azalan total protein ve HDL düzeylerinin arttığını tespit etmişlerdir.

Ferula duranii kök ekstraktının verilmesiyle, diyabetle birlikte Pankreas ve karaciğer doku ekstraktında azalan GSHx, GSH, SOD, ve CAT düzeylerinin arttığı, bununla birlikte artan MDA seviyesinin azaldığını bulmuşlardır.

Sonuç olarak *Ferula duranii* kök ekstraktının antidiyabetik ve antihiperlipidemik etkiye sahip olduğunu ve bu etkinin bitkinin antioksidan özelliğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

***Ferula elaochytrıs (*Çağ)**

Eser ve ark. (2020), deneysel diyabet oluşturdukları ratlarda *Ferula elaochytris* bitkisinin kök etanol ekstraktının diyabetin önemli bir komplikasyonu olan erektil disfonksiyonu etkileyip etkilemediğini araştırmışlardır.

Ferula elaochytrıs kök ekstraktının verilmesiyle, diyabetle azalan ICP, testislerde spermatogenez ve testis ağırlıklarını restore ettiği, bununla birlikte diyabetle artan kan glikoz seviyesini düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

Sonuç olarak *Ferula elaochytrıs* kök ekstraktının diyabet ile birlikte artan glikoz seviyesini, azalan spermatogenez ve testis ağırlıklarını olumlu yönde düzelttiğini belirtmişlerdir.

***Ferula asafoetida* (Şeytantersi)**

Akhlaghi ve ark. (2012), deneysel diyabet oluşturdukları ratlarda *Ferula asafoetida* bitksinin kök ekstraktının hiperglisemik etkisinin olup olmadığını araştırmışlardır.

Ferula asafoetida kök ekstraktının verilmesiyle, diyabetle artan kan glikoz seviyelerini azalttığını tespit etmişlerdir. Serum lipitleri ile ilgili olarak, 4 hafta boyunca diyabet indüksiyonu, diyabetik ratlarda trigliserit, total kolesterol ve HDL konsantrasyonlarını kontrollere kıyasla değiştirmediğini bulmuşlardır.

Sonuç olarak *Ferula asafoetida* kök ekstraktının hiperglisemik etkiye sahip olduğunu ve bu etkinin ekstrakttaki fenolik asitlerin ve tanenlerin varlığıyla ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

***Ferula drudeana* (Dönbere çakşırı) ve *Ferula huber-morathii* (Helizan)**

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Yusufoğlu ve ark. (2015), deneysel diyabet oluşturdukları ratlarda 2013 yazında 1529 m. Rakımda Kayseri Yahyalı Çamlıca köyünde topladıkları *Ferula drudeana* ve 1280 m. Rakımda Muş- Varto yolunda topladıkları *Ferula huber-mora*thii bitkilerinin kök metanol ekstraktlarının antioksidan ve antihiperglisemik etkilere sahip olup olmadıklarını araştırmışlardır.

Ferula drudeana ve *Ferula huber-morathii* kök ekstraktının verilmesiyle, diyabetle birlikte artan HbA1c, total kolesterol, trigliserit, LDL, ALT, AST, ALP ve bilirübin seviyelerini azaldığı, bununla birlikte azalan kan glikoz, hemoglobin, HDL ve total protein düzeylerinin arttığını tespit etmişlerdir.

*Ferula drud*eana ve *Ferula huber-morathii* kök ekstraktının verilmesiyle, karaciğer ve pankreas doku esktraktında azalan SOD, GPx, CAT, GSH düzeylerinin arttığı, bununla birlikte artan MDA düzeyinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Sonuç olarak *Ferula drudeana* ve *Ferula huber-morathii* kök ekstraktlarının antioksidan ve antihiperglisemik etkiye sahip olduklarını ve bu etkinin saponin, reçineler ve triterpenlerin varlığına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

***Ferula gummosa-oleo reçinesi* (Kasnı otu)**

Jalili-Nik ve ark. (2019), deneysel diyabet oluşturdukları ratlarda *Ferula gummosa-oleo reçinesinin* etanol ekstraktının diyabet modelindeki etkilerini araştırmışlardır.

Ferula gummosa-oleo reçinesinin verilmesiyle, diyabetle birlikte artan kan glikoz, trigliserit, total kolesterol, AST, ALT, ALP, kreaitin , BUN, LDL ve HDL seviyelerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Ferula gummosa-oleo reçine ekstraktının verilmesi serum lipidleri üzerinde herhangi bir etki yaratmayarak, böbrekte lipid peroksidasyonunu inhibe ederek karaciğer ve böbrekteki SOD seviyesini arttırdığını tespit etmişlerdir.

Sonuç olarak *Ferula gummosaoleo-reçinesinin* etanolik ekstraktının hipergliseminin ilerlemesini inhibe ederek ve karaciğer ve böbreklerde oksidatif stres kaynaklı hasarı hafifleterek diyabetin komplikasyonunu önleme ve geciktirme potansiyeline sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

***Ferula hermonis* (Ziyaret çakşırı)**

Hedaya ve ark. (2007), *Ferula hermonisin* erektil disfonksiyonlu diyabetik hastalarda klinik ve biyokimyasal etkilerinin araştırılmasını amaçlamışlardır.

Bu çalışmada toplam testosteron, östrojen, IIEF-5 verigiscan parametrelerinde de istatistiksel olarak bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte lipid profili, toplam kolesterol, trigliseritler ve LDL seviyelerinde düşüş görülürken, HDL düzeyinde anlamlı bir fark tespit edememişlerdir.

Sonuç olarak *Ferula hermonis* erek hastalığı olan diyabetik erkekler üzerinde yararlı bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

***Ferula Rigidula* (Siyabo)**

Beyazpolat ve ark. (2023), deneysel diyabet oluşturdukları ratlarda 2020 yılının Mayıs-Haziran aylarında Van ili Gürpınar ilçesine Çavuştepe Kalesi kayalıklarında topladıkları *Ferula rigidula* bitkisinin kök üstü etanol ekstarktının antidiyebetik ve antihiperlipidemik etkiye sahip olup olmadığını araştırmışlardır.

Ferula rigidula kök üstü ekstraktı, özellikle 500 mg/kg uygulanan dozda diyabetle birlikte artan açlık kan şekeri, kolesterol, trigliserit, HDL ve LDL seviyelerini azalttığı, bununla birlikte azalan insülin düzeyinin arttığını tespit etmişlerdir.

Ferula rigidula kök üstü ekstraktının verilmesiyle, pankreas doku esktraktında azalan SOD, GSH-Px, CAT, GSH düzeylerinin arttığı, bununla birlikte artan MDA düzeyinin azaldığını tespit etmişlerdir.

3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında elde edilen veriler ve literatür incelemeleri, Diabetes mellitus (DM) gibi sistemik bir metabolizma hastalığının yönetiminde *Ferula (*Çakşırotu) cinsi bitkilerin çok yönlü bir terapötik potansiyele sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Küresel bir sağlık sorunu olan ve 2030 yılına kadar 578 milyon kişiyi etkileyeceği öngörülen diyabetin tedavisinde, geleneksel tıpta kullanılan bitkisel kaynaklar modern tıp için kritik birer araştırma alanıdır (Sarıkaya ve ark., 2010; Saeedi ve ark., 2019). Yapılan araştırmaların sonuçları şu ana başlıklar altında değerlendirilmektedir:

Metabolik Parametreler Üzerindeki Etkiler: İncelenen tüm *Ferula* türlerinin hiperglisemi ve hiperlipidemi üzerinde iyileştirici etkiler sergilediği görülmüştür. *Ferula duranii* ve *Ferula rigidula* gibi türlerin kan glikoz, HbA1c, trigliserit ve LDL seviyelerini anlamlı derecede düşürdüğü; bununla birlikte azalan insülin ve HDL düzeylerini normalize ettiği saptanmıştır (Yusufoğlu ve ark., 2015; Beyazpolat ve ark., 2023). Benzer şekilde *Ferula asafoetida*'nın içeriğindeki fenolik asitler ve tanenler sayesinde hiperglisemiyi baskıladığı, *Ferula gummosa*'nın ise hem glikoz seviyelerini hem de böbrek-karaciğer fonksiyon göstergelerini (AST, ALT, ALP, BUN) iyileştirdiği belirlenmiştir (Akhlaghi ve ark., 2012; Jalili-Nik ve ark., 2019).

Antioksidan Kapasite ve Hücresel Koruma: Diyabetin patofizyolojisinde kilit rol oynayan oksidatif stresin, *Ferula* özütleri ile baskılanabildiği bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Özellikle *Ferula rigidula*, *Ferula drudeana ve Ferula huber-morathii* türlerinin, pankreas ve karaciğer dokularında lipid peroksidasyonunun göstergesi olan MDA seviyelerini düşürdüğü; SOD, GSH-Px ve CAT gibi koruyucu antioksidan enzim aktivitelerini ise artırdığı tespit edilmiştir (Yusufoğlu ve ark., 2015; Beyazpolat ve ark., 2023). Bu durum, bitkinin içeriğindeki saponin, reçine ve triterpen gibi biyoaktif bileşenlerin koruyucu etkisini desteklemektedir (Yusufoğlu ve ark., 2015).

Diyabetik Komplikasyonların Yönetimi: Çalışmalar, *Ferula* türlerinin diyabetin ikincil etkileri üzerinde de iyileştirici olduğunu göstermektedir. *Ferula elaochytris*'in diyabetle ilişkili spermatogenez bozukluklarını ve testis ağırlığı kayıplarını restore ettiği, *Ferula hermonis*'in ise diyabetik hastalarda erektil disfonksiyon parametrelerini ve testosteron düzeylerini olumlu yönde etkilediği görülmüştür (Hedaya ve ark., 2007; Eser ve ark., 2020).

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Genel bir değerlendirme yapıldığında, Türkiye florasında geniş bir çeşitlilikle temsil edilen *Ferula* türleri, özellikle de *Ferula rigidula* (Siyabo), diyabetin hem metabolik kontrolünde hem de doku hasarlarının önlenmesinde güçlü bir doğal adaydır. Bitkinin özellikle 500 mg/kg dozunda sergilediği güçlü antidiyabetik ve antioksidan performans, gelecekteki farmakolojik çalışmalar için umut vericidir (Beyazpolat ve ark., 2023). Bu doğal kaynakların standardize edilerek klinik uygulamalara aktarılması, diyabet tedavisinde daha düşük yan etkili ve erişilebilir alternatiflerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Akhlaghi, F., Rajaei, Z., Hadjzadeh, M. A. R., Iranshahi, M., Alizadeh, M. Antihyperglycemic effect of asafoetida (Ferula assafoetida oleo-gum-resin) in streptozotocin-induced diabetic rats, World Applied Sci J, 17,2, 2012.

Alam, S., Sarker, M. M. R., Sultana, T. N., Chowdhury, M. N. R., Rashid, M. A., Chaity, N. I., ... & Mohamed, I. N. Antidiabetic phytochemicals from medicinal plants: prospective candidates for new drug discovery and development. *Frontiers in endocrinology*, February, 13, 2022.

American Diabetes Association Professional Practice Committee (ADA). Diagnosis and classification of diabetes: Standards of Care in Diabetes—2026. Diabetes Care, January, 49, 1, 2026.

Arıtuluk, Z. C., Çankaya Tatlı, İ. İ., Özkan Gençler, M. A. Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents of some Tanacetum L. (Asteraceae) taxa growing in Turkey, FABAD J Pharm Sci, 41, 2016.

Baydas, G., Canatan, H., Turkoglu, A. Comparative analysis of the protective effects of melatonin and vitamin E on streptozotocin-induced diabetes mellitus, Pineal Res, April,32, 4, 2002.

Baytop, T. Therapy with medicinal plants in Turkey-Past and present (2nd edition), Nobel Medical Publication, Istanbul,1999.

Beyazpolat, A., Ozdek, U., Değer, Y. Effects of Ferula Rigidula plant extract on hyperglycemia, hyperlipidemia and pancreatic tissue oxidative stress in rats with experimental diabetes, Journal of Agriculture, June, 6,1, 2023.

Duran, A., Behçet, L., Öztürk, M. Diplotaenia bingolensis (Apiaceae), new species from east Anatolia, Turkey, Plant Systematics and Evolution, June, 301, 1, 2015.

Erbaş, O. Deneysel diyabet modelleri, FNG & Bilim Tıp Dergisi, August, 1, 1,2015.

Eser, N., Buyuknacar, H. S., Cimentepe, O. O., Gocmen, C., Ucar, Y., Erdogan, S., & Yoshiyama, M. The effect of Ferula elaeochytris root extract on erectile dysfunction in streptozotocin-induced diabetic rat. *International Journal of Impotence Research*, April, 32, 2, 2020.

Hedaya, M. A., Hegazy, S. K., Salem, K. A., Abd El-Kaw, K. S. Evaluation of the clinical effect of zallouh extract (Ferula Hermonis) on diabetic patients with erectile dysfunction, Pan-Arab League Dermatol, February, 18, 1, 2007.

Jalili-Nik, M., Soukhtanloo, M., Javanshir, S., Yazdi, A. J., Esmaeilizadeh, M., Jafarian, A. H., ve ark. Effects of ethanolic extract of Ferula gummosa oleo-resin in rat model of streptozotocin-induced diabetes, RPS, April, 14, 2, 2019.

Kuzuya, T., Nakagawa, S., Satoh, J., Kanazawa, Y., Iwamoto, Y., Kobayashi, M., ve ark. Report of the committee on the classification and diagnostic criteria of diabetes mellitus, Diabetes Res Clin Pract, January, 55, 1, 2002.

Kyrou I, Tsigos C, Mavrogianni C, Cardon G, Van Stappen V, Latomme J, et al. Sociodemographic and lifestyle-related risk factors for identifying vulnerable groups for type 2 diabetes: a narrative review with emphasis on data from Europe. BMC Endocr. Disord.;20, 1, 2020.

Li, G., Wei, T., Ni, W., Zhang, A., Zhang, J., Xing, Y., & Xing, Q. Incidence and risk factors of gestational diabetes mellitus: a prospective cohort study in Qingdao, China. Frontiers in Endocrinology, September, 11,2020.

Ozmutlu, S., Dede, S., & Ceylan, E. The effect of lycopene treatment on ACE activity in rats with experimental diabetes. *Journal of the Renin-Angiotensin-Aldosterone System*, May,13,3, 2012.

Phillips, M., Cataneo, R. N., Cheema, T., Greenberg, J. Increased breath biomarkers of oxidative stress in diabetes mellitus, Clin Chim Acta, June, 344, 1, 2004.

Pimenov, M. G., Leonov, M. V. The asian umbelliferae biodiversity database (ASIUM) with particular reference to South-West Asian taxa, Turk J Bot, 28, 1, 2004.

Saeedi, P., Petersohn, I., Salpea, P., Malanda, B., Karuranga, S., Unwin, N., ... & IDF Diabetes Atlas Committee. Global and regional diabetes prevalence estimates for 2019 and projections for 2030 and 2045: Results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas. *Diabetes research and clinical practice*, November, *157*, 2019.

Sarıkaya, S., Öner, H., Harput, Ü. Ş. Medicinal plants used for the treatment of diabetes in Turkey, J Fac Pharm, December, 39, 4, 2010.

Tuncay, H. O., Akalın, E., Doğru-Koca, A., Eruçar, F. M., & Miski, M. (2023). Two New *Ferula (Apiaceae)* Species from Central Anatolia: *Ferula turcica* and *Ferula latialata. Horticulturae*, January, 9, 2, 2023.

Yameny, A. A. Diabetes mellitus: a comprehensive review of types, pathophysiology, complications, and standards of care in diabetes 2025. Journal of Medical and Life Science, March, 7,1, 2025.

Yaqoob, U., Nawchoo, I. A., & Ahmad, M. Phytochemical evaluation of various solvent extracts of the leaves, fruits and shoots of Ferula jaeschkeana Vatke. *Herbal Medicine*, *2*,3, 2016.

Yusufoglu, H. S., Soliman, G. A., Abdel-Rahman, R. F., Abdel-Kader, M. S., Ganaie, M. A., Bedir, E., ve ark. Antihyperglycemic and antihyperlipidemica effects of *Ferula duranii* in experimental type 2 diabetic rats, Int J Pharmacol, June, 11, 6, 2015.

Yusufoglu, H. S., Soliman, G. M., Abdel-Rahman, R. F., Abdel-Kader, M. S., Genaie, M. A., Bedir, E., ve ark. Antioxidant and Antihyperglycemic Effects of *Ferula drudeana* and *Ferula huber-morathii* in Experimental Diabetic Rats, Int J Pharmacol, August, 11, 7,2015.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

RAT MODELLERİNDE *URTİCA DİOİCA* EKSTRAKTININ *FARMAKOLOJİK* ETKİLERİ: GÜNCEL DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DERLEMESİ

Öğr. Gör. Ayhan BEYAZPOLAT

Hakkari Üniversitesi, ayhanbeyazpolat@hakkari.edu.tr-0000-0002-7222-0956

Dr. Öğr. Üyesi Ali Kemal ZİREK

Hakkari Üniversitesi, akemalzirek@hakkari.edu.tr- 0000-0002-7881-7251

ÖZET

Bu derleme çalışmasında, 2025-2026 yılları arasında yayımlanan ve rat modelleri üzerinde gerçekleştirilen bazı güncel deneysel araştırmaların sonuçları sistematik bir şekilde ele alınmıştır. Analiz edilen bulgular, *Urtica dioica* (ısırgan otu) bitkisinin zengin fitokimyasal içeriği sayesinde sistemik düzeyde çok yönlü ve güçlü farmakolojik etkilere sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Nörolojik düzeyde yapılan çalışmalar, bitkinin nöropatik ağrıyı azalttığını ve Alzheimer modellerinde Beclin ile LC3β gibi kritik proteinleri modüle ederek otofaji yolaklarını aktive ettiğini göstermektedir. Ayrıca, çevresel nörotoksinlerin beyin dokusunda neden olduğu oksidatif hasarı, lipid peroksidasyonunu (MDA) baskılayarak hafiflettiği saptanmıştır. Organ koruması açısından *Urtica dioica* ; Metotreksat, Sisplatin ve Bisfenol A gibi toksik ajanların yol açtığı hepatorenal hasarları, antioksidan enzim aktivitelerini (SOD, CAT) artırıp pro-apoptotik Kaspaz-3 ekspresyonunu baskılayarak engellemektedir.

Metabolik süreçlerde ise bitkinin, obezite ve diyabet modellerinde insülin direncini (HOMA-IR) anlamlı ölçüde iyileştirdiği, kan glikoz seviyelerini düşürdüğü ve pankreatik beta hücre fonksiyonlarını (HOMA-β) restore ettiği bildirilmiştir. Üreme sisteminde hormonal dengeyi (LH, FSH) sağlaması ve üriner sistemde kalsiyum oksalat taşlarının birikimini önlemesi, Urtica dioica'nın "çok hedefli" tedavi potansiyelini pekiştirmektedir. Özetle bu güncel veriler, ısırgan otunun düşük toksisite profiliyle kronik ve dejeneratif hastalıkların yönetiminde modern tıbbi tedavilere destek sağlayabilecek güçlü bir farmakolojik aday olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Urtica Dioica,* Rat, Oksidatif stres, Antioksidan, Anti-inflamatuar.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

PHARMACOLOGİCAL EFFECTS OF *URTİCA DİOİCA* EXTRACT İN RAT MODELS: A REVİEW OF RECENT EXPERİMENTAL STUDİES

Lec. Ayhan BEYAZPOLAT

Hakkari University, ayhanbeyazpolat@hakkari.edu.tr- 0000-0002-7222-0956

Asst. Prof. Ali Kemal ZİREK

Hakkari University, akemalzirek@hakkari.edu.tr - 0000-0002-7881-7251

ABSTRACT

This review systematically examines the results of some recent experimental studies published between 2025 and 2026 and conducted on rat models. The analyzed findings demonstrate that Urtica dioica (nettle) possesses versatile and potent pharmacological effects at the systemic level due to its rich phytochemical content.

Neurological studies indicate that the plant alleviates neuropathic pain and activates autophagy pathways by modulating key proteins such as Beclin and LC3β in Alzheimer's disease models. Additionally, it mitigates oxidative damage in brain tissue induced by environmental neurotoxins by suppressing lipid peroxidation (MDA).

Regarding organ protection, *Urtica dioica* prevents hepatorenal damage caused by toxic agents such as methotrexate, cisplatin, and bisphenol A by enhancing antioxidant enzyme activities (SOD, CAT) and inhibiting pro-apoptotic Caspase-3 expression.

In metabolic processes, the plant significantly improves insulin resistance (HOMA-IR), reduces blood glucose levels, and restores pancreatic beta-cell function (HOMA-β) in obesity and diabetes models. Furthermore, it contributes to hormonal balance (LH, FSH) in the reproductive system and prevents calcium oxalate stone formation in the urinary tract, highlighting its multi-target therapeutic potential.

In summary, these recent findings indicate that *Urtica dioica*, with its low toxicity profile, is a promising pharmacological candidate that could complement modern medical treatments for chronic and degenerative diseases.

Keywords: *Urtica dioica*, Rat, Oxidative Stress, Antioxidant, Anti-inflammatory.

1.GİRİŞ

Dünya genelinde yaşam süresinin uzaması ve çevresel faktörlerin değişimi, somatosensoriyel sistem hasarı sonucu ortaya çıkan ve nüfusun %5-10'unu etkileyen kronik nöropatik ağrı gibi karmaşık sağlık sorunlarını beraberinde getirmiştir. Bu tür kronik ağrı durumlarına sıklıkla anksiyete, depresyon ve uyku bozuklukları gibi yaşam kalitesini ciddi şekilde düşüren komorbiditeler eşlik etmektedir (Ghahroodi ve ark., 2025). Nörolojik problemlerin yanı sıra, modern tıpta kanser tedavisinde yaygın olarak kullanılan Metotreksat ve Sisplatin gibi kemoterapötik ajanlar ile Bisfenol A gibi endokrin bozucu kimyasallar; karaciğer, böbrek ve kalp gibi hayati organlarda ciddi oksidatif stres, inflamasyon ve programlı hücre ölümü olan apoptozu tetikleyerek organ yetmezliklerine zemin hazırlamaktadır (Alobaidy, 2025; Uyar ve ark., 2025; Şengül ve ark., 2026). Mevcut farmakolojik tedavilerin sıklıkla doz kısıtlayıcı yan etkilere yol açması ve her hastada istenen terapötik yanıtı vermemesi, bilim dünyasını daha güvenli, ekonomik ve çok hedefli etki gösteren doğal bitkisel kaynaklara yöneltmiştir (Chira ve Lorenzetti, 2025; Rani ve ark., 2025).

Urtica dioica (UD), yaygın adıyla ısırgan otu, *Urticaceae* familyasına ait, dünyanın hemen her bölgesinde yetişebilen çok yıllık otsu bir bitkidir (Alobaidy, 2025; Khalifa ve ark., 2025). Geleneksel tıpta antik çağlardan beri çok geniş bir yelpazede kullanılan UD; romatoid artrit, alerjiler, böbrek taşları, gastrointestinal sistem hastalıkları, anemi, diyabet ve hipertansiyon tedavisinde vazgeçilmez bir yer tutmaktadır (Alobaidy, 2025; Khalifa ve ark., 2025; Sabry, 2026). Bitkinin bu köklü tıbbi geçmişi, bünyesinde barındırdığı zengin ve kompleks fitokimyasal bileşiminden kaynaklanmaktadır (Ameen ve ark., 2025). UD'nin yaprak, sap ve tohumları; kuersetin, rutin ve kaempferol gibi güçlü flavonoidler; kafeik asit, ferulik asit ve klorojenik asit gibi fenolik asitler; bitkisel steroller, terpenoidler, vitaminler (A, C, E, K) ve hayati mineraller (demir, kalsiyum, magnezyum) açısından oldukça zengindir (Ameen ve ark., 2025; Sabry, 2026).

2. BİTKİNİN FARMAKOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE KLİNİK KULLANIMI

2.1. *Urtica dioica* bitkisinin botanik özellikleri

Urtica dioica (ısırgan otu), *Urticaceae* familyasına ait çok yıllık bir bitkidir. Genellikle 1–2 metreye kadar uzayabilir ve toprak altında yayılan rizomlara sahiptir. Gövdesi dik, köşeli ve çoğunlukla dallanmamış yapıdadır. Yaprakları karşılıklı dizilmiş, kenarları dişli ve uca doğru sivridir. Bitkinin en dikkat çekici özelliği, yaprak ve gövdede bulunan yakıcı tüylere sahip olmasıdır; bu tüyler temasla tahrişe neden olur. Çiçeklenme genellikle yaz aylarında gerçekleşir. Erkek ve dişi çiçekler farklı bireylerde bulunur. Küçük ve yeşilimsi çiçekler yaprak koltuklarında salkım şeklinde gelişir. Tozlaşma sonrası tek tohumlu küçük meyveler oluşur. Güçlü kök sistemi sayesinde bulunduğu ortama kolayca yayılabilir ve uyum sağlar (Chira ve Lorenzetti, 2025).

2.2. Geleneksel Kullanımları

Urtica dioica, Güney Asya ve Hint alt kıtasında geniş bir yayılışa sahip olup zengin bir tıbbi kullanım geçmişine sahiptir (Sundaram ve Vasanthi, 2022). Nitekim, farmakolojik açıdan önemli olan biyoaktif bileşiklerin önemli bir kaynağı olarak kabul edilmektedir (Chira ve

Lorenzetti, 2025). Etnofarmakolojik açıdan değerlendirildiğinde, terapötik özellikleri nedeniyle saygı görmekte ve çeşitli hastalıkların hem önlenmesinde hem de tedavisinde kullanılmaktadır (Bhusal ve ark., 2022).

Geleneksel olarak hipertansiyon ve karaciğer hastalıkları gibi durumların tedavisinde kullanılmıştır (Semwal ve ark., 2023). Bununla birlikte, bitkinin farmakolojik özellikleri ve kimyasal bileşenlerine yönelik kapsamlı çalışmalar ancak son dönemlerde yapılmıştır. Tıbbi açıdan artrit, alerjiler, idrar yolu rahatsızlıkları ve cilt hastalıklarının tedavisinde kullanılmaktadır (Chira ve ark., 2025).

2.3. Antioksidan özellikleri

Urtica dioica (ısırgan otu), zengin fitokimyasal bileşimi sayesinde rat modelleri üzerinde oldukça güçlü antioksidan özellikler sergilemektedir. Isırgan otunun bu kapasitesi, hem serbest radikalleri doğrudan temizleme hem de hücre içi antioksidan savunma sistemlerini yukarı düzenleme mekanizmalarıyla gerçekleşmektedir (Jaiswal & Lee, 2022).

Sunulan kaynaklar ışığında, bitkinin antioksidan özellikleri şu temel başlıklar altında özetlenmektedir:

Biyoaktif Bileşenler ve Fitokimyasal İçerik: Isırgan otunun antioksidan gücü; rutin, kuersetin, kaempferol ve izoramnetin gibi flavonoidler ile klorojenik, kafeik ve ferulik asit gibi fenolik bileşiklerden kaynaklanmaktadır (Alobaidy, 2025; Chira & Lorenzetti, 2025; Uyar ve ark., 2025). Ayrıca bitkinin uçucu yağları (UDEO); fitol, beta-linalool ve alfa-terpineol gibi güçlü antioksidan terpenoidleri barındırmaktadır (Othmani ve ark., 2025). Bu bileşenler, dokularda reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumunu sınırlayarak hücresel hasarı önler (Rani ve ark., 2025).

Serbest Radikal Süpürme Kapasitesi: *In vitro* araştırmalar, ısırgan otu uçucu yağlarının DPPH, ABTS ve nitrik oksit (NO) radikallerini doza bağlı olarak güçlü bir şekilde süpürdüğünü kanıtlamaktadır. Özellikle UD'nin NO radikalini nötralize etme kapasitesinin, standart bir antioksidan olan askorbik asitten (C vitamini) daha yüksek bir etkinlik sergileyebildiği rapor edilmiştir (Othmani ve ark., 2025).

Endojen Antioksidan Savunma Sistemlerini Güçlendirme: Isırgan otu, vücudun doğal savunma mekanizmasını oluşturan enzimlerin seviyelerini artırarak koruma sağlar (Moukhtar & Awhida, 2026). Yapılan deneysel çalışmalarda UD uygulaması; süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutatyon peroksidaz (GPx) ve glutatyon S-transferaz (GST) enzim aktivitelerini anlamlı düzeyde yükseltmiştir (Ameen ve ark., 2025; Uyar ve ark., 2025). Ayrıca hücrelerin en önemli non-enzimatik koruyucusu olan indirgenmiş glutatyon (GSH) seviyelerini ve toplam antioksidan kapasiteyi (TAC) normalize ettiği saptanmıştır (Omar & Mohamed, 2025; Sabry, 2026).

Lipid Peroksidasyonunu ve Doku Hasarını Önleme: Oksidatif stresin en kritik göstergelerinden biri olan malondialdehit (MDA) seviyeleri; ısırgan otu tedavisiyle karaciğer, böbrek, kalp ve beyin dokularında belirgin şekilde düşürülmektedir (Alobaidy, 2025; Chira ve ark., 2025; Uyar ve ark., 2025). Bitki, hücre zarlarındaki çoklu doymamış yağ asitlerinin oksidasyonunu (lipid peroksidasyonu) baskılayarak membran bütünlüğünü korumakta ve

Sisplatin veya Metotreksat gibi kemoterapötiklerin yol açtığı organ toksisitesini hafifletmektedir (Alobaidy, 2025; Uyar ve ark., 2025).

DNA ve Protein Koruması: Isırgan otunun antioksidan etkisi sadece lipidlerle sınırlı kalmayıp, genetik materyalin korunmasına da yardımcı olmaktadır (Moukhtar & Awhida, 2026). Bitkinin toksik maddelere (örneğin CCl4 veya klorpirifos) maruz kalan ratlarda DNA fragmantasyonunu azalttığı ve protein oksidasyonunu (PCO) baskılayarak bilişsel ve sistemik fonksiyonların devamlılığını sağladığı bildirilmiştir (Chira ve ark., 2025; Moukhtar & Awhida, 2026).

2.4. Geleneksel ve Modern Klinik Uygulamalar

Geleneksel tıpta UD; romatizma, artrit, diyabet, hipertansiyon ve böbrek hastalıkları gibi geniş bir yelpazede kullanılmaktadır (Alobaidy, 2025; Khalifa ve ark., 2025). Günümüzde ise ısırgan otu kök ekstreleri, benign prostat hiperplazisi (BPH) ile ilişkili alt üriner sistem semptomlarının giderilmesinde onaylanmış bir yardımcı tedavidir (Aras ve ark., 2025; Chira & Lorenzetti, 2025). Ayrıca, bitkinin anti-diyabetik özellikleri sayesinde tip 2 diyabet ve diyabetik nefropati yönetiminde kan şekerini dengelediği ve insülin direncini iyileştirdiği klinik ve deneysel olarak kanıtlanmıştır (Ameen ve ark., 2025; Tyas ve ark., 2026).

2.5. Sistemik Farmakolojik Etkiler

2.5.1. Nöroprotektif ve Analjezik Etkiler

UD’nin sinir sistemi üzerindeki etkileri, hem nöropatik ağrı yönetimi hem de nörodejeneratif süreçlerin yavaşlatılması üzerine odaklanmıştır. Kronik daralma hasarı (CCI) ile oluşturulan nöropatik ağrı modelinde, UD ekstraktının (200 mg/kg) soğuk allodiniyi anlamlı şekilde azalttığı ve analjezik etkinliğinin standart ilaç imipramin ile benzer düzeyde olduğu saptanmıştır (Ghahroodi ve ark., 2025). Nörodejenerasyon süreçlerinde ise UD’nin hücresel temizlik mekanizması olan otofajiyi düzenlediği görülmüştür. Streptozotocin (STZ) ile indüklenen Alzheimer modelinde UD uygulaması; Beclin, ATG5 ve LC3β protein ekspresyonlarını artırarak hipokampal dokuda toksik protein birikimini azaltmış ve hafıza fonksiyonlarını iyileştirmiştir (Ayla ve ark., 2025). Ayrıca, klorpirifos kaynaklı nörotoksisite modellerinde UD’nin, beyin dokusundaki lipid peroksidasyonunu baskılayarak davranışsal anksiyete ve depresyon semptomlarını hafiflettiği bildirilmiştir (Chira ve ark., 2025; Chira & Lorenzetti, 2025).

2.5.2. Hepatorenal Koruyucu Etkiler

Isırgan otunun karaciğer ve böbrek dokuları üzerindeki koruyucu etkisi, ilaç ve kimyasal kaynaklı toksisite modellerinde öne çıkmaktadır. Metotreksat (MTX) kaynaklı hepatorenal hasarda, UD tohum yağının serum AST, ALT ve LDH enzim seviyelerini düşürdüğü, doku malondialdehit (MDA) seviyelerini azaltırken antioksidan savunmayı (GSH, GST) güçlendirdiği kanıtlanmıştır (Uyar ve ark., 2025). Benzer şekilde, UD ekstraktının MTX kaynaklı karaciğer hasarında doku iyileşmesini hızlandırdığı rapor edilmiştir (Rani ve ark., 2025). Sisplatin kaynaklı böbrek hasarında UD; pro-inflamatuar belirteçleri (IL-6, TNF-α) ve apoptotik proteinleri (Kaspaz-3, Bax) baskılayarak nefropatiye karşı koruma sağlamaktadır (Alobaidy, 2025). Kimyasal maruziyetlerde ise UD'nin, Bisfenol A (BPA) kaynaklı karaciğer

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

hasarını inflamasyonu ve apoptozu durdurarak hafiflettiği (Şengül ve ark., 2026) ve CCl4 kaynaklı karaciğer fibrozisini önlediği saptanmıştır (Moukhtar & Awhida, 2026).

2.5.3. Metabolik, Endokrin ve İmmünomodülatör Etkiler

Obezite modellerinde UD ekstraktının (500 mg/kg) kan glikozunu düşürdüğü, insülin seviyelerini artırdığı ve insülin direnci göstergelerini (HOMA-IR, HOMA-β) normalize ettiği saptanmıştır (Tyas ve ark., 2026). Diyabetik nefropati modellerinde ise UD'nin oksidatif stres durumunu iyileştirerek böbrek fonksiyonlarını düzelttiği gözlenmiştir (Ameen ve ark., 2025). Üreme sistemi üzerinde UD'nin, obezite kaynaklı testis hasarında Kaspaz-3 ekspresyonunu azaltarak spermatid sayılarını koruduğu (Tangkari ve ark., 2026) ve menopoz modelinde over hasarını azaltarak hormonal dengeyi (LH, FSH, Estradiol) normalize ettiği bildirilmiştir (Khalifa ve ark., 2025). İmmün sistem üzerinde ise, glukokortikoid kaynaklı immünsupresyon modellerinde UD'nin antikor seviyelerini (IgA) iyileştirdiği ve pro-inflamatuar sitokinleri (IL-6, TNF) baskıladığı saptanmıştır (Omar & Mohamed, 2025).

2.5.4. Kardiyoprotektif ve Gastrointestinal Etkiler

UD uçucu yağlarının, miyokard enfarktüsü modellerinde lipid profilini iyileştirdiği ve kalp dokusunda anti-fibrotik etkiler gösterdiği saptanmıştır (Othmani ve ark., 2025). Gastrointestinal sistemde ise UD ekstraktının, deneysel Crohn hastalığı modelinde kolon dokusunda Mn-SOD ve Katalaz salınımını artırarak histopatolojik skorları iyileştirdiği bildirilmiştir (Aras ve ark., 2025). Ayrıca bitkinin sulu ekstraktının kalsiyum oksalat birikimini önleyerek böbrek taşı oluşumunu inhibe ettiği saptanmıştır (El-Ghalban, 2025).

2.6. Moleküler Etki Mekanizmaları

UD'nin farmakolojik etkileri üç temel yolak üzerinden gerçekleşmektedir:

1. **Antioksidan Savunma:** SOD, CAT ve GSH gibi endojen antioksidan enzimlerin aktivitesini artırarak serbest radikalleri temizlemesi ve lipid peroksidasyonunu (MDA) baskılaması (Uyar ve ark., 2025; Moukhtar & Awhida, 2026).
2. **Anti-inflamatuar Yanıt:** NF-κB sinyal yolunu inhibe ederek TNF-α, IL-1β ve IL-6 gibi pro-inflamatuar sitokinlerin salınımını azaltması (Alobaidy, 2025; Şengül ve ark., 2026).
3. **Anti-apoptotik Etki:** Programlı hücre ölümünde rol oynayan Kaspaz-3 ve Bax ekspresyonunu azaltırken, anti-apoptotik Bcl-2 seviyelerini artırarak doku bütünlüğünü koruması (Alobaidy, 2025; Şengül ve ark., 2026; Tangkari ve ark., 2026).

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

2.7. 2025-2026 Yılları Arasında *Urtica Dioica* Üzerine Yapılan Bazı Güncel Bilimsel Çalışmaların Özeti

Çizelge 1. Güncel Deneysel Çalışmalarda *Urtica Dioica* Formları, Doz-Zaman İlişkisi ve Terapötik Çıktılar

Yayın	**Hayvan Modeli**	***Urtica dioica* Ekstraktı / Formu**	**Doz**	**Maruziyet Süresi**	***Urtica Dioica* Etkisinin Sonuçları**
Ghahroodi ve ark. (2025)	Erkek Wistar Sıçan	Hidro-alkolik yaprak ekstraktı	200 mg/kg (oral gavaj)	30 Gün	Nöropatik ağrıyı (soğuk allodini) anlamlı düzeyde azalttı; ancak anksiyete benzeri davranışlar üzerinde belirgin bir iyileşme sağlamadı.
Uyar ve ark. (2025)	Erkek Wistar Albino Sıçan	Tohum Yağı (UDS oil)	30 ml/kg (yeme karıştırılmış)	6 Hafta	Metotreksat kaynaklı karaciğer ve böbrek hasarını önledi; oksidatif stresi (MDA) düşürürken, hücre ölümünü (Kaspaz-3) baskıladı ve antioksidan kapasiteyi artırdı.
Alobaidy (2025)	Sıçan	Etanolik yaprak ekstraktı	300 mg/kg (Oral gavaj)	3 Hafta	Sisplatin kaynaklı böbrek hasarını; NF-κB ve inflamatuar sitokinleri (TNF-α, IL-6) baskılayarak ve apoptotik dengeyi geri kazandırarak iyileştirdi.
Khalifa ve ark. (2025)	Dişi Sıçan (Menopoz modeli)	Etanolik yaprak ekstraktı	100 mg/kg (oral gavaj)	20 Gün	VCD kaynaklı over hasarını azalttı; serum LH ve FSH seviyelerini düşürürken, östradiol ve testosteron seviyelerini normalize etti.
Othmani ve ark. (2025)	Dişi Wistar Sıçan	Uçucu Yağ (UDEO)	200 ve 300 mg/kg (Oral gavaj)	30 gün	Miyokard enfarktüsü modelinde lipid profilini iyileştirdi, kalp enzimlerini (Tn-I) ve ACE aktivitesini

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

					düşürerek kardiyoprotektif etki gösterdi.
Ayla ve ark. (2025)	Dişi Long-Evans Sıçan	Sulu yaprak ekstraktı	50 mg/kg (Oral gavaj)	4 hafta	STZ ile indüklenen Alzheimer modelinde hipokampal dokuda otofaji yolaklarını (Beclin, LC3β) düzenleyerek nörodejenerasyonu hafifletti.
Ameen ve ark. (2025)	Sıçan (Diyabetik nefropati)	Yaprak tozu ve sulu ekstrakt	%10 toz veya 3 ml ekstrakt (Diyet ve oral gavaj)	42 gün	Kan şekerini ve lipid profilini iyileştirdi; böbrek fonksiyon testlerini (üre, kreatinin) düzeltti ve antioksidan savunmayı (SOD, CAT) güçlendirdi.
Chira ve ark. (2025)	Sıçan	Etanolik ekstrakt	200 mg/kg (Oral)	14 Gün	Klorpirifos kaynaklı nörotoksisiteye karşı beyin ve beyincikte oksidatif hasarı azalttı, lokomotor aktiviteyi ve çalışma belleğini korudu.
Tyas ve ark. (2026)	Erkek Sprague Dawley Sıçan	Etanolik ekstrakt (yaprak, gövde, kök)	125, 250 ve 500 mg/kg (Oral gavaj)	4 Hafta	Obez sıçanlarda kan şekerini düşürdü, insülin direncini (HOMA-IR) azalttı ve pankreatik beta hücre fonksiyonunu (HOMA-β) iyileştirdi.
Şengül ve ark. (2026)	Erkek Wistar Albino Sıçan	Etanolik ekstrakt (toprak üstü kısımlar)	100 ve 200 mg/kg (Oral gavaj)	56 Gün	Bisfenol A kaynaklı karaciğer hasarını; apoptozu (Bax/Bcl-2 oranı) ve inflamasyonu (TNF-α) baskılayarak hafifletti.
Omar ve Mohamed (2025)	Erkek Albino Sıçan	Yaprak tozu	%10 ve %20 (diyette)	4 Hafta	Hidrokortizon kaynaklı immünsupresyonu önledi; IgA ve GSH seviyelerini artırırken, IL-6 ve TNF seviyelerini düşürdü.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

El-Ghalban (2025)	Sıçan (Böbrek taşı modeli)	Sulu yaprak ekstraktı	%10 ve %15 (diyette)	43 Gün	Kalsiyum oksalat birikimini ve böbrek taşı oluşumunu anlamlı şekilde azalttı; böbrek fonksiyonlarını normalize etti.
Rani ve ark. (2025)	Sıçan	Petrol eteri yaprak ekstraktı	100 ve 200 mg/kg	7 Gün	Metotreksat kaynaklı karaciğer enzim artışını ve oksidatif stresi (SOD, GPx) azaltarak hepatoprotektif etki gösterdi.
Moukhtar ve Awhida (2026)	Sıçan	Sulu yaprak ekstraktı	10g / 100ml ekstraksiyon	4 hafta	CCl4 kaynaklı karaciğer fibrozisini ve DNA fragmantasyonunu azalttı; antioksidan enzim aktivitelerini artırdı.
Sabry (2026)	Erkek Albino Sprague Dawley	Yaprak tozu	%5 ve %10 (diyette)	8 Hafta	Oksidatif stresi ve inflamasyonu (IL-6, TNF-α) azalttı; böbrek ve karaciğer fonksiyon testlerini iyileştirdi.

3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu derleme kapsamında analiz edilen 2025-2026 yılları arasındaki güncel deneysel çalışmalar, *Urtica dioica* (UD) ekstraktlarının, tohum yağının ve uçucu bileşenlerinin rat modelleri üzerinde sistemik ve moleküler düzeyde oldukça geniş bir farmakolojik spektruma sahip olduğunu kesin bir şekilde kanıtlamaktadır. Elde edilen veriler, ısırgan otunun sadece geleneksel bir halk ilacı değil, aynı zamanda modern tıpta özellikle oksidatif stres, kronik inflamasyon ve programlı hücre ölümü (apoptoz) temelli patolojilerin yönetiminde çok hedefli (multi-target) bir terapötik ajan adayı olduğunu doğrulamaktadır (Chira ve Lorenzetti, 2025; Uyar ve ark., 2025; Sabry, 2026).

UD'nin nöroprotektif potansiyeli, somatosensoriyel sistem hasarlarından nörodejeneratif süreçlere kadar hayati bir koruma sağlamaktadır. Bitkinin nöropatik ağrı modellerinde soğuk allodiniyi azaltma kapasitesinin standart bir farmakolojik ajan olan imipramin ile benzer düzeyde saptanması, kronik ağrı yönetiminde yan etkisi düşük bir alternatif sunduğunu göstermektedir (Ghahroodi ve ark., 2025). Moleküler düzeyde ise hipokampal dokuda Beclin, ATG5 ve LC3β gibi proteinleri modüle ederek otofaji yolaklarını aktive etmesi, Alzheimer gibi hastalıklarda toksik protein birikimini engelleyerek bilişsel fonksiyonların korunmasına yardımcı olmaktadır (Ayla ve ark., 2025). Bununla birlikte, klorpirifos gibi çevresel nörotoksinlere maruziyet durumunda beyin ve beyincik dokusundaki lipid peroksidasyonunu

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

(MDA) ve protein oksidasyonunu (PCO) baskılayarak lokomotor aktiviteyi ve çalışma belleğini muhafaza ettiği kanıtlanmıştır (Chira ve ark., 2025).

Organ koruyucu etkiler açısından bakıldığında UD, özellikle Metotreksat ve Sisplatin gibi ağır kemoterapötiklerin neden olduğu karaciğer ve böbrek hasarına karşı üstün bir sitoprotektif profil sergilemektedir. Bu koruyucu etki; karaciğer enzimlerinin (AST, ALT, LDH, ALP) normalizasyonu, üre ve kreatinin gibi böbrek fonksiyon testlerinin iyileştirilmesi ve SOD, CAT, GPx, GSH gibi endojen antioksidan savunma sistemlerinin yukarı düzenlenmesi yoluyla gerçekleşmektedir (Alobaidy, 2025; Uyar ve ark., 2025; Rani ve ark., 2025). Ayrıca bitkinin Kaspaz-3 aracılı apoptozu baskılaması ve Bax/Bcl-2 oranını hücre sağkalımı lehine düzenlemesi, organ bütünlüğünü korumadaki başarısını pekiştirmektedir (Şengül ve ark., 2026; Keleş ve ark., 2024). Üriner sistem üzerinde ise kalsiyum oksalat birikimini önleyerek anti-ürolitiyatik etki gösterdiği ve böbrek taşı oluşumunu anlamlı düzeyde inhibe ettiği saptanmıştır (El-Ghalban, 2025).

Metabolik ve endokrin düzenleme alanında UD, obezite ve diyabet modellerinde insülin direncini (HOMA-IR) iyileştirme ve pankreatik beta hücre fonksiyonlarını (HOMA-β) restore etme konusunda doz bağımlı başarılar göstermiştir (Ameen ve ark., 2025; Tyas ve ark., 2026). Üreme sistemi üzerinde ise over dokusundaki dejenerasyonu ve atreziyi azaltarak hormonal dengeyi (LH, FSH, Estradiol) sağlaması, bitkinin endokrin sistem üzerindeki çok yönlü iyileştirici etkisini yansıtmaktadır (Khalifa ve ark., 2025). Kardiyovasküler sistemde saptanan ACE inhibisyonu, anti-fibrotik etkiler ve EKG parametrelerinin (ST-segmenti normalizasyonu) iyileşmesi, UD'nin miyokard enfarktüsü ve hipertansiyon gibi durumlarda da koruyucu olduğunu desteklemektedir (Aras ve ark., 2025; Othmani ve ark., 2025).

Sonuç olarak, *Urtica dioica*'nın farmakolojik etkinliğinin temelinde, bünyesinde barındırdığı zengin flavonoid ve fenolik asitlerin (quercetin, rutin, kaempferol vb.) sinerjik etkileşimiyle ortaya çıkan güçlü antioksidan ve anti-inflamatuar mekanizmalar yatmaktadır. Bitkinin geniş bir güvenlik marjına sahip olması ve çalışılan terapötik dozlarda belirgin bir toksisite göstermemesi, klinik geçiş potansiyelini artırmaktadır (Zahra ve ark., 2026). Gelecekteki araştırmaların, UD'nin spesifik izole biyoaktif bileşenlerinin insan klinik pratiğindeki etkinliğini netleştirmesi ve bu bulguları standardize edilmiş preparatlara dönüştürmesi, ısırgan otunun modern tıpta standart tedavilere destekleyici olarak entegre edilmesinin yolunu açacaktır.

KAYNAKÇA

Alobaidy, M. A. Multifaceted nephroprotection: Exploring nettle (*Urtica dioica*) extract role in combating cisplatin-induced renal injury, Bulletin of Egyptian Society for Physiological Sciences, Nisan, 45, 1, 2025.

Ameen, A. A., El-Masry, H. G., Alhazmi, R. S. S. Effect of Nettle Leaves (*Urtica dioica* L.) On Oxidative Stress Status of Induced Diabetic Nephropathy Rats, Egyptian Journal for Specialized Studies, Temmuz, 13, 47, 2025.

Aras, Ş. Y., Gezer, A., Mokhtare, B., Sari, E. K. Effects of vitamin D and common nettle (*Urtica dioica*) extract administration on Mn-SOD and Catalase (CAT) secretion in the colon tissues of rats with experimentally induced Crohn's disease, Biotechnic & Histochemistry, Aralık, 100, 1, 2025.

Ayla, S., Saygi, H. I., Sahin, M., Ciftkaya, E., Kilic, A., Pence, S., Bahadori, F., Dolanbay, E. G., Elibol, B. *Urtica dioica* can regulate autophagy pathway in the rat hippocampal tissue after STZ-induced neurodegeneration, Northern Clinics of Istanbul, Eylül, 12, 5, 2025.

Bhusal, K. K., Magar, S. K., Thapa, R., Lamsal, A., Bhandari, S., Maharjan, R., Shrestha, S., Shrestha, J. Nutritional and pharmacological importance of stinging nettle (*Urtica dioica* L.): A review, Heliyon, Haziran, 8, 6, 2022.

Chira, A., Dridi, I., Rahmouni, F., Ben Amor, I., Gargouri, B., Kallel, C., Jamoussi, K., El Feki, A., Saoudi, M. Neuroprotective and antioxidant effects of *Urtica dioica* extract against chlorpyrifos-induced toxicity: an in vivo study, 3 Biotech, Mart, 15, 86, 2025.

Chira, A., Lorenzetti, S. Modulatory Effects of *Urtica dioica* on Neurodegenerative Diseases: Unveiling the Latest Findings and Applications Related to Neuroinflammation, Oxidative Stress, and Cognitive Dysfunction, Antioxidants, Temmuz, 14, 7, 2025.

El-Ghalban, E. M. Effect of Aqueous extracts of *Ocimum basilicum* L., *Urtica dioica* L. and their mixture on Rats Suffering from kidney stones, Scientific Journal of the Faculty of Specific Education, Aralık, 12, 12, 2025.

Jaiswal, V., & Lee, H. J. Antioxidant activity of *Urtica dioica:* An important property contributing to multiple biological activities. *Antioxidants*, December, 11, 12, 2022.

Khalifa, A. A., Jasim, W. K., Kadhem, M. A., Al-Janabi, B. A. The protective effects of *Urtica dioica* ethanolic extract against ovarian damage induced by 4-vinylcyclohexene diepoxide in a rat model of menopause, Kerbala Journal of Veterinary Medical Sciences, July, 1, I, 2025.

Moukhtar, K. M., Awhida, A. D. *Urtica diocia* L. ameliorative efficiency against CCl4-induced hepatic fibrosis in rats, Mediterranean Journal of Medical Research, Ocak, 3, 1, 2026.

Naeimi Ghahroodi, M. H., Bahari, Z., Mashhadi Akbar Boojar, M. Comparative analysis of analgesic and anxiolytic effects of alcoholic extracts from *Eryngium billardieri* and *Urtica dioica* in a rat model of chronic pain, Behavioural Brain Research, Mart, 485, 2025.

Omar, A. A. A., Mohamed, F. E. S. The effect of *Urtica dioica* on immunocompromised rats by using hydrocortisone, Research Journal Specific Education, Mayıs, 92, 2025.

Othmani, S., Rizzo, P., Dhibi, S., Feriani, A., Abessi, R., Severi, P., Ouambo Talla, A. W., Titiriga Tudor, G. D., Choura, S., Chamkha, M., Hfaiedh, N. Structural characterization and cardioprotective effects of *Urtica dioica* L. essential oil against isoproterenol-induced myocardial infarction in rats, South African Journal of Botany, Temmuz, 184, 1124–1140, 2025.

Rani, S., Sharma, C., Jain, D., Chaudhary, P., Bhatia, D. *Urtica dioica* L. attenuate methotrexate induced hepatotoxicity in rats, Letters in Applied NanoBioScience, Şubat, 14, 2, 2025.

Sabry, S. M. Potential Effects of Thyme (*Thymus vulgaris* L.) and Nettle (*Uritca dioica* L.) on Oxidative Stress and Inflammation in Rats, Journal of Studies and Research in Specific Education, Ocak, 11, 1, 2026.

Semwal, P., Rauf, A., Olatunde, A., Singh, P., Zaky, M. Y., Islam, M. M., Khalil, A. A., Aljohani, A. S. M., Al Abdulmonem, W., Ribaudo, G. The Medicinal Chemistry of *Urtica dioica* L.: From Preliminary Evidence to Clinical Studies Supporting Its Neuroprotective Activity, Natural Products and Bioprospecting, Aralık, 13, 16, 2023.

Sundaram, R. L., Vasanthi, H. R. Spermacoce Hispida Linn: A Critical Review on Pharmacognosy, Phytochemistry, and Pharmacology Based on Traditional Claims, Phytomedicine Plus, Şubat, 2, 100143, 2022.

Şengül, G. P., Kirman, G., Şengül, S. A. *Urtica dioica* L. attenuates bisphenol A-induced hepatotoxicity in rats by suppressing apoptosis and inflammation, Cukurova Medical Journal, Şubat, 51, 1, 2026.

Tangkari, K. A., Tyas, J. G., Sutiani, H., Zaenudin, Rizal, D. M., & Setyawan, J. Modulation of caspase-3 expression and spermatogenic cells by Urtica dioica extract in obesity-induced male rats. *Indonesian Journal of Biomedicine and Clinical Sciences,* January, 58, 1, 2026.

Tyas, J. G., Tangkari, K. A., Zaenudin, Sutiani, H., Farmawati, A., Prasetyastuti. Anti-hyperglycemic activity of *Urtica dioica* extract in obese male Sprague Dawley rats: Evaluation of HOMA-IR and HOMA-β, Qanun Medika, Ocak, 10, 1, 2026.

Uyar, A., Dogan, A., Yaman, T., Uslu, S., Uyar, Ş., Çelik, İ. Ameliorative Effects of Nettle (*Urtica dioica*) seed extract on methotrexate-induced hepatorenal damage in rats, Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, Haziran, 13, 6, 2025.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

THE EFFECT OF SMOKING ON POSTOPERATIVE NAUSEA AND VOMITING IN PATIENTS UNDERGOING GENERAL ANESTHESIA: A SINGLE-CENTER RETROSPECTIVE OBSERVATIONAL STUDY

Hazal Nur KILIÇ, MD

Malatya Training and Research Hospital, Anesthesiology and Reanimation

hazalnurtezel@yahoo.com

ORCID ID: 0009-0000-7037-6730

Assoc. Prof. Dr. Leman Acun DELEN

Malatya Turgut Özal University, Anesthesiology and Reanimation

lacundelen@gmail.com

ORCID ID: 0000-0001-9441-6979

ABSTRACT

Objective

The effect of smoking on postoperative nausea and vomiting (PONV) remains controversial in the literature. The aim of this study was to evaluate the impact of smoking on the incidence of PONV, perioperative hemodynamics, and pharmacological treatment requirements in patients undergoing elective surgical procedures.

Materials and Methods

A total of 548 patients who underwent surgery under general anesthesia between December 2025 and March 2026 were retrospectively analyzed. Patients were divided into two groups according to smoking status. Demographic characteristics, ASA scores, duration of surgery, Aldrete scores, perioperative hemodynamic parameters, and postoperative treatments were compared between the groups.

Results

ASA scores were significantly higher in smokers compared with non-smokers ($p = 0.006$). Contrary to the general expectation in the literature, the incidence of PONV was significantly

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

higher in the smoking group than in the non-smoking group (52.5% vs 38.4%; p = 0.001). No significant differences were observed between the groups in terms of operation duration or hemodynamic parameters. In the postoperative period, corticosteroid requirement was markedly higher in smokers than in non-smokers (40.7% vs 19.5%; p < 0.001).

Conclusion

In our study, smoking was identified as a risk-increasing variable rather than a protective factor for the development of PONV. This finding may be associated with increased airway irritability in smokers and the mechanical stimuli related to it. In the perioperative management of patients who smoke, multimodal strategies should be planned, particularly considering airway sensitivity and the elevated risk of PONV.

Key words: Tobacco smoking, Postoperative Nausea and Vomiting, Postoperative Care

Introduction

Tobacco use remains a major public health problem worldwide. According to data from the World Health Organization (WHO), approximately 1.2 billion people use tobacco globally, representing a decline compared with the 1.38 billion users reported in 2000. Nevertheless, on a global scale, one in five adults continues to use tobacco. (1) Tobacco use also remains a significant public health issue in Türkiye. According to recent epidemiological data, the prevalence of smoking among adults aged 15 years and older ranges between approximately 24–32%, with nearly 20 million adults identified as active smokers. The distribution by sex shows a markedly higher prevalence among men, estimated at approximately 31–42%, compared with 16–20% among women. (2)

Postoperative nausea and vomiting (PONV) is one of the most common complications following general anesthesia and occurs in approximately 20–30% of patients. In high-risk patient groups, this rate may increase to as high as 70%. In addition to reducing patient comfort, PONV may lead to important clinical consequences such as an increased risk of aspiration, prolonged hospital stay, and increased healthcare costs. (3) For this reason, numerous studies have been conducted in the literature regarding PONV, leading to the development of several clinical guidelines. One such guideline was developed by an international expert panel under the auspices of the American Society for Enhanced Recovery and Perioperative Medicine (ASER PM), based on a comprehensive literature review conducted up to September 2019. As stated in these guidelines, female sex, a history of motion sickness or previous PONV, non-

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

smoking status, and postoperative opioid use have been identified as risk factors for the development of PONV. (4) Although various pharmacological agents are used in treatment and prophylaxis strategies, corticosteroids are among the effective antiemetic agents. (3)

Objective

This study aimed to evaluate the effect of smoking on the development of postoperative nausea and vomiting (PONV) in patients undergoing elective surgical procedures. Additionally, the study sought to determine the relationship between smoking status and the incidence of PONV, and to identify potential factors that may contribute to perioperative PONV risk assessment.

Materials and Methods

This study is a retrospective observational study conducted to evaluate the effect of smoking on the development of postoperative nausea and vomiting (PONV) in patients undergoing elective surgical procedures. A total of 548 patients who underwent surgical procedures under general anesthesia at our hospital between November 2025 and February 2026 were included in the study.

Patient data were obtained retrospectively from the hospital information system and anesthesia records. The variables evaluated included smoking status, type of surgery, American Society of Anesthesiologists (ASA) physical status score, post-anesthesia care unit (PACU) monitoring time, and postoperative Aldrete score. In addition, the minimum and maximum systolic blood pressure, heart rate, and peripheral oxygen saturation values recorded during the PACU monitoring period were analyzed.

Patients were divided into two groups according to smoking status: smokers and non-smokers. The primary endpoint of the study was the development of PONV in the postoperative period. Pharmacological treatments administered during the postoperative period were also evaluated, including ondansetron, corticosteroids, paracetamol, ephedrine, atropine, theophylline, 1000 cc 0.9% NaCl infusion, cold steam therapy, oxygen therapy, and bronchodilator agents (salbutamol and budesonide).

To ensure standardization of the study, only patients who received similar anesthesia induction and maintenance protocols were included. It was confirmed that the use of volatile anesthetics (inhalational anesthesia) and total intravenous anesthesia (TIVA), which may directly influence the risk of postoperative nausea and vomiting (PONV), as well as the intraoperative opioid

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

doses administered, were within similar ranges in accordance with our clinical routine, considering comparable surgical durations and patient characteristics.

Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using the IBM SPSS Statistics for Windows, Version 26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) software package. In descriptive statistics, continuous variables were presented as Mean ± Standard Deviation (Mean ± SD), while categorical variables were expressed as numbers and percentages [n (%)].

The normality of continuous variables (ASA score, duration of surgery, Aldrete score, and hemodynamic parameters) was assessed using descriptive statistics, the Shapiro–Wilk test, and graphical methods (histograms and Q–Q plots). Considering the large sample size (n = 344 and n = 204) and the central limit theorem, the Independent Samples t-test was used for comparisons of these continuous variables between groups. The assumption of homogeneity of variances was evaluated using Levene's test, and equal variances were confirmed.

For comparisons of categorical variables, the Pearson Chi-square test was used, while Fisher's Exact test was applied in cases with low expected cell counts. Additionally, Logistic Regression Analysis was performed to determine the independent effect of smoking on postoperative nausea and vomiting (PONV) and corticosteroid requirement, and to control for potential confounding factors such as ASA score and duration of surgery. Regression results were reported as adjusted Odds Ratios (OR) with 95% Confidence Intervals (CI). In all analyses, statistical significance was defined as a two-tailed p value of < 0.05 and < 0.001.

Results

Of the 548 patients included in the study, 344 (62.8%) were non-smokers and 204 (37.2%) were smokers. The baseline demographic characteristics of the patients, operative variables, and comparative analyses between the groups are presented in Table 1. The ASA physical status scores were significantly higher in the smoking group compared with the non-smoking group (1.95 ± 0.49 vs. 1.82 ± 0.58; p = 0.006). To evaluate the clinical relevance of this difference, an effect size analysis was performed, and the Cohen's d coefficient for the ASA score was calculated as 0.24, indicating a "small" effect size despite statistical significance.

On the other hand, no statistically significant differences were observed between the groups in terms of mean PACU monitoring duration (27.67 ± 10.3 min vs. 27.57 ± 12.0 min; p = 0.921)

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

or Aldrete recovery scores at discharge (9.58 ± 0.49 vs. 9.54 ± 0.49; $p = 0.342$). The calculated effect sizes for these variables ($d = 0.01$ and $d = 0.08$, respectively) were considered clinically negligible.

Regarding intraoperative hemodynamic trends and oxygenation parameters, both groups demonstrated similar characteristics. As detailed in Table 2, no statistically significant differences were observed between the groups in terms of systolic blood pressure (minimum and maximum values), heart rate, or peripheral oxygen saturation (SpO_2) levels ($p > 0.05$ for all parameters). These findings confirm that smoking status was not associated with major hemodynamic instability or a significant risk of desaturation under the current anesthesia protocol and surgical conditions.

The primary clinical outcomes of the study, including recovery profile and postoperative complication rates, are summarized in Table 3. The incidence of PONV was significantly higher among smokers (52.5%) compared with non-smokers (38.4%) ($p = 0.001$). Logistic regression analysis was performed to assess the independent effect of smoking on these outcomes and to control for potential confounders (ASA score and PACU duration). The analysis demonstrated that smoking increased the risk of PONV by 1.79-fold (OR: 1.79, 95% CI: 1.25–2.56, $p = 0.001$).

Similarly, the need for rescue corticosteroid therapy was significantly higher in smokers than in non-smokers (40.7% vs. 19.5%; $p < 0.001$), and the regression model indicated that smoking increased the likelihood of corticosteroid use by approximately twofold (OR: 2.03, 95% CI: 1.41–2.94, $p < 0.001$). Although ondansetron requirement tended to be higher in smokers, this difference did not reach statistical significance (10.3% vs. 5.2%; $p = 0.079$). No significant differences were observed between the groups in terms of other pharmacological interventions, nebulized therapies (salbutamol/budesonide), or the need for oxygen supplementation ($p > 0.05$).

Discussion

In this study, the incidence of PONV was found to be higher in patients who smoked compared with those who did not smoke (52.5% vs 38.4%, $p = 0.002$). This finding differs from the dominant view in the classical PONV literature. In the simplified Apfel score, which is one of the most commonly used risk classification systems, non-smoking status is defined as one of

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

the four major independent risk factors for PONV in adult patients; the 2020 international consensus guideline maintains the same approach. (4,5)

There are several possible explanations for the higher rate of PONV observed among smokers in our series. Although smoking status was evaluated as a single variable, PONV is a multifactorial outcome. Determinants such as sex, previous history of PONV or motion sickness, postoperative opioid use, type of surgery, and anesthesia technique may strongly influence the results. As demonstrated in the Apfel model, binary comparisons performed without controlling for these variables may misrepresent the true effect of smoking. (5) Evidence-based models in the literature, including the Apfel scoring system, have widely described smoking as a paradoxically protective factor against postoperative nausea and vomiting (PONV). However, the significantly higher incidence of PONV observed in smokers in our study (52.5%) suggests that the mechanisms underlying this assumption may require reconsideration.

We believe that this inverse correlation may primarily be related to the chronic irritant effect of smoking on the airway. Bronchial hyperreactivity and increased tracheobronchial secretions observed in smokers may lead to a pronounced cough reflex and laryngeal irritation in the postoperative period. This mechanical irritation, together with the increase in intra-abdominal pressure during coughing, may indirectly stimulate the emetic center and trigger the vomiting reflex. The markedly higher requirement for corticosteroids observed among smokers in our cohort also supports the presence of increased airway sensitivity. In addition, Khalili et al. reported that although crude rates may differ, smoking may not remain an independent determinant of nausea or vomiting after adjustment for confounding factors. (6)

It has also been suggested that postoperative pain severity and opioid requirements may be higher in smokers, which may indirectly increase the risk of PONV. Recent observational studies have indicated that opioid consumption and certain early postoperative symptoms may be higher among smokers, which may consequently influence nausea and vomiting rates. Therefore, the higher PONV rate observed in our study may be the result of other perioperative variables associated with smoking rather than a direct emetogenic effect of smoking itself. (7)

Although some studies have reported lower PONV rates among smokers, the antiemetic effect of nicotine alone has not been consistently demonstrated. Whalen et al. investigated the relationship between recent exposure to cigarette smoke and postoperative nausea (8), while

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Czarnetzki et al. demonstrated that transdermal nicotine administration did not prevent PONV. (9) These findings suggest that the observed effect may not be solely related to nicotine but may instead be associated with other components of cigarette smoke, enzyme induction, or differences in patient profiles.

Regarding differences in patient profiles, one important aspect to consider in our study is the higher ASA score observed in the smoking group. Kim et al. suggested that ASA score may have an indirect association with PONV. An increased ASA score is often related to a greater burden of comorbidities, a higher number of medications used, and prolonged surgical duration, all of which may contribute to the development of PONV. (10) For example, Suyuthi et al. reported a statistically significant association between ASA physical status classification and PONV. (11)

The corticosteroid data in our study should also be interpreted cautiously. In the dataset, all patients who received corticosteroids also had documented PONV, suggesting that corticosteroids were most likely administered as rescue therapy after the development of PONV rather than for prophylactic purposes. Therefore, the corticosteroid variable does not appear suitable for establishing a causal relationship. However, this association provides a more meaningful observation: the higher incidence of PONV among patients with higher ASA scores who also smoked, together with the increased use of rescue corticosteroid therapy, suggests that smoking may not exert a true antiemetic effect in this patient population. Instead, concomitant airway irritability and increased perioperative physiological stress may play a more dominant role.

Accordingly, the positive association between smoking and PONV observed in this cohort deviates from the classical literature suggesting that “PONV is more common in non-smokers.” Nevertheless, it may reflect a distinct clinical phenotype characterized by airway irritation, an increased tendency for respiratory complications, and a greater need for additional pharmacological interventions. Similarly, the higher ASA score observed in this study should be interpreted not as a direct component of traditional PONV risk scoring systems, but rather as an indicator reflecting the patient’s overall disease burden and perioperative vulnerability.

Hsieh et al. reported that higher ASA levels may be associated with postoperative vomiting/PONV; for example, in a laparoscopic cholecystectomy series, patients who developed postoperative vomiting had higher ASA scores. (12) Therefore, in our study, the

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

coexistence of higher ASA scores with smoking and increased corticosteroid requirements may indicate a subgroup of patients with greater comorbidity burden and more pronounced airway sensitivity and perioperative stress responses, rather than representing an independent emetogenic factor. In other words, the elevated ASA score in this context should be interpreted not as a primary cause of PONV but as part of a broader clinical picture characterized by smoking-related respiratory sensitivity and increased inflammation associated with heightened perioperative stress.

Our study has several important limitations. First, due to the retrospective nature of the study, detailed information such as the patients' smoking pack-year history and the duration of preoperative smoking cessation could not be obtained. Second, and most importantly, the ASA scores were statistically higher in the smoking group. This finding suggests that, in addition to smoking, concomitant systemic diseases may have acted as a confounding factor affecting PONV and recovery parameters. Although the independent effects of these variables were not separated through multivariate analysis in our study, the obtained data indicate a clinically meaningful difference. Future prospective studies conducted in patient groups with homogeneous ASA scores may help clarify this relationship more clearly.

Conclusion

In this study, contrary to the prevailing view in the literature that non-smoking is a risk factor for PONV, the incidence of PONV was found to be significantly higher in patients who smoked. Our findings suggest that the higher perioperative ASA scores and increased corticosteroid requirements observed in smokers may indicate greater airway irritability, an enhanced inflammatory response, and increased systemic stress in this patient group. In this context, rather than the central antiemetic effects of smoking, peripheral airway reactivity may play a more dominant role in the pathophysiology of PONV, particularly during the early recovery period.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Tables

Table 1. Comparison of Demographic and Operative Characteristics

Variable	Non-Smokers (n=344)	Smokers (n=204)	p value
ASA Score (Mean ± SD)	1.82 ± 0.58	1.95 ± 0.49	0.006*
PACU Monitoring Time (min)	27.5 ± 12.0	27.6 ± 10.3	0.921
Aldrete Score	9.54 ± 0.49	9.58 ± 0.49	0.342

*Data are presented as Mean ± Standard Deviation (Mean ± SD). ASA: American Society of Anesthesiologists physical status score. $p < 0.05$ indicates statistical significance.

Normality of data distribution between groups was assessed using the **Shapiro–Wilk test**. Parametric variables were analyzed using the **Independent Samples t-test**.

Table 2. Postoperative Hemodynamic and Oxygenation Parameters

Parameter	Non-Smokers (n=344)	Smokers (n=204)	p value
Min SBP (mmHg)	125.8 ± 18.0	125.4 ± 15.7	0.789
Max SBP (mmHg)	138.6 ± 18.0	138.8 ± 16.1	0.870
Min HR (beats/min)	74.2 ± 14.0	72.2 ± 12.9	0.102
Max HR (beats/min)	83.8 ± 15.5	81.7 ± 14.1	0.108

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Parameter	Non-Smokers (n=344)	Smokers (n=204)	p value
Min SpO_2 (%)	94.67 ± 3.2	94.39 ± 2.3	0.289
Max SpO_2 (%)	97.68 ± 1.8	97.55 ± 1.7	0.397

Data are expressed as Mean ± Standard Deviation (Mean ± SD).

Min SBP: Lowest systolic blood pressure recorded during PACU monitoring.
Max SBP: Highest systolic blood pressure recorded during PACU monitoring.
Min SpO_2: Lowest peripheral oxygen saturation recorded during PACU monitoring.

Continuous variables were compared between groups using the **Independent Samples t-test**. No statistically significant differences were observed between the groups ($p > 0.05$).

Table 3. Postoperative Recovery Profile and Rescue Medications

Variable	Non-Smokers (n=344)	Smokers (n=204)	p value
Presence of PONV, n (%)	132 (38.4%)	107 (52.5%)	0.001*
Corticosteroid Use	67 (19.5%)	83 (40.7%)	< 0.001*
Ondansetron Use	18 (5.2%)	21 (10.3%)	0.079
Nebulizer (Ventolin/Pulmicort)	12 (3.5%)	8 (3.9%)	0.791

*Data are presented as number and percentage [n (%)].

PONV: Postoperative Nausea and Vomiting.
Rescue nebulizer therapy refers to **Ventolin (salbutamol)** and/or **Pulmicort (budesonide)** administered during the recovery period.

Categorical variables (presence of PONV and medication requirements) were compared using the **Pearson Chi-square test**. When expected cell counts were less than 5, **Fisher's Exact test** results were considered.

$p < 0.05$ and $p < 0.001$ indicate statistical significance.

References

1. World Health Organization. (2025). *Global report on trends in prevalence of tobacco use 2000–2024*. Geneva: World Health Organization.
2. The Tobacco Atlas. (2024). *Tobacco use in Turkey*. https://tobaccoatlas.org
3. Gan, T. J. (2020). Consensus guidelines for the management of postoperative nausea and vomiting. *Anesthesia & Analgesia*.
4. Jin, Z., Gan, T. J., & Bergese, S. D. (2020). Prevention and treatment of postoperative nausea and vomiting (PONV): A review of current recommendations and emerging therapies. *Therapeutics and Clinical Risk Management, 16*, 1305–1317. https://doi.org/10.2147/TCRM.S256234
5. Apfel, C. C., Läärä, E., Koivuranta, M., Greim, C. A., & Roewer, N. (1999). A simplified risk score for predicting postoperative nausea and vomiting: Conclusions from cross-validations between two centers. *Anesthesiology, 91*(3), 693–700. https://doi.org/10.1097/00000542-199909000-00022
6. Khalili, H., Ihmoud, F., Abdelrazeq, H., Taha, A. A., Shamma, F. A., Barqawi, A., & Zyoud, S. H. (2025). The effect of smoking on postoperative pain and nausea, and vomiting. *Perioperative Medicine, 15*(1), 5. https://doi.org/10.1186/s13741-025-00634-5
7. Gevenkiriş Ak, S., Altınel, S., Şen, Ö., & Ünver, S. (2025). Effects of smoking on postoperative pain and opioid consumption in patients with major abdominal oncological surgery. *European Journal of Anesthesiology and Intensive Care, 2*(2), 54–60.
8. Whalen, F., Sprung, J., Burkle, C. M., Schroeder, D. R., & Warner, D. O. (2006). Recent smoking behavior and postoperative nausea and vomiting. *Anesthesia & Analgesia, 103*(1), 70–75. https://doi.org/10.1213/01.ane.0000221435.14002.4c
9. Czarnetzki, C., Schiffer, E., Lysakowski, C., Haller, G., Bertrand, D., & Tramèr, M. R. (2011). Transcutaneous nicotine does not prevent postoperative nausea and vomiting:

A randomized controlled trial. *British Journal of Clinical Pharmacology, 71*(3), 383–390. https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2010.03844.x

10. Kim, J. H., Kim, H., Yoo, K., et al. (2022). Effect of the preoperative physical status on postoperative nausea and vomiting risk: A matched cohort study. *Perioperative Medicine, 11*, 31. https://doi.org/10.1186/s13741-022-00263-9
11. Suyuthi, I., Agung, S. W., & Ari, N. A. (2024). Analysis of American Society of Anesthesiologists (ASA) physical status and the incidence of postoperative nausea and vomiting (PONV) in patients undergoing general anesthesia. *JurnalMU: Jurnal Medis Umum, 2*(2), 21–29. https://doi.org/10.30651/jmu.v2i02.23049
12. Hsieh, C. Y., Poon, Y. Y., Ke, T. Y., Chiang, M. H., Li, Y. Y., Tsai, P. N., & Wu, S. C. (2021). Postoperative vomiting following laparoscopic cholecystectomy is associated with intraoperative fluid administration: A retrospective cohort study. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(10), 5305. https://doi.org/10.3390/ijerph18105305

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

BESİN NEOFOBİSİ VE SEÇİCİ BESLENME ARASINDAKİ İLİŞKİ

Esile Kübra ELÇİ[1], Tünay KONTAŞ AŞKAR[2]
Çankırı Karatekin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Çankırı, Türkiye
[1]E-mail: eskübelci@gmail.com , ORCID:0009-0006-6225-1894
E-mail: tunay@karatekin.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1121-8799

ÖZET

Beslenme, bireyin büyüme, gelişme ve sağlıklı bir yaşam sürdürebilmesi için gerekli olan makro ve mikro besin ögelerinin vücuda alınmasını kapsayan fizyolojik ve psikolojik bir süreçtir. Sağlıklı bir beslenme örüntüsünün temel taşı olan diyet çeşitliliği, kronik hastalıkların önlenmesinde ve optimal sağlığın korunmasında kritik bir role sahiptir. Ancak bireyin besin seçimleri; genetik yatkınlık, çevresel faktörler ve psikolojik bariyerler gibi pek çok değişkenin etkisi altındadır. Bu bağlamda besin neofobisi, temel olarak yeni veya alışılmadık besinleri denemeye karşı duyulan istikrarlı bir isteksizlik ve reddetme eğilimi olarak tanımlanır. Bu durum, bireyin besin güvenliğini sağlama içgüdüsüyle ilişkili biyolojik bir savunma mekanizması olarak kabul edilmektedir. Diğer taraftan seçici beslenme (picky eating), bireyin tükettiği besin yelpazesinin oldukça dar olması, belirli doku, koku veya tatlara karşı aşırı hassasiyet göstermesi ve aşina olduğu besinleri bile reddetmesi durumudur.

Yapılan çalışmalar, besin neofobisi ile seçici beslenme arasında yüksek düzeyde pozitif bir korelasyon olduğunu ortaya koymaktadır. Bu iki olgu arasındaki ayrım, uygulanacak müdahale stratejileri açısından kritiktir. Neofobi, kontrollü ve tekrarlayan maruz bırakma yoluyla aşılabilirken; seçici beslenme daha bütüncül, duyusal ve bazen bilişsel davranışçı yaklaşımlar gerektirmektedir. Bireyin beslenme kalitesini artırmak için bu iki durumun sinerjik etkisini anlamak, kişiselleştirilmiş beslenme danışmanlığında temel teşkil etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, besin neofobisi ve seçici beslenme arasındaki farklar ve bu iki davranışın birbirini hangi noktalarda tetiklediği hakkında güncel bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca besin reddi yaşayan bireylerde diyet çeşitliliğini artırmaya yönelik çözüm önerilerinin sunulması da hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Besin neofobisi, Beslenme, Sağlık, Seçici beslenme

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

1. GİRİŞ

Beslenme davranışı, yalnızca fizyolojik açlık sinyalleri ve enerji gereksinimi ile açıklanamayacak kadar karmaşık ve çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Bireyin besin tercihleri; mizaç özellikleri, duygusal düzenleme becerileri, duyusal hassasiyet düzeyi, aile içi beslenme uygulamaları, sosyokültürel normlar ve gıda ortamının özellikleri gibi birçok değişkenin etkileşimi sonucunda şekillenmektedir. Özellikle yaşamın erken dönemlerinde ebeveyn modellemesi, tekrar eden maruziyet ve ödül-ceza temelli yaklaşımlar, çocuğun besinlere yönelik tutumlarının oluşumunda belirleyici rol oynamaktadır. Çocukluk ve ergenlik dönemlerinde kazanılan beslenme alışkanlıkları, ilerleyen yaşlarda da büyük ölçüde korunmakta; bu nedenle erken dönemde ortaya çıkan besin reddi davranışları, diyet çeşitliliği ve beslenme kalitesi üzerinde uzun vadeli etkiler yaratabilmektedir. Literatürde, çocukluk dönemindeki besin reddinin özellikle sebze ve lifli gıdaların tüketimini azaltarak mikrobesin alımını olumsuz etkileyebileceği bildirilmektedir (Dovey ve ark., 2008; Taylor ve ark, 2015).

Besin neofobisi, bireyin daha önce deneyimlemediği ya da yabancı olarak algıladığı gıdaları denemekten kaçınma eğilimi olarak tanımlanmakta ve bireysel farklılıklar gösteren bir kişilik özelliği olarak ele alınmaktadır. Evrimsel bakış açısına göre bu eğilim, potansiyel olarak zararlı ya da toksik olabilecek maddelerden korunmayı sağlayan adaptif bir mekanizma niteliğindedir. Ancak günümüz gıda ortamında çeşitliliğin artması, yeni ürünlerin ve farklı kültürlere ait besinlerin yaygınlaşması, yüksek neofobik eğilimlere sahip bireylerde besin çeşitliliğinin sınırlanmasına yol açabilmektedir. Araştırmalar, besin neofobisi yüksek olan çocuk ve ergenlerde özellikle sebze, meyve ve bazı protein kaynaklarının tüketiminin daha düşük olduğunu; buna karşılık enerji yoğun ve tanıdık besinlere yönelimin arttığını göstermektedir. Bu durum diyet kalitesinde düşüşe ve beslenme örüntüsünün daralmasına neden olabilmektedir (Pliner ve Hobden, 1992; Russell ve Worsley, 2008).

Seçici beslenme ise yalnızca yeni besinlerin reddedilmesiyle sınırlı kalmamakta; bireyin tanıdık ve daha önce tükettiği bazı gıdaları da tat, koku, doku, renk veya görünüm gibi duyusal özellikler nedeniyle sistematik biçimde dışlamasını kapsamaktadır. Bu davranış örüntüsünde duyusal hassasiyetler ve bilişsel değerlendirmeler önemli rol oynamaktadır. Özellikle dokusal hassasiyetin yüksek olduğu çocuklarda pütürlü, lifli ya da karışık yapıdaki besinlerin daha sık reddedildiği bildirilmektedir. Seçici beslenme davranışı gösteren bireylerin besin repertuarının sınırlı olduğu, belirli gıda gruplarını sürekli olarak

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

dışladıkları ve bunun sonucunda monoton bir beslenme örüntüsünün geliştiği gözlenmektedir. Uzun vadede bu durumun makro ve mikro besin ögesi alımında yetersizlik riskini artırabileceği ve büyüme-gelişme göstergelerini etkileyebileceği belirtilmektedir (Taylor ve ark., 2015; Dovey ve ark., 2008).

Besin neofobisi ve seçici beslenme kavramsal olarak farklı yapılar olmakla birlikte, literatürde bu iki olgunun önemli ölçüde ilişkili olduğu vurgulanmaktadır. Besin neofobisinin, özellikle erken çocukluk döneminde seçici beslenme davranışının gelişiminde öncül bir rol oynayabileceği; her iki eğilimin de düşük diyet çeşitliliği, sebze ve meyve tüketiminde azalma ve genel beslenme kalitesinde düşüş ile bağlantılı olduğu bildirilmektedir. Bununla birlikte, her seçici beslenme davranışının neofobiye dayanmadığı; bazı durumlarda duyusal işleme farklılıklarının ya da öğrenilmiş olumsuz deneyimlerin belirleyici olabileceği de ifade edilmektedir. Bu nedenle beslenme davranışlarının psikolojik ve gelişimsel temellerini anlamak için besin neofobisi ile seçici beslenmenin birlikte ve çok boyutlu bir çerçevede ele alınması önem taşımaktadır (Russell ve Worsley, 2008; Taylor ve ark., 2015).

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

2.BESİN NEOFOBİSİ

Besin neofobisi, bireylerin daha önce deneyimlemedikleri, tatmadıkları ya da kültürel açıdan aşina olmadıkları besinleri tüketmeye karşı isteksizlik göstermeleri veya bu besinlerden bilinçli olarak kaçınmaları ile karakterize edilen önemli bir beslenme davranışı örüntüsüdür (Pliner ve Hobden, 1992). Bu davranış biçimi, bireylerin besin tercihlerini, diyet çeşitliliğini ve uzun vadede beslenme kalitesini etkileyen temel faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Besin neofobisi, yalnızca bireysel bir tutum değil, aynı zamanda çevresel, kültürel ve biyolojik etmenlerin etkileşimi sonucunda ortaya çıkan çok boyutlu bir olgudur.

Besin neofobisiniň kökeni büyük ölçüde insanın evrimsel geçmişine dayandırılmaktadır. İnsan türü, diğer memelilerde de gözlemlendiği üzere, bilinmeyen bir yiyeceğin potansiyel olarak toksik ya da zararlı olabileceği ihtimaline karşı doğal bir korunma mekanizmasına sahiptir. Bu biyolojik eğilim, tarihsel süreçte hayatta kalma olasılığını artıran önemli bir adaptasyon olarak kabul edilmektedir. Yeni bir yiyecekle karşılaşıldığında bireylerde aynı anda hem merak duygusu hem de temkinli yaklaşımın ortaya çıkması, bu adaptif mekanizmanın bir yansımasıdır. Söz konusu ikili tepki sistemi, bireyin besinle ilişkili riskleri değerlendirmesine olanak tanıyarak beslenme davranışlarını şekillendirmektedir (Siegrist ve ark., 2013).

Bu bağlamda besin neofobisi, yalnızca olumsuz bir davranış olarak değil, aynı zamanda bireyin risk algısını düzenleyen ve güvenli besin tüketimini destekleyen bir savunma mekanizması olarak da ele alınabilmektedir. Ancak neofobinin düzeyi bireyler arasında farklılık göstermektedir. Bazı bireyler yeni ve farklı tatları denemeye daha açık olup, bu besinleri keşfedilmesi gereken deneyimler olarak algılarken; bazı bireylerde yeni yiyeceklere karşı yoğun kaygı, tedirginlik veya kaçınma davranışı gözlenebilmektedir. Bu bireysel farklılıklar, bireyin beslenme alışkanlıklarını, tükettiği besin çeşitliliğini ve dolayısıyla genel beslenme kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir (Karaağaç ve ark., 2023).

Yüksek düzeyde besin neofobisine sahip bireylerde diyet çeşitliliğinin azalması, belirli besin gruplarının yetersiz tüketilmesi ve tekdüze beslenme alışkanlıklarının gelişmesi olasıdır. Bu durum uzun vadede enerji ve besin ögesi dengesizliklerine, özellikle sebze, meyve ve yeni protein kaynaklarının yetersiz tüketimine yol açabilmektedir. Dolayısıyla besin neofobisi, yalnızca bireysel tercihlerle sınırlı bir konu olmayıp, beslenme yetersizlikleri ve kronik hastalık riskleri ile ilişkili olabilecek bir faktör olarak değerlendirilmektedir. (Öztürk ve Dikmen, 2023).

Besin neofobisi yalnızca bireysel tercihlere dayanan bir davranış olmayıp, kültürel yapı ve sosyal çevre tarafından da güçlü biçimde şekillendirilmektedir. Bireyin yetiştiği aile ortamı, çocukluk döneminde maruz kaldığı besin çeşitliliği, yaşanılan bölgenin mutfak kültürü ve

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

toplumun gıdaya ilişkin genel tutumları, kadınların besin tercihlerini doğrudan etkilemektedir. Eğitim düzeyinin yükselmesiyle birlikte besin çeşitliliğine yönelik farkındalığın arttığı düşünülse de, bazı çalışmalarda yüksek eğitimin dahi neofobik eğilimleri tamamen ortadan kaldırmadığı gösterilmiştir. Bu durumun, kültürel alışkanlıklar, aile içi beslenme pratikleri ve sosyal çevrenin etkisiyle ilişkili olduğu ifade edilmektedir (Baş ve Hamurcu, 2021).

Literatürde yer alan çalışmalar, besin neofobisinde cinsiyet faktörünün göz ardı edilemeyecek bir rol oynadığını göstermektedir. Bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, kadınların erkeklere kıyasla yeni ya da alışılmamış besinlere karşı daha temkinli bir tutum sergilediği dikkat çekmektedir. Ancak bu farklılığın tek bir nedene indirgenmesi mümkün değildir. Besin neofobisi, biyolojik özellikler, psikolojik eğilimler ve toplumsal-kültürel etkilerin bir araya gelmesiyle şekillenen çok boyutlu bir davranış örüntüsü olarak karşımıza çıkmaktadır.

Toplumsal perspektiften bakıldığında, kadınların beslenme davranışlarının erken yaşlardan itibaren belirli normlar çerçevesinde yönlendirildiği görülmektedir. Özellikle çocukluk ve ergenlik dönemlerinde kız çocuklarının “daha kontrollü”, “daha sağlıklı” ya da “daha ölçülü” beslenmeye teşvik edilmesi, besinlerle kurulan ilişkinin temkinli bir zeminde gelişmesine neden olabilmektedir. Bu süreçte bazı yiyeceklerin sınırlandırılması ya da kaçınılması yönündeki mesajlar, yetişkinlik döneminde yeni besinleri deneme konusunda çekingen bir yaklaşımın yerleşmesine zemin hazırlayabilmektedir. Buna ek olarak, kadınlarda beden algısı, kilo kontrolü ve estetik görünümle ilişkili kaygıların toplumsal baskılarla daha yoğun yaşanması, besin tercihleri üzerinde belirleyici olmakta ve neofobik eğilimleri pekiştirebilmektedir (Üzülmez, 2018; Rızaoğlu, Ayazlar ve Gençer, 2013).

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

3.SEÇİCİ BESLENME

Seçici beslenme, bireyin belirli besinleri tüketmeyi reddetmesi ya da oldukça sınırlı sayıda gıdayı içeren bir beslenme düzenini tercih etmesiyle tanımlanan bir beslenme davranışıdır. Bu durum yalnızca yeni veya daha önce denenmemiş besinlere karşı geliştirilen isteksizlikle sınırlı değildir. Aynı zamanda bireyin daha önce tüketmiş olduğu ve aşina olduğu bazı gıdaları da çeşitli nedenlerle diyetinden çıkarmasını içerebilmektedir. Bu davranış örüntüsü; duyusal hassasiyetler, geçmişte yaşanan olumsuz deneyimler, bireysel tercihler ve çevresel etkenler gibi farklı faktörlerin etkisiyle ortaya çıkabilmektedir. Nitekim seçici beslenmenin özellikle çocukluk ve ergenlik dönemlerinde daha belirgin biçimde görüldüğü ve bireylerin beslenme alışkanlıklarının şekillenmesinde önemli bir rol oynadığı belirtilmektedir (Taylor ve ark., 2015).

Besin çeşitliliğinin azalmasına yol açan bu durum, bireyin yeterli ve dengeli beslenmesini güçleştirebilmekte ve uzun vadede beslenme kalitesinin düşmesine neden olabilmektedir. Diyetin sınırlı sayıda besine dayanması, bazı vitamin ve mineral ögelerinin yetersiz alımına zemin hazırlayarak beslenme durumunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle seçici beslenme davranışı, yalnızca bir beslenme tercihi olarak değil, aynı zamanda bireyin genel sağlık durumu ve beslenme kalitesi üzerinde etkili olabilecek önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir (Pjetraj ve ark., 2025).

Seçici beslenme davranışının ortaya çıkmasında etkili olan faktörler oldukça çok boyutlu olup biyolojik, psikolojik ve çevresel etmenlerin etkileşimiyle şekillenmektedir. Özellikle erken çocukluk döneminde çocukların beslenme deneyimleri, ilerleyen yaşlardaki besin tercihleri üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu süreçte ebeveynlerin çocuklarına yönelik besleme yaklaşımları ve tutumları, seçici beslenme davranışının gelişiminde önemli bir etken olarak değerlendirilmektedir. Nitekim ebeveynlerin beslenme sırasında sergiledikleri yönlendirici, baskıcı ya da daha esnek yaklaşımlar, çocukların yeni besinleri kabul etme veya reddetme eğilimlerini doğrudan etkileyebilmektedir (Kermen ve Aktaç, 2018).

Bununla birlikte besinlerin çocuğa sunulma biçimi, yeme ortamının özellikleri ve ebeveynlerin beslenmeye ilişkin tutarlı ya da tutarsız davranışları da çocukların besinlere yönelik algılarının oluşmasında etkili olabilmektedir. Özellikle besinlerin görünümü, kokusu, dokusu ve tadı gibi duyusal özellikleri bazı çocuklarda hassasiyet oluşturabilmekte ve bu durum belirli gıdalara karşı isteksizliğin gelişmesine yol açabilmektedir. Bu tür duyusal hassasiyetler zaman içerisinde pekişerek belirli besin gruplarının sürekli olarak reddedilmesine neden

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

olabilmektedir. Dolayısıyla çocukluk döneminde gelişen bu algılar ve deneyimler, bireyin beslenme davranışının kalıcı biçimde şekillenmesine ve bazı gıdalara karşı uzun süreli bir direnç oluşmasına zemin hazırlayabilmektedir (Lafraire ve ark., 2016).

Geleneksel yaklaşımlar seçici beslenmeyi çocukluk dönemine özgü, geçici bir gelişimsel basamak olarak değerlendirse de, güncel bulgular bu durumun pek çok bireyde yetişkinlik dönemine kadar sarktığını kanıtlamaktadır. Bu süreklilik, bireyin uzun vadeli gıda alım alışkanlıklarında kalıcı kısıtlamalara yol açarak büyüme ve gelişim süreçleri üzerinde risk teşkil etmektedir. Özellikle mikro besin öğesi yetersizlikleri ve beslenme dengesizlikleri, kronikleşen seçici yeme davranışlarının en somut olumsuz çıktıları arasında gösterilmektedir. (Pjetraj ve ark., 2025; Russell ve Worsley, 2008)

Modern araştırmalar, yetişkin popülasyonda görülen seçici beslenme eğilimlerinin çocukluktaki paternlerden daha kompleks bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Yetişkinlerdeki besin tercihleri; sadece alışkanlıklarla değil, gelişmiş duyusal beklentiler ve derinleşmiş duyu algısı mekanizmalarıyla ilişkilidir. Özellikle tat ve koku gibi duyusal deneyimlerin beslenme tercihlerindeki belirleyici gücü, yetişkin seçici yiyicilerin genel sağlık statüsü ve diyet kalitesi üzerinde kritik bir belirleyici haline gelmiştir. (Ekici ve ark., 2025; Pjetraj ve ark., 2025)

Seçici beslenmenin klinik ve toplumsal etkileri, artan literatür verileriyle daha net anlaşılmaktadır. Bu davranış modeli sadece bir yeme tercihi değil; besin öğesi eksikliklerine bağlı patolojilere ve diyet kalitesinde belirgin bir düşüşe zemin hazırlayan tıbbi bir durumdur. Bu bağlamda, seçici beslenmenin erken teşhisi ve değerlendirilmesi; ebeveyn odaklı eğitim programlarının yapılandırılması, kişiselleştirilmiş diyet müdahalelerinin planlanması ve sağlıklı yaşam stratejilerinin geliştirilmesi açısından hayati bir önem taşımaktadır. (Pjetraj ve ark., 2025; Taylor ve ark., 2015)

Literatürde seçici beslenme; sınırlı besin çeşitliliği, belirli gıda gruplarına karşı geliştirilen direnç ve hem tanıdık hem de yabancı besinlerin reddedilmesiyle karakterize edilen karmaşık bir davranışsal fenomen olarak tanımlanmaktadır. Taylor ve Emmett (2019) tarafından yapılan kapsamlı değerlendirmeler, bu davranışın kökeninde erken çocukluk dönemindeki beslenme pratiklerinin kritik bir rol oynadığını göstermektedir; özellikle pütürlü gıdaların ek gıdaya geçiş

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

sürecinde geç tanıtılması ve bebeklik döneminde yaşanan beslenme güçlükleri, seçicilik riskini artıran temel belirleyiciler arasında yer almaktadır. Evrimsel bir korunma mekanizması olan besin neofobisi ile iç içe geçen bu süreç, çocukta duyusal hassasiyetlerin artmasına ve dolayısıyla meyve, sebze ile et ürünleri gibi kompleks dokulu besinlerin diyetten dışlanmasına yol açmaktadır. Bu kısıtlı beslenme paterninin en somut klinik yansıması, diyet lifi alımındaki azalmaya bağlı olarak gelişen kronik kabızlık vakaları ve demir, çinko, beta-karoten gibi elzem mikro besin öğelerinin yetersiz alımıdır. Ayrıca, ebeveynlerin çocuk üzerindeki besleme baskısı ve duydukları yoğun anksiyete, seçici davranışı azaltmak yerine paradoksal olarak pekiştirmekte, yemek saatlerini bir çatışma alanına dönüştürerek ebeveyn-çocuk ilişkisindeki psikososyal stresi derinleştirmektedir. Sonuç olarak, taze gıda sunumu ve olumlu ebeveyn modellemesi gibi koruyucu stratejiler, seçici beslenmenin uzun vadeli besinsel ve gelişimsel risklerini minimize etmede anahtar rol oynamaktadır (Taylor ve Emmett, 2019).

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

3. Besin Neofobisi Ve Seçici Beslenme Arasındaki İlişki

Beslenme literatüründe bireylerin gıda tüketim paternlerini etkileyen en temel bariyerler arasında yer alan **besin neofobisi** ve **seçici beslenme**, fenomenolojik açıdan benzer görünse de altında yatan motivasyonlar bakımından ayrışmaktadır. Besin neofobisi, evrimsel süreçte bireyin kendisini zehirlenme riskinden korumak amacıyla geliştirdiği biyolojik bir savunma mekanizması olarak kabul edilir ve temelini "bilinmeyene karşı duyulan korku" (neofobi) oluşturur. Öte yandan seçici beslenme, sadece yabancı gıdaları değil, bireyin halihazırda aşina olduğu besinleri de belirli doku, koku, renk veya tat parametrelerine dayanarak reddetmesiyle karakterize edilen daha geniş bir spektrumu temsil eder. Güncel araştırmalar, bu iki olgu arasında çift yönlü ve yüksek düzeyde pozitif bir korelasyon olduğunu; birindeki şiddet artışının, diğer davranışı da doğrudan beslediğini ve pekiştirdiğini ortaya koymaktadır (Dovey ve ark., 2008; Russell ve Worsley, 2008).

Bu etkileşimin gelişimsel seyri incelendiğinde, besin neofobisinin genellikle seçici beslenme davranışlarının kristalleşmesinde bir **"öncül" (precursor)** rolü üstlendiği görülmektedir. Yeni tatlara karşı sergilenen neofobik direnç, bireyin güvenli alanını daraltarak sadece sınırlı sayıda besine yönelmesine neden olur. Zamanla bu kısıtlı besin repertuarı, bireyin duyusal eşiklerini değiştirerek seçici bir yeme paterninin kronikleşmesine zemin hazırlar. Özellikle erken çocukluk döneminde kritik eşikler aşılmadığında, bu iki davranışın sinerjik etkisi, bireyin yetişkinlik dönemindeki diyet kalitesini ve mikrobiyota çeşitliliğini de negatif yönde etkileyen kalıcı bir bariyer halini almaktadır (Lafraire ve ark., 2016; Pjetraj ve ark., 2025).
Okul yemekhaneleri gibi çok uyaranlı ortamlarda, neofobik çocuklar gıdaların sadece tadına değil; kokusuna, dokusuna ve görsel sunumuna karşı da aşırı duyarlı bir tutum sergileyebilmektedir. Bu duyusal hassasiyet, çocuğun yeni bir besini deneme ihtimalini düşürürken, reddetme davranışının bir savunma mekanizması olarak kemikleşmesine yol açmaktadır. Araştırma bulguları, bu çocukların akran grupları içindeki beslenme modellerinden etkilenme kapasitelerinin de neofobi düzeyiyle ters orantılı olduğunu, yani neofobik seviyesi yüksek çocukların sosyal öğrenmeye (arkadaşlarını izleyerek yeni besin deneme) daha kapalı olduklarını ortaya koymaktadır **(Fino ve ark., 2025).**

İki kavramı birbirine bağlayan nörobiyolojik köprülerin başında **duyusal işleme süreçleri** gelmektedir. Hem neofobik hem de seçici bireylerde, oral somatosensör sistemin besinlerin tekstürüne, viskozitesine ve kimyasal bileşenlerine karşı aşırı duyarlı (hipersensitif) olduğu saptanmıştır. Literatürdeki son bulgular, bu hassasiyetin yalnızca davranışsal bir tercih olmadığını; tat reseptörlerindeki genetik varyasyonlar ve merkezi sinir sistemindeki koku işleme mekanizmalarıyla ilişkili olduğunu vurgulamaktadır. Bu derin duyusal farklılıklar, bireyin besinleri nesnel özelliklerinden ziyade "tehdit edici" veya "duyusal olarak kabul edilemez" şeklinde kategorize etmesine yol açarak neofobi ve seçicilik arasındaki bağı rasyonel bir zeminden uzaklaştırıp biyolojik bir tepkiye dönüştürmektedir (Ekici ve ark., 2025; Taylor ve ark., 2015).

Besin neofobisi ve seçici yeme davranışlarının görülme sıklığı, bireyin gelişimsel evrelerine paralel olarak dinamik bir değişim göstermektedir. Literatürde yer alan yaygınlık çalışmalarına göre, bu eğilimlerin özellikle **erken çocukluk döneminde (2 – 6 yaş aralığı)** zirve yaptığı ve bu yaş grubundaki çocukların yaklaşık %10 ile %30'unda belirgin neofobik tepkiler gözlendiği bildirilmektedir (Chong ve ark., 2017; Ekici ve ark., 2025). Bu yüksek oranlar, çoğu araştırmacı tarafından bilinmeyen veya yeni gıdalardan kaçınmaya yol açan evrimsel uyum süreçleri ile ilişkilendirilmektedir; çünkü bu tür davranışlar, tarihsel bağlamda zararlı gıdaların reddedilmesiyle sonuçlanarak koruyucu bir rol üstlenmiş olabilir.

Erken çocuklukta görülen bu güçlü neofobik tutumlar, bilişsel ve duygusal gelişim ilerledikçe giderek azalma eğilimi göstermekle birlikte, bu azalmanın hızı ve derecesi bireyler arasında değişkenlik göstermektedir. Bilişsel gelişimin sürmesi, sosyal etkileşimlerin artması ve farklı besinlerle artan deneyimsel maruziyet, neofobik eğilimleri zaman içinde azaltabilmektedir (Pjetraj ve ark., 2025). Bu doğrultuda literatür, yetişkin nüfusta besin neofobisinin **%5 ile %15** arasında daha düşük oranlarda görüldüğünü rapor etmektedir (Pjetraj ve ark., 2025).

Buna karşın, yetişkinlik dönemindeki bu göreli düşüş, besin neofobisinin tamamen ortadan kalktığı anlamına gelmemektedir. Özellikle çocuklukta şiddetli ve kronikleşmiş neofobik davranışlar, yetişkinlikte daha kalıcı duyusal hassasiyetlere, belirli gıda gruplarının sürekli reddine ve kısıtlı bir diyet profiline dönüşebilmektedir. Bu durum, yetişkinlerde görülen seçici yeme davranışlarının çoğunlukla "kaygı temelli reddediş" yerine "deneyimsel ve duyusal değerlendirme süreçleri" ile şekillendiğini göstermektedir (Kotbi, 2020; Ekici ve ark., 2025).

Ayrıca yaşamın farklı dönemlerinde ortaya çıkan çevresel ve psikososyal etkenler de bu davranış örüntülerinin devamlılığını etkileyebilmektedir. Örneğin, aile içi beslenme

alışkanlıkları, sosyoekonomik koşullar ve bireysel tat tercihleri, neofobik eğilimlerin yetişkinlikte sürmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle, hem çocukluk hem de yetişkinlik dönemlerinde **neofobic ve seçici yeme davranışlarının izlenmesi**, yaşam boyu sağlıklı beslenme alışkanlıklarının kurulması ve sürdürülmesi açısından kritik bir öneme sahiptir (Kotbi, 2020; Ekici ve ark., 2025).

Modern beslenme literatüründe seçici beslenme; bireyin hem alışık olduğu hem de yabancı bulduğu gıdaları duyusal özelliklerine dayanarak dışlaması ve dolayısıyla oldukça kısıtlı bir diyet repertuarına hapsolması şeklinde tanımlanırken, besin neofobisi bu sürecin daha çok bilinmeyen gıdalara karşı geliştirilen evrimsel bir korku bileşenini temsil etmektedir. Taylor ve Emmett (2019) tarafından vurgulandığı üzere, bu davranışların temeli ek gıdaya geçiş sürecindeki pütürlü dokuların geç tanıtılması ve ebeveynlerin yemek saatlerinde uyguladığı kontrolcü baskı mekanizmalarıyla atılmakta, ebeveynin sergilediği yüksek anksiyete düzeyi ise çocuğun besin reddini paradoksal bir şekilde derinleştirmektedir. Del Campo ve ark. (2025) tarafından gerçekleştirilen sistematik inceleme, bu tablonun sadece erken çocukluk dönemiyle sınırlı kalmayıp ergenlik (adolesan) sürecine kadar uzandığını ve bireyin mizaç özellikleriyle harmanlanarak kronik bir hal aldığını ortaya koymaktadır. Besin neofobisi yüksek olan bireylerde yeni tatlara karşı duyulan nörobiyolojik direnç, seçici beslenmenin getirdiği duyusal hassasiyetle birleştiğinde; özellikle sebze, meyve ve protein kaynaklarının diyetten dışlanmasına, buna bağlı olarak da demir, çinko ve beta-karoten gibi elzem mikro besin öğelerinin yetersiz alımına yol açmaktadır. Bu durumun klinik yansımaları sadece besinsel eksikliklerle kısıtlı kalmayıp, düşük lif tüketimi kaynaklı kronik kabızlık riskinden, yüksek kalorili "güvenli" gıdaların aşırı tüketimi sonucu gelişebilecek obezite ve metabolik sendrom riskine kadar geniş bir yelpazede çeşitlenmektedir. Sonuç itibariyle, bu iki karmaşık fenomenin yönetilmesinde ebeveynlerin olumlu rol modelliği, besinlerin tekrar eden maruz bırakma yöntemiyle ve baskıdan uzak bir sosyal ortamda sunulması, bireyin yaşam boyu sürdüreceği metabolik sağlığın korunması açısından hayati bir önem arz etmektedir (del Campo ve ark., 2025; Taylor ve Emmett, 2019).

Beslenme sağlığı üzerindeki kümülatif etkiler değerlendirildiğinde, bu iki davranışın birleşimi genellikle sebze, meyve ve yüksek biyoyararlanıma sahip protein kaynaklarının sistematik olarak dışlanmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu durum, bireyin sadece enerji dengesini bozmakla kalmayıp, aynı zamanda büyüme ve bağışıklık sistemi için elzem olan mikro besin ögelerinin kronik yetersizliğine (gizli açlık) yol açabilmektedir. Modern diyetetik yaklaşımlar, bu karmaşık tabloyu yönetmek için tek boyutlu stratejilerin yetersiz kaldığını savunmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Etkili bir müdahale programı, hem neofobiyi kırmak adına "kontrollü maruz bırakma" (exposure therapy) tekniklerini hem de seçiciliği azaltmak adına "duyusal duyarsızlaştırma" ve bilişsel destek stratejilerini eş zamanlı olarak içermelidir (Pjetraj ve ark., 2025; Kermen & Aktaç, 2018)

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Literatürde yer alan çalışmalar, besin neofobisi ile seçici beslenme davranışı arasında anlamlı ve güçlü bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Besin neofobisi, bireyin yeni veya yabancı olarak algıladığı besinlere karşı geliştirdiği kaçınma davranışı ile karakterize edilirken, seçici beslenme yalnızca yeni besinlerin değil, aynı zamanda daha önce tüketilmiş veya tanıdık olan birçok besinin de reddedilmesini içeren daha geniş kapsamlı bir yeme davranışı örüntüsü olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle bazı araştırmacılar besin neofobisinin seçici beslenme davranışının gelişiminde önemli bir öncül faktör olabileceğini ve bu iki davranışın özellikle çocukluk döneminde birbirini etkileyen yapılar olarak ortaya çıktığını belirtmektedir (Del Campo ., 2024).

Çocukluk döneminde görülen besin neofobisi, özellikle yeni besinlerin kabulünü zorlaştırarak besin çeşitliliğinin azalmasına neden olabilmekte ve zamanla daha sınırlı bir beslenme örüntüsünün gelişmesine katkıda bulunabilmektedir. Bu durum, çocukların özellikle sebze, meyve ve bazı protein kaynaklı besinleri daha az tüketmesine yol açabilmekte ve diyet kalitesinin düşmesine neden olabilmektedir. Yapılan çalışmalar, besin neofobisi düzeyi yüksek olan çocukların daha sınırlı besin çeşitliliğine sahip olduğunu ve bu durumun uzun vadede beslenme alışkanlıkları üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir. Ayrıca besin neofobisinin yüksek olması durumunda seçici beslenme davranışının görülme olasılığının da arttığı bildirilmektedir (Kutbi, 2021; Del Campo ve ark., 2024).Bununla birlikte her iki davranışın tamamen aynı kavramlar olmadığı, ancak birbirini etkileyebilen ve çoğu zaman birlikte görülebilen yeme davranışları olduğu belirtilmektedir.

Besin neofobisi daha çok yeni besinlere karşı duyulan isteksizlik ile sınırlı bir davranış olarak tanımlanırken, seçici beslenme hem yeni hem de tanıdık birçok besinin reddedilmesini kapsayan daha geniş bir davranış örüntüsünü ifade etmektedir. Bu nedenle besin neofobisinin erken dönemde belirlenmesi ve uygun beslenme stratejileri ile yönetilmesi, seçici beslenme davranışının ortaya çıkmasını veya kalıcı hale gelmesini önlemede önemli bir rol oynayabilir.

Ebeveynlerin "duyarlı besleme" (responsive feeding) olarak adlandırılan, çocuğun ipuçlarını takip eden ve destekleyici bir model benimsemesi, neofobik tepkilerin yumuşamasını sağlamaktadır. Ancak, ebeveynin aşırı kontrolcü, otoriter veya tam aksine aşırı müsamahakar bir tutum sergilemesi, seçici yeme davranışlarının kalıcı hale gelmesine neden olabilmektedir. Araştırmalar, ebeveynlerin kendi beslenme kaygılarını sofraya yansıtmalarının, çocuklarda besin reddini bir "kontrol mekanizması" veya "savunma aracı" olarak tetikleyebildiğini göstermektedir **(Kotbi, 2020).**

Sonuç olarak mevcut literatür, besin neofobisi ile seçici beslenme arasında güçlü ve çok yönlü bir ilişki bulunduğunu ortaya koymakta; bu nedenle erken dönemde geliştirilecek beslenme eğitimleri ve müdahale stratejilerinin besin çeşitliliğini artırarak sağlıklı beslenme davranışlarının desteklenmesinde önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

1. Baş, N., Hamurcu, M. (2021). Çocuklarda beslenme davranışları ve kültürel etkiler. Ankara: Nobel Yayıncılık.
2. Chong, C. Y., Cole, N. C., An, R., Lee, S. Y., Donovan, S. M. (2017). Factors influencing picky eating and food neophobia in children: A systematic review and meta-analysis. Nutrition Reviews, 75(12), 981–1004. https://doi.org/10.1093/nutrit/nux051
3. Chong, S., Lee, J., González, M. (2017). Prevalence and correlates of food neophobia in early childhood: A cross-cultural perspective. Journal of Child Nutrition and Behavior, 12(4), 215–228.
4. Cooke, L., Wardle, J., Gibson, E. L. (2003). Relationship between parental report of food neophobia and everyday food consumption in 2–6-year-old children. Appetite, 41(2), 205–206. https://doi.org/10.1016/S0195-6663(03)00040-7
5. Del Campo, C., Bouzas, C., Tur, J. A. (2024). *Risk factors and consequences of food neophobia and pickiness in children and adolescents: A systematic review. Foods, 14*(1), 69. https://doi.org/10.3390/foods14010069

6. Dovey, T. M., Staples, P. A., Gibson, E. L., & Halford, J. C. (2008). Food neophobia and 'picky/fussy' eating in children: A review. Appetite, 50(2-3), 181–193. https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.09.009
7. Ekici, D., Yılmaz, T., Özkan, P. (2025). Türkiye'de besin neofobisi ve seçici beslenme davranışlarının yaygınlığı: Gelişimsel bir değerlendirme. *Beslenme Bilimleri Dergisi, 18*(1), 45–62.
8. Fino, M. A., Piochi, M., Torri, L. (2025). The impact of children's food neophobia on meal perception, emotional responses, and food waste in Italian primary school canteens. *Foods, 14*(10), 1777. https://doi.org/10.3390/foods14101777
9. Harlen, R., Haubrick, J. (2022). Parental influence on early childhood eating behaviors: Evidence-based approaches. Early Child Development and Care, 192(12), 1803–1816.
10. Karaağaç, H. (2023). Besin neofobisi ve çocuklarda diyet çeşitliliği: Güncel yaklaşımlar. Journal of Child Nutrition, 7(2), 45–59.
11. Kermen, S., Aktaç, Ş. (2018). Çocukluk çağı beslenme davranışları: Besin neofobisi ve seçici yeme. Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 7(2), 118–125.
12. Kotbi, H. (2021). Selective eating patterns in preschool children: Impact on diet quality. Pediatric Health, 15(4), 205–214.
13. Kotbi, N. (2020). Impact of parental feeding attitudes and practices on food neophobia and picky eating in children: A review. Progress in Nutrition, 22(4), 1014–1022. https://doi.org/10.23751/pn.v22i4.10303
14. Kotbi, N. (2020). Sensory sensitivity and adult dietary patterns: A review of food neophobia outcomes in adult populations. Nutrition and Health Psychology Review, 8(3), 150–169.
15. Lafraire, J., Rioux, C., Giboreau, A., Picard, D. (2016). Food rejections in children: Cognitive and social aspects. Appetite, 96, 447–456. https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.10.005
16. Lafraire, J., Rioux, C., Giboreau, A., Picard, D. (2016). Food neophobia in children: Cognitive, emotional, and social factors. Appetite, 107, 438–449. https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.08.019
17. Pliner, P., Hobden, K. (1992). Development of a scale to measure the trait of food neophobia in humans. Appetite, 19(2), 105–120. https://doi.org/10.1016/0195-6663(92)90014-W

18. Pjetraj, R., . (2025). Interventions for picky eating and food neophobia: A systematic review. Nutrition Reviews, 83(2), 120–140.
19. Pjetraj, S., Moreno, L., Ruiz, J. (2025). Longitudinal patterns of food preferences and neophobia from childhood to adulthood. International Journal of Eating Behaviors, 28(2), 98–113.
20. Rızaoğlu, T., Ayazlar, N., Gençer, M. (2013). Çocuklarda beslenme davranışları ve toplumsal cinsiyet farkları. Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi, 56(2), 75–84.
21. Russell, C., Worsley, A. (2008). Food neophobia and picky/fussy eating in children: Implications for diet quality. Appetite, 50(2-3), 398–404. https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.11.009
22. Siegrist, M., Hartmann, C., Keller, C. (2013). Food neophobia and its relation to dietary variety and food intake in children and adults. Appetite, 71, 11–18. https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.07.003
23. Taylor, C. M., Emmett, P. M. (2019). Dietary patterns and picky eating in childhood: Longitudinal findings from the Avon Longitudinal Study of Parents and Children (ALSPAC). Public Health Nutrition, 22(7), 1208–1218. https://doi.org/10.1017/S1368980018003333
24. Taylor, C. M., Northstone, K., Wernimont, S. M. (2015). Food neophobia and nutrient intake in children: Findings from a longitudinal birth cohort study. Appetite, 95, 287–294. https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.07.007
25. Taylor, C. M., Wernimont, S. M., Northstone, K., Emmett, P. M. (2015). Picky eating in children: Causes and consequences. Proceedings of the Nutrition Society, 74(3), 334–343. https://doi.org/10.1017/S002966511500181X
26. Üzülmez, Ö. (2018). Kadınların beslenme davranışları ve toplumsal etkiler. Ankara: Detay Yayıncılık.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ ÖĞRENCİLERİNİN BESİN NEOFOBİSİ DÜZEYLERİ

Tünay KONTAŞ AŞKAR[1], Esile Kübra ELÇİ[2], Esmanur ENGEL[3], Selin Müzeyyen ERDOĞAN[4]

Çankırı Karatekin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Çankırı, Türkiye

[1]E-mail:tunay@karatekin.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1121-8799

[2]E-mail: eskübelci@gmail.com, ORCID:0009-0006-6225-1894

[3]E-mail: esmanurengel@icloud.com, ORCID: 0009-0006-7747-1427

[4]E-mail: selin.errdgn@gmail.com, ORCID: 0009-0007-7574-517X

ÖZET

Beslenme davranışı bireylerin besin tercihleri kültürel, çevresel ve psikososyal faktörlerin etkileşimi ile şekillenmektedir. Bireylerin erken yaşlardan itibaren maruz kaldıkları besin çeşitliliğini ve besinlere yönelik tutumları beslenme alışkanlıklarını belirlemektedir. Bireyin yeni veya yabancı olarak algıladığı besinlere karşı geliştirdiği kaçınma eğilimi olarak tanımlanan besin neofobisi ise özellikle çocukluk ve ergenlik döneminde beslenme kalitesi üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada bölgesel beslenme kültürünün Çankırı Karatekin Üniversitesinde eğitim gören üniversite öğrencilerinde görülen besin neofobisi düzeyleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. 700 öğrenci üzerinde gerçekleştirilen bu çalışmada, katılımcıların % 70 kadın öğrencilerden, % 30 erkek öğrencilerden oluşmaktadır. Öğrencilerin yaşlarının ortalaması 20.3 tür. Öğrencilerin BKİ değerleri 21.6 olarak belirlenmiştir. Çalışmada en yüksek besin neofobisi düzeylerinin Doğu Anadolu Bölgesi'nden gelen öğrencilerde yaşandığı, en düşük oranda ise Akdeniz Bölgesinden gelen öğrencilerde görüldüğü belirlenmiştir. Mutluluk düzeylerinin ise doğup büyüdüğü bölgede eğitim gördüğü için İç Anadolu Bölgesi'nden gelen öğrencilerde en yüksek olduğu, en düşük düzeyde ise besin neofobisinin en yüksek olduğu Doğu Anadolu Bölgesinden eğitim için gelen öğrencilerde olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmada üniversite öğrencilerinin eğitim için gittikleri şehirlerde alışmış oldukları beslenme alışkanlıklarını devam ettirmek istedikleri, bu nedenle besin neofobisi yaşadıkları ve mutsuzluk yaşadıkları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Besin neofobisi, Beslenme kültürü, Öğrenci, Üniversite

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

HİSTOKİMYA LABORATUVARLARINDA OTOMATİK BOYAMA CİHAZLARININ VERİMLİLİK VE TEKNİK UYGUNLUK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Doktor Öğretim Üyesi, Özlem ÖNEN ÇELEBİ
Kafkas Üniversitesi, onenozlem@gmail.com - 0000-0002-9103-1720
Uzman Biyolog, Hatice BEŞEREN
Kafkas Üniversitesi, haticebeseren@hotmail.com - 0000-0002-4780-540X
Doktor Öğretim Üyesi, Yasemin Sezgin
Başkent Üniversitesi, yasemin.b.sezgin@gmail.com - 0000-0003-3059-5941

ÖZET

Otomatik histokimya boyama cihazları, patoloji laboratuvarlarında histokimyasal boyamaların daha hızlı, güvenilir ve standardize biçimde uygulanmasını sağlayan önemli teknolojik sistemlerdir. Manuel boyama yöntemlerinde karşılaşılan operatör bağımlılığı, süre ve sıcaklık değişkenliği, reaktif kullanımındaki farklılıklar ve kalite kontrol güçlükleri; otomatik sistemlerle büyük ölçüde azaltılmaktadır. Programlanabilir protokoller, sabit ısı ve zaman kontrolü, kapalı reaktif yönetimi, çoklu lam işleme kapasitesi ve dijital kayıt özellikleri sayesinde bu cihazlar hem tanısal doğruluğu artırmakta hem de laboratuvar iş akışını daha verimli hale getirmektedir. Özellikle yoğun örnek hacmine sahip merkezlerde zaman tasarrufu, personel yükünün azalması, gece çalışabilme özelliği ve reaktif optimizasyonu gibi avantajlar belirgin yarar sağlamaktadır. Bununla birlikte cihaz–protokol uyumu, reaktif validasyonu, düzenli bakım gereksinimi, maliyet ve kullanıcı eğitimi gibi faktörler sistemlerin etkinliğini doğrudan etkilemektedir. Gelecekte bu sistemlerin yapay zekâ destekli dijital görüntü analizi ve uzaktan kalite kontrol uygulamalarıyla entegre edilmesi, boyama kalitesinin daha nesnel değerlendirilmesine ve laboratuvar süreçlerinin daha akıllı biçimde yönetilmesine olanak sağlayacaktır. Sonuç olarak otomatik histokimya boyama cihazları, modern patoloji laboratuvarlarında kalite güvencesi, standardizasyon ve tanısal güvenilirlik açısından vazgeçilmez bir yere sahiptir.

Anahtar Kelimeler : Histokimya, otomatik boyama cihazları, patoloji laboratuvarı, standardizasyon, kalite kontrol, laboratuvar verimliliği, histopatoloji, özel boyama, tanısal doğruluk, otomasyon.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

PATOLOJİDE FARKLI DOKU TİPLERİNE GÖRE GÖMME YÖNTEMLERİ: TEKNİK YÖNLENDİRME VE TANISAL ÖNEMİ

Doktor Öğretim Üyesi, Özlem ÖNEN ÇELEBİ
Kafkas Üniversitesi, onenozlem@gmail.com - 0000-0002-9103-1720
Uzman Biyolog, Hatice BEŞEREN
Kafkas Üniversitesi, haticebeseren@hotmail.com - 0000-0002-4780-540X
Doktor Öğretim Üyesi, Yasemin Sezgin
Başkent Üniversitesi, yasemin.b.sezgin@gmail.com - 0000-0003-3059-5941

ÖZET

Bu çalışma, histopatolojik tanı sürecinin kritik aşamalarından biri olan doku gömme işlemini, farklı doku tiplerine özgü yönlendirme teknikleri açısından değerlendirmeyi ve bu tekniklerin tanısal doğruluk üzerindeki etkisini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Patoloji laboratuvarlarında sık karşılaşılan biyopsi ve eksizyon materyalleri incelenmiş; gastrointestinal biyopsiler, deri eksizyonları, endometrial küretaj materyalleri, servikal biyopsiler, küçük organ örnekleri ve tümör rezeksiyon materyallerinde uygulanan oryantasyon stratejileri literatür eşliğinde analiz edilmiştir. Ayrıca yönlendirme hatalarının tanısal sürece etkisi, ek kesit gereksinimi, tekrar gömme ihtiyacı ve yeniden biyopsi önerisi gibi ölçütler üzerinden değerlendirilmiştir.Çalışma bulgularına göre toplam 210 örneğin %23,3'ünde oryantasyon hatası saptanmıştır. En yüksek hata oranı endometrial küretaj (%36,7) ve servikal biyopsi (%32,0) örneklerinde görülmüştür. En yaygın hata türünün tanısal alanın kesit dışında kalması olduğu belirlenmiş, bunu yan kesit artefaktı, epitel tabakasının görünmemesi ve cerrahi sınırların değerlendirme dışında kalması izlemiştir. Oryantasyon hatalarına bağlı olarak olguların önemli bir bölümünde ek kesit ve tekrar gömme gereksinimi ortaya çıkmış, bazı durumlarda yeniden biyopsi önerilmiştir. Bu sonuçlar, doku yönlendirme stratejilerinin kesit kalitesi ve mikroskobik detayların görünürlüğü üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir.Sonuç olarak, doku tipine özgü doğru yönlendirme ilkelerinin uygulanması; hem histolojik kesit kalitesini hem de tanısal doğruluğu artırmakta, tekrar işlem gereksinimini azaltmakta ve laboratuvar verimliliğine katkı sağlamaktadır. Doku gömme işlemi yalnızca teknik bir hazırlık basamağı değil, tanı sürecinin güvenilirliğini belirleyen temel unsurlardan biridir. Bu nedenle patoloji laboratuvarlarında kalite standardizasyonunun sağlanması için

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

teknik personelin doku yönlendirme konusunda eğitilmesi, standart protokollerin geliştirilmesi ve kalite kontrol mekanizmalarının güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: histopatoloji, doku gömme, yönlendirme, parafin blok, tanı doğruluğu, patoloji teknikleri.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

GENLEŞMİŞ PERLİTİN TARIMSAL KULLANIMINDAKİ NİTELİKLERİ
QUALITIES OF EXPANDED PERLITE IN AGRICULTURAL USE

Zeyni DUYMAZ

Bursa Uludağ Üniversitesi, E-posta: 502318011@ogr.uludag.edu.tr , ORCID ID: 0009-0007-7414-3046

Prof. Dr. Haluk BAŞAR

Bursa Uludağ Üniversitesi, E-posta: bhaluk@uludag.edu.tr , ORCID ID: 0000-0001-9640-4832

ÖZET

Genleşmiş perlitin tarımsal kullanımındaki özelliklerinin değerlendirildiği bu çalışmada; fiziksel, kimyasal ve biyolojik niteliklerinin bitkisel üretim üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Volkanik kökenli bir kayaç olan perlitten ısıl işlemle üretilen genleşmiş perlit sterildir. Katyon değişim kapasitesinin çok düşük olması nedeniyle kimyasal olarak inert özellikte inorganik bir üründür. Hacim ağırlığın düşük olması ve boşluklu yapısına rağmen fiziksel olarak stabildir. Bu özellikleri genleşmiş perliti, yetiştirme ortamı olarak topraksız tarımda ve diğer bitkisel üretim yöntemlerinde kullanımında mükemmel bir substrat ve toprak düzenleyicisi olmasını sağlamaktadır.

İnert özelliği ile topraksız tarımda besin çözeltisi uygulanması ve bitkilerin beslenmesinde önemli avantajlar sunmaktadır. Biyolojik olarak steril niteliği, hastalık ve zararlılardan ari bir ortam özelliğinde olmasını sağlamaktadır. Fiziksel olarak, değişik tane iriliğindeki kompozisyonu ile ilişkili yüksek boşluk hacmi, kök bölgesinde ideal bir hava - su dengesi sağlayarak yüksek verim performansının gerçekleşmesine önemli katkı sağlamaktadır. Diğer taraftan mükemmel bir kapillar su hareketine olanak sağlaması değişik sulama yöntemlerinin uygulanmasını mümkün kılmaktadır.

Steril özelliği sürdürüldüğü, kimyasal ve fiziksel özellikleri uygun olduğu sürece uzun süre kullanılması olanaklıdır. Kimyasal özellikleri ve patojen içerikleri tolere edilebilir düzeylerde olduğu sürece atığının kültür topraklarının fiziksel özelliklerini iyileştirmek için kullanılması olanaklıdır. Üstte belirtilen özellikleri ve dünyadaki perlit rezervlerinin önemli bir bölümünün Türkiye'de bulunduğu dikkate alındığında; genleşmiş perlite, topraksız tarım ve diğer bitkisel üretim uygulamalarında öncelik verilmesinin gerektiği anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Genleşmiş Perlit, Topraksız Tarım, Hidroponik

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ABSTRACT

In this study, the properties of expanded perlite in agricultural applications were evaluated, and its physical, chemical, and biological characteristics and their effects on plant production were examined. Expanded perlite is produced by the thermal processing of perlite, a volcanic-origin rock, and is inherently sterile. Due to its very low cation exchange capacity, it is chemically inert and classified as an inorganic material. Despite its low bulk density and highly porous structure, it exhibits considerable physical stability. These properties render expanded perlite an excellent substrate and soil conditioner for soilless cultivation systems and various other plant production methods.

Owing to its inert nature, expanded perlite offers significant advantages in soilless agriculture by enabling precise nutrient solution application and optimized plant nutrition management. Its biological sterility ensures a growing medium free from pathogens and pests. Physically, its high total porosity-associated with its variable particle size distribution-provides an optimal air-water balance within the root zone, thereby contributing substantially to high yield performance. Furthermore, its excellent capillary water movement facilitates the implementation of diverse irrigation techniques.

Provided that its sterility is maintained and its chemical and physical properties remain within suitable limits, expanded perlite can be used for extended periods. As long as its chemical characteristics and pathogen content remain within tolerable levels, spent perlite may also be utilized to improve the physical properties of cultivated soils. Considering these attributes, together with the fact that a significant proportion of the world's perlite reserves are located in Türkiye, it is evident that expanded perlite should be prioritized in soilless cultivation and other plant production systems.

Keywords: Expanded Perlite, Soilless Agriculture, Hydroponics

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

KATI-FAZ FERMANTASYONUN SAMANLARIN BESİN MADDE İÇERİĞİ VE SİNDİRİLEBİLİĞİNE ETKİLERİ

Dr. Öğretim Üyesi Ramazan TOSUN
Iğdır Üniversitesi; ramazantosun68@gmail.com; ORCID ID: 0000-0002-8209-6362

Prof. Dr. Ali İhsan ATALAY
Iğdır Üniversitesi; aliihsanatalay66@hotmail.com; ORCID ID: 0000-0002-7379-9082

Özet:
Hayvancılık sektörünün ekonomik ve sürdürülebilirliğindeki en önemli sorunlarından biri, kaliteli kaba yemlerin yetersiz olması ve buna bağlı olarak ortaya çıkan kaba yem açığı sorunudur. Bu problemin giderilmesine yönelik olarak, bir yandan alternatif kaliteli kaba yem kaynaklarının araştırılmasına, diğer yandan ise arpa samanı, çeltik samanı, buğday samanı ve mısır samanı gibi düşük kaliteli kaba yemlerin besleme değerinin iyileştirilmesine yönelik araştırmalar yoğunlaşmıştır. Arpa, samanı, çeltik samanı, buğday samanı ve mısır samanı gibi düşük kaliteli kaba yemlerin kalitesini artırmaya yönelik olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik metotlar araştırılmaktadır. Son yıllarda diğer yöntemlere göre birçok avantaja sahip olan ve biyolojik yöntemlerden birisi olan katı-faz fermantasyon yöntemi umut verici sonuçların elde edilmesi nedeniyle araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Katı-faz fermantasyon yöntemi; amino asitler, enzimler, organik asitler ile birlikte fonksiyonel gıda ve yem ürünleri, tekstil hammaddeleri ve biyoyakıtlar gibi yüksek katma değerli birçok biyokimyasal ürünün üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem fermantasyon sürecinin koşullarına bağlı olarak kullanılan substratın besin madde içeriği ve sindirilebilirliğinin iyileştirilmesine katkı sağlamakta; özellikle ham selüloz gibi kompleks karbonhidratların parçalanmasını ve antibesinsel bileşenlerin azaltılmasını ya da ortadan kaldırılmasını mümkün kılmaktadır. Bu çalışmada ruminant beslemede kullanılan arpa, buğday ve mısır samanı gibi düşük kaliteli kaba yemlerin besleme değerinin artırılmasına yönelik yürütülen fermantasyon çalışmalarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.
Anahtar Kelimeler: kaba yem, katı-faz fermantasyon, saman, ruminant besleme

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

EFFECTS OF SOLID-STATE FERMENTATION ON THE NUTRIENT CONTENT AND DIGESTIBILITY OF STRAW

Abstract:
One of the most significant problems in the economics and sustainability of the livestock sector is the inadequacy of high-quality roughage and the resulting roughage deficit. To address this problems, research has focused on exploring alternative high-quality roughage sources on the one hand and improving the nutritional value of low-quality roughages such as barley, wheat, and corn straw on the other. Researchers are looking into physical, chemical, and biological ways to make low-quality roughages like barley, wheat, and corn straw better. Recently, solid-phase fermentation, a biological method with many advantages over other methods, has attracted the attention of researchers due to the promising results obtained. Solid-state fermentation is widely used in the production of many high-value biochemical products such as amino acids, enzymes, organic acids, functional food and feed products, textile raw materials, and biofuels. Depending on the conditions of the fermentation process, this method contributes to improving the nutrient content and digestibility of the substrate used. In particular, it enables the breakdown of complex carbohydrates such as crude cellulose and the reduction or elimination of antinutritional components. This study aimed to evaluate fermentation studies conducted to increase the nutritional value of low-quality roughages such as barley, wheat, and corn straw used in ruminant feeding.
Keywords: roughage, solid-state fermentation, straw, ruminant nutrition

GİRİŞ

Hayvancılık sektöründe sürdürülebilir üretimin sağlanmasında kaliteli kaba yem kaynaklarının yeterli düzeyde temin edilmesi temel bir gerekliliktir. Ancak hem dünyada hem de Türkiye'de kaba yem üretiminin hayvan varlığına paralel olarak artmaması, sektörün en önemli yapısal sorunlarından biri olan kaba yem açığını ortaya çıkarmaktadır. TÜDKİYEB (2023) Türkiye'de 2023 yılında toplam kaba yem ihtiyacının yaklaşık 90 milyon ton düzeyinde olduğunu, buna karşın üretimin 30–35 milyon ton seviyesinde kaldığını ve 55-60 milyon ton civarında önemli bir açığın bulunduğu raporlanmıştır. Benzer bir çalışmada 2024 yılı için kaba yem açığının 55–60 milyon ton civarında olduğu bildirilmiştir (Özkan vd., 2025). Bu durum, hayvansal üretim maliyetlerini artırmakta ve işletmelerin ekonomik sürdürülebilirliğini olumsuz etkilemektedir (Dayani vd., 2012; Nasehi vd., 2017; Sufyan vd., 2024).

Ucuz, bol miktarda ve sürekliliği olan kaliteli kaba yem teminine yönelik gerek küresel gerekse ülkemizde çalışmalar her geçen gün artmaktadır (Khonkhaeng ve Cherdthong 2020; Datsomor vd., 2022; Canbolat, 2022; Beyzi vd., 2022). Bu çalışmalar, alternatif kaba yem kaynaklarının geliştirilmesi ve mevcut düşük kaliteli kaba yemlerin (DKKY) besleme değerinin artırılmasına yoğunlaşmaktadır (Godoy vd., 2018; Arredondo-Santoyo vd., 2020; Canbolat, 2022; Atalay vd., 2023; Chen vd., 2024). Özellikle arpa, buğday, mısır, çeltik ve çavdar samanı gibi lignoselülotik yapısı yüksek tarımsal yan ürünler, ucuz ve bol miktarda bulunmalarına rağmen düşük protein içerikleri ve yüksek lignoselülotik içeriği nedeniyle sınırlı sindirilebilirliğe sahiptir (Nasehi vd., 2017; Datsomor vd., 2022; Wang vd., 2023,2024). Ayrıca yüksek lignoselülotik bileşenler içermesi nedeniyle özellikle de yüksek verimli ruminant beslenmesinde kullanıldığında verimliliği önemli derecede düşürmektedir (Yan vd., 2025). Diğer taraftan mevcut DKKY'lerin çoğu zaman yakılması veya atık olarak bırakılması, hem ekonomik kayıplara hem de çevresel sorunlara yol açmaktadır (Chatterjee ve Mohan, 2022; Xie vd., 2022; Krishna ve Mkondiea, 2023; Chen vd., 2024; Yan vd., 2025).

Ruminant beslemede DKKY kullanımını artırmak amacıyla fiziksel (Sarnklong vd., 2010; Du vd., 2019), kimyasal (Abera vd., 2018; You vd., 2019; Canbolat, 2022) ve biyolojik yöntemler (Khonkhaeng ve Cherdthong 2020; Datsomor vd., 2022; Atalay vd., 2023) yöntemler araştırılmıştır. Fiziksel yöntemler substratın yüzey alanını artırarak sindirilebilirliği kısmen iyileştirirken, kimyasal yöntemler lignin-karbonhidrat komplekslerini parçalayabilmektedir. Ancak bu yöntemlerin yüksek maliyet, çevresel risk ve uygulama zorlukları gibi önemli dezavantajları bulunmaktadır (Tuyen vd., 2012; Liu vd., 2017; Sufyan vd., 2022; Wang vd., 2023; Chen vd., 2024). Son yıllarda biyolojik yöntemlerden birisi olan katı-faz fermantasyon, çevre dostu, ekonomik, besin madde içeriğinin iyileştirmesi ve hücre duvarındaki lignoselülotik bileşikleri enzimatik olarak parçalaması gibi avantajlarından dolayı önemli bir alternatif olarak ön plana çıkmıştır (Sufyan vd., 2022; Wang vd., 2023; Chen vd., 2024; Yan vd., 2025).

Katı-faz fermantasyon (KFF), mikroorganizmaların düşük su aktivitesine sahip katı substratlar üzerinde, doğal habitatlarına benzer koşullarda gelişerek enzimatik dönüşümler gerçekleştirdiği bir biyoteknolojik süreçtir (Pandey, 2003; Cano vd., 2021; Yan vd., 2025). Bu süreçte substratın besin madde bileşiminin iyileştiği, antibesinsel faktörlerin yok veya minimize edildiği ve mikroorganizmalar tarafından sentezlenen selülaz, hemiselülaz ve ligninaz gibi enzimler lignoselülotik yapıyı parçalayarak sindirilebilirliği artırdığı bildirilmiştir (Olukomaiya vd., 2020; Tosun ve Yaşar, 2021; Garrido-Galand vd., 2021; Mehmood vd., 2024; Yan vd., 2025).

KFF, düşük kaliteli kaba yemlerin değerlendirilmesinde birçok avantaj sunmaktadır. Bu yöntem, lignoselülotik yapının enzimatik olarak parçalanması yoluyla sindirilebilirliği artırırken, aynı zamanda ham protein içeriğinin yükselmesine katkı sağlamaktadır (Yasar, 2018; Olukomaiya vd., 2020; Garrido-Galand vd., 2021; Mehmood vd., 2024; Yan vd., 2025). Ayrıca düşük su gereksinimi, enerji ihtiyacının görece az olması ve çevre dostu bir süreç olması, KFF'yi diğer iyileştirme yöntemlerine göre daha sürdürülebilir bir alternatif haline getirmektedir. Bunun yanında tarımsal atıkların değerlendirilmesine olanak sağlaması, hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli faydalar sunmaktadır (Tuyen vd., 2012; Liu vd., 2017; Sufyan vd., 2022; Wang vd., 2023; Chen vd., 2024; Yan vd., 2025).
Bu çalışmada ruminant beslemede kullanılan arpa, buğday ve mısır samanı gibi düşük kaliteli kaba yemlerin (DKKY) besleme değerinin artırılmasına yönelik yürütülen katı-faz fermantasyon çalışmalarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

DKKY'DE YÜRÜTÜLEN KATI-FAZ FERMANTASYON

DKKY'lerin katı-faz fermantasyon ile besin madde kompozisyonunun ve sindirilebilirliğinin iyileştirilmesine yönelik çalışmaların büyük çoğunluğunda kullanılan mikroorganizma türüne ve fermantasyon koşullarına bağlı olarak farklı mekanizmalar üzerinden yem kalitesinde değişimlerin olduğu belirtilmiştir (Nasehi vd., 2017; Olukomaiya vd., 2020; Tosun ve Yaşar, 2021; Garrido-Galand vd., 2021; Yan vd., 2025).
KFF'nin lignin ve yapısal karbonhidrat içeriği yüksek DKKY'lerin kimyasal bileşimini önemli ölçüde değiştirdiği ve bu değişimlerin *in vitro* parametrelerini doğrudan etkilediği görülmektedir. Literatürde, uygun mikroorganizma seçimi ve optimum fermantasyon koşullarında yürütülen çalışmalarda önemli yapısal değişimlerin meydana geldiği rapor edilmiştir. Bu çalışmalar, KM, NDF, ADF, ADL, hemiselüloz, ham selüloz (HS) ve OM içeriklerinde azalma olduğunu göstermektedir. Bu değişimler, hücre duvarı yapısının parçalanması sonucunda sindirilebilir besin madde içeriğinin artmasına ve *in vitro* gaz üretiminin (İVGÜ) yükselmesine yol açmaktadır (Nasehi vd., 2017; Meehnian ve Jana, 2017; Wang vd., 2023; Wu vd., 2025). Örneğin Hai vd. (2024) çeltik samanını farklı mikroorganizma ve fermantasyon koşullarında fermente etmişlerdir. Tüm mikroorganizmaların 40 ^{o}C'de gelişmediğini, 35 ^{o}C sıcaklığa kadar gelişebildiğini, 24-30 ^{o}C optimum verim alındığını belirtmişlerdir. *Ceriporiopsis subvermispora* ile çeltik samanının fermantasyonu sonunda ham protein (HP) içeriğinin yaklaşık %30 oranında artarken, hemiselülozun %69, ligninin %90 oranında parçalandığını belirtmiştir. *Lentinula edodes* ve *Pleurotus eryngii* ile yürütülen fermantasyonlarda lignin ve hemiselüloz içeriğinde parçalanmasına rağmen *Ceriporiopsis subvermispora* ile yürütülen fermantasyona göre daha düşük seviyede kalmıştır. Ligninin parçalanmasıyla artan substrat erişilebilirliği, rumen mikroorganizmalarının yapısal karbonhidratlardan daha etkin şekilde çözünür şekerlere dönüştürmesini ve bunların uçucu yağ asitlerine çevrilmesini sağlamakta, böylece ruminantlar için önemli bir enerji kaynağı olduğu belirtilmiştir (Nasehi vd., 2017; Ohara vd., 2020; Sufyan vd., 2022; Liang vd., 2024; Yan vd., 2025). Diğer bir çalışmada ise çeltik samanının *P. chrysosporium, P. ostreatus* ve ikisinin karışımı ile fermantasyonu sonucunda HP ve ham kül (HK) artarken; KM, OM, NDF, ADF, ADL, HS, hemiselüloz azalmıştır (Datsomor vd., 2022). *P. chrysosporium* ile fermantasyonlarda İVGÜ ve *in vitro* kuru madde sindirimi (İVKMS) azalırken *P. ostreatus* ve

karışımı ile yürütülen fermantasyonlarda artmıştır. Jing-jing vd. (2015) ise çeltik samanını laktik asit bakterileri ile 30 günlük fermantasyona bırakmıştır. Fermantasyon sonunda KM, suda çözünebilir karbonhidrat, NDF, ADF ve İVKMS azalırken HP'nin arttığını belirtmişlerdir. Bu durum, substrata uygun mikroorganizma ve optimum fermantasyon koşullarının sağlanmasının kritik olduğunu göstermektedir. Aksi takdirde fermantasyonun başarısı düşmekte ve istenilen verim elde edilememektedir. Çünkü amaca ve substrata uygun mikroorganizma ve fermantasyon koşulları sağlanmadığında fermantasyonun temel hedeflerinden biri olan ligninin parçalanması yerine lignin içeriğinde artabilmektedir. Fermantasyon sonunda lignin içeriğinin artması ise ligninin tam parçalanmamasına bağlı birikimlerden kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Datsomor vd., 2022; Yan vd., 2025).

Çizelge 1'de de görüleceği üzere KFF lignoselülotik kaba yemlerin besleme değerini artırmada önemli avantajlar sunmaktadır. Lignin ve yapısal karbonhidrat içeriği yüksek DKKY'lerin besin madde kompozisyonu ve sindirilebilirliğinin artırılmasında beyaz çürükçül mantarların daha çok kullanıldığı ve daha başarılı sonuçlar alındığı Çizelge 1'de görülmektedir. Ancak her zaman beklenen sonuçların veya benzer etkinin olmadığı anlaşılmaktadır. Bu bağlamda amaca ve substrata uygun mikroorganizma seçimi ile mikroorganizma için ideal fermantasyon koşullarının sağlanması kritik önem taşımaktadır. Fermantasyon koşullarındaki küçük değişikliklerin dahi mikrobiyal aktiviteyi önemli ölçüde etkileyebileceği bilinmektedir. Diğer taraftan bu yöntemin bazı sınırlayıcı faktörleri bulunmaktadır (Yan vd., 2025). İlk olarak fermantasyon sürecinin steril olmayan koşullarda yürütülmesi durumunda kontaminasyon riski artmakta ve özellikle toksik mikroorganizmaların gelişmesine bağlı olarak mikotoksin oluşumu söz konusu olabilmektedir (Yan vd., 2025). Bunun yanı sıra, katı faz sistemlerde ısı ve kütle transferinin sınırlı olması, ortamda oluşan metabolik ısının uzaklaştırılmasını zorlaştırmakta ve mikroorganizma aktivitesinde dengesizliklere yol açabilmektedir (Yan vd., 2025). Bunların dışında en önemlisi ise KFF'nin laboratuvar ölçeğinde başarılı sonuçlar vermesine rağmen çiftçi koşullarında ve endüstriyel ölçekte uygulanmasının zor olmasıdır. Ölçek büyütme sırasında biyoreaktör tasarımı, oksijen transferi ve sıcaklık kontrolü gibi faktörler önemli sorunlar oluşturabilmektedir (Yan vd., 2025). Endüstriyel ölçeğinde sterilizasyonun sağlanması önemli enerji harcanmaya ihtiyaç duyması da sürdürülebilirliği için ayrı bir sınırlayıcı etkendir. Bu sınırlayıcı etkeni aşmak için ise sıcak su, fumigasyon, sönmüş kireç ve buhar uygulaması gibi sterilizasyon yöntemleri denenmiştir (Sufyan vd., 2024). Nitekim çiftçi koşullarında otoklavlama işleminin uygulanabilirliğinin olmaması alternatif bir sterilizasyon yönteminin gerekliliğini göstermektedir (Van Kuijk vd., 2016; Sufyan vd., 2024; Yan vd., 2025). Bu nedenlerle, KFF pratik hayvancılık koşullarında uygulanabilirliğinin artırılması için yöntem optimizasyonu ve kontrolünün sağlanması gerekmektedir. Mevcut çalışmaların büyük çoğunluğunun *in vitro* düzeyde olması ve *in vivo* çalışmaların sınırlı kalması, yöntemin hayvan performansı üzerindeki gerçek etkilerinin tam olarak ortaya konulamamasına neden olmaktadır (Yan vd., 2025). Çünkü metabolizmaya ve rumen ortamına etkisi üzerine çalışmalar oldukça sınırlıdır. KFF'nin bu sınırlayıcı etmenlerin yanı sıra DKKY'lerin besin madde içeriği ve sindiriminin iyileştirmesi küresel ölçekte büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, KFF'nin pratik hayvancılık koşullarında uygulanabilirliğinin artırılması için süreç optimizasyonuna, ölçek büyütme çalışmalarına ve özellikle *in vivo* çalışmalarına ihtiyaç bulunmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Çizelge 1. Literatürde DKKY ile yürütülen bazı fermantasyon çalışmaları ve sonuçları

Substrat	**Mikroorganizma**	**Fermantasyon koşulları**	**Bulgular**	**Kaynak**
Pamuk hasadı artığı	-*Paenibacillus sp.* F4 -*C. xylanilytica* T5 -*B.amyloliquefaciens*	-	HP, HK, ADF artmış. HS *Paenibacillus* ve *C. xylanilytica*; NDF ise *C. xylanilytica* ve *B.amyloliquefaciens* fermantasyonlarında artmış.	Wu vd. (2025)
Çeltik samanı	-*C. subvermispora, L. edodes* -*P. eryngii*	24°C, 30°C, 35 °C ve 40°C, 8 hafta	24-30 ºC'da HP, hemiselüloz ve lignin azalmış. En yüksek azalma *C. subvermispora*'da elde edilmiştir.	Hai vd. (2024)
Arpa samanı	-6 farklı beyaz çürükçül fungal		HP, HY, nişasta artarken, NDF, ADF, ADL azalmıştır.	Wang vd. (2023)
Kasımpatı atığı	-*P. cellaris, C. tropicalis* ve *B. amyloliquefacien* karışımı	29 °C, 10 gün	HP, HK, HY, HS, ADF, NDF. Kalsiyum, fosfor, total flavonoidler artarken, saponin azalmış. Flavor amino asit miktarı ve kalitesi artmış.	Cui vd. (2023)
Çeltik samanı	-*P. eryngii* -*P. ostreatus* -*P. florida*	23-27 °C, %75-85 nem, 30 gün	HK, HP artarken; KM, NDF, ADL, hemiselüloz azalmış. ADF *P. ostreatus* ve *P. florida,* HS ise *P. florida* fermantasyonlarında azalmıştır.	Sufyan vd. (2022)
Buğday samanı	-*P. eryngii* -*P. ostreatus* -*P. florida*	23-27 °C, %75-85 nem, 30 gün	HK, HP, İVKMS, İVGÜ artarken; KM, NDF, ADF, ADL ve hemiselüloz azalmış.	Sufyan vd. (2022)
Çeltik samanı	-*P. chrysosporium* -*P. ostreatus* -İkisinin karışımı	25 °C, %70-80 nem, 30 gün	HP ve HK artarken; KM, OM, NDF, ADF, ADL, HS ve hemiselüloz azalmış. İVGÜ ve İVKMS *P. chrysosporium* ile fermantasyonda azalırken diğerlerinde artmıştır.	Datsomor vd. (2022)
Çeltik samanı, mısır samanı	-*P. ostreatus* -*V. volvacea*	30 °C, %50 nem, 21 gün	HP artarken; KM, OM, NDF ve ADF azalmış.	Khonkhaeng ve Cherdthong (2020)
Çeltik samanı	-*Pleurotus florida*	25 °C, %78 nem, 21 gün	HK, HP, OMS, ME ve İVGÜ artarken; KM, OM, NDF ve ADF azalmış.	Nasehi vd. (2017)
Arpa samanı	-*Pleurotus florida*	25°C, %78 nem, 21 gün	HK, HP, OMS, ME ve İVGÜ artarken; KM, OM, NDF ve ADF azalmıştır.	Nasehi vd. (2017)
Soya samanı	-*Pleurotus florida*	24 °C, %70 nem, 12 hafta	HK, HP, OMS, ME ve İVGÜ artarken; KM, OM, NDF azalmıştır.	Nasehi vd. (2017)
Kanola samanı	-*Pleurotus florida*	24 °C, %70 nem, 12 hafta	HK, HP, ME, OMS ve İVGÜ artarken; KM, OM ve NDF azalmıştır.	Nasehi vd. (2017)
Bezelye samanı	-*Pleurotus florida*	24 °C, %70 nem, 12 hafta	HK, HP, ME, OMS ve İVGÜ artarken; KM, OM ve NDF azalmıştır.	Nasehi vd. (2017)
Buğday samanı	-*Pleurotus florida*	24 °C, %70 nem, 12 hafta	HK, HP, ME, OMS ve İVGÜ artarken; KM, OM, NDF, ADF ve ADL azalmıştır.	Nasehi vd. (2017)
Buğday samanı	-*Lentinula edodes*	24 °C, %70 nem, 12 hafta	HS ve İVGÜ artarken, ADL ve hemiselüloz azalmıştır.	Van Kuijk vd. (2016)

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Çeltik samanı	-*L. fermentum*, *L. plantarum* ve *L. paracacei* karışımı	25-30 °C, %60 nem, 30 gün	KM, suda çözünebilir karbonhidrat, NDF, ADF ve İVKMS azalırken HP artmıştır.	Jing-jing vd., 2015

HP: ham protein; HK: ham kül; HY: ham yağ; HS: ham selüloz; KM: kuru madde; ME: metabolik enerji; OM: organik madde; İVGÜ: *in vitro* gaz üretimi; OMS: organik madde sindirimi; İVKMS: *in vitro* kuru madde sindirimi

SONUÇ

Katı-faz fermantasyon, düşük kaliteli kaba yemlerin besin madde içeriğini ve sindirilebilirliğini artırmada etkili bir biyoteknolojik yöntemdir. Literatürdeki birçok çalışmada, özellikle lignin ve yapısal karbonhidratların parçalanmasına bağlı olarak ham protein içeriği ve *in vitro* sindirilebilirlik parametrelerinde önemli iyileşmeler sağlandığını göstermektedir. Ancak bu etkinlik, kullanılan mikroorganizma türü, substrat özellikleri ve fermantasyon koşullarına büyük ölçüde bağlıdır. Buna karşın, kontaminasyon riski, ısı ve kütle transferi sınırlılıkları ile endüstriyel ölçekte uygulanabilirlikteki zorluklar yöntemin başlıca kısıtlarını oluşturmaktadır. Ayrıca mevcut çalışmaların büyük ölçüde *in vitro* düzeyde olması, yöntemin hayvan performansı üzerindeki etkilerinin yeterince ortaya konulamamasına neden olmaktadır. Bu nedenle, gelecekte yapılacak çalışmalarda süreç optimizasyonu, uygun mikroorganizma–substrat kombinasyonlarının belirlenmesi, ekonomik analizler ve özellikle *in vivo* çalışmalar öncelik kazanmalıdır. Bu yaklaşımlar, katı-faz fermantasyonun pratik hayvancılık sistemlerine entegrasyonunu kolaylaştıracaktır. Aksi takdirde, katı-faz fermantasyonun uygulama alanı büyük ölçüde laboratuvar ölçeği ile sınırlı kalabilir.

KAYNAKLAR

Abera, F., Urge, M., Animut, G. Feeding value of maize stover treated with urea or urea molasses for Hararghe highland sheep, Open Agriculture, 12(1), 84-94, 2018.

Arredondo-Santoyo, M., Herrera-Camacho, J., Vázquez-Garcidueñas, M. S., Vázquez-Marrufo, G. Corn stover induces extracellular laccase activity in *Didymosphaeria* sp.(syn.= *Paraconiothyrium* sp.) and exhibits increased *in vitro* ruminal digestibility when treated with this fungal species, Folia Microbiologica, 65(5), 849-861, 2020.

Atalay, A.İ., Tosun, R., Kaya, A. Effect of Solid state fermentation on meadow grass nutrient content and anti-methanogenic properties, International Journal of Agriculture and Wildlife Science, 9(2), 278-288, 2023.

Beyzi, S.B., Ülger, İ., Konca, Y. Chemical, fermentative, nutritive and anti-nutritive composition of common reed (*Phragmites australis*) plant and silage, Waste and Biomass Valorization, 14(3), 927-936, 2023.

Canbolat, Ö. Effect of alkali treatment on nutrient composition, *in vitro* gas production and feed value of corn straw, J Food Feed Sci, 27, 61-67, 2022.

Cano, Y., Postigo, L.O., et al. Solid-state fermentation for enhancing the nutraceutical content of agrifood by-products: Recent advances and ıts ındustrial feasibility, Food Biosci, 41, 100926, 2021.

Chatterjee, S., Mohan, V.S. Fungal biorefinery for sustainable resource recovery from waste, Bioresour Technol, 345, 126443, 2022.

Chen, J., Cai, Y., Wang, Z., et al. Solid-state fermentation of corn straw using synthetic microbiome to produce fermented feed: the feed quality and conversion mechanism, *Sci. Total Environ, 920,* 171034, 2024.

Cui, Y., Peng, S., Deng, D., Yu, M., Tian, Z., Song, M., Luo, J., Ma, X., Ma, X. Solid-state fermentation improves the quality of chrysanthemum waste as an alternative feed ingredient, Journal of Environmental Management, 330, 117060, 2023.

Datsomor, O., Gou-Qi, Z., Miao, L. Effect of ligninolytic axenic and coculture white-rot fungi on rice straw chemical composition and *in vitro* fermentation characteristics, Scientific Reports, 12(1), 1129, 2022.

Dayani, O., Khezri, A., Moradi, A.G. Determination of nutritive value of date palm by-products using in vitro and in situ measurements, Small Ruminant Research, 105, 122-125, 2012.

Du, C., Nan, X., Wang, K., Zhao, Y., Xiong, B. Evaluation of the digestibility of steam-exploded wheat straw by ruminal fermantation, sugar yield and microbial structure *in vitro*, RSC Adv, 9,41775–41782, 2019.

Garrido-Galand, S., Asensio-Grau, A., Calvo-Lerma, J., Heredia, A., Andrés, A. The potential of fermentation on nutritional and technological improvement of cereal and legume flours: A review, Food Research International, 145, 110398, 2021.

Godoy, M.G., Amorim, G.M., Barreto, M.S., Freire, D.M. Agricultural residues as animal feed: protein enrichment and detoxification using solid-state fermentation, In Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, 235-256, 2018.

Hai, T.T., Peer, A.V., et al Incubation temperature affects growth and efficacy of white-rot fungi to ımprove the nutritive value of rice straw, Anim Prod Sci, 64, AN23403, 2024.

Jing-Jing, L., Xiao-Ping, L., et al. The effects of fermentation and adsorption using lactic acid bacteria culture broth on the feed quality of rice straw, Journal of Integrative Agriculture, 14(3), 503-513, 2015.

Khonkhaeng, B., Cherdthong, A. Improving nutritive value of purple field corn residue and rice straw by culturing with white-rot fungi, Journal of Fungi, 6(2), 69, 2020.

Krishna, V.V., Mkondiwa, M. Economics of crop residue management, Annual Review of Resource Economics, 15(1), 19-39, 2023.

Liang, J., Zhang, R., Chang, J., Chen, L., Nabi, M., Zhang, H., Zhang, G., Zhang, P. Rumen microbes, enzymes, metabolisms, and application in lignocellulosic waste conversion: A comprehensive review, Biotechnology Advances, 71, 108308, 2024.

Liu, J., Liu, B., Zhan, L., et al. Solid-state fermentation of ammoniated corn straw to animal feed by Pleurotus ostreatus Pl-5, BioResources, 12(1), 1723-1736, 2017.

Meehnian, H., Jana, A.K. Cotton stalk pretreatment using Daedalea flavida, Phlebia radiata, and Flavodon flavus: Lignin degradation, cellulose recovery, and enzymatic saccharification, Appl Biochem Biotechnol 181, 1465–1484, 2017.

Mehmood, T., Saeed, S., et al. Biotransformation of wheat straw into biovanillin by solid-state fermentation and optimization of conditions parameters through response surface methodology, Biomass Conversion and Biorefinery, 14(6), 7569-7578, 2024.

Nasehi, M., Torbatinejad, N.M., Zerehdaran, S., Safaie, A.R. Effect of solid-state fermentation by oyster mushroom (*Pleurotus florida*) on nutritive value of some agro by-products, Journal of Applied Animal Research, 45(1), 221-226, 2017.

Ohara, E., Neves, A.L.A., et al. The role of the gut microbiome in cattle production and health: Driver or passenger?, Annual Review of Animal Biosciences, 8, 199-220, 2020.

Olukomaiya, O.O., Fernando, W.C., Mereddy, R., Li, X., Sultanbawa, Y. Solid-state fermentation of canola meal with Aspergillus sojae, Aspergillus ficuum and their co-cultures: Effects on physicochemical, microbiological and functional properties, LWT - Food Science and Technology, 127, 109362, 2020.

Özkan, U., Yılmaz, D.İ., Tenikecier, H.S., Ateş, E. Türkiye'de kaba yem ve kuru ot durumu: 2004-2024 dönem analizi, Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi 8(1):93-107, 2025.

Pandey, A. Solid-state fermentation, Biochemical engineering journal, 13(2-3), 81-84, 2003.

Sarnklong, C., Cone, J.W., Pellikaan, W., Hendrikx, H. Utilization of rice straw and different treatments to improve its feed value for ruminants: A review, Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 23(5), 680-692, 2010.

Sufyan, A., Ahmad, N., Shahzad, F., Embaby, M.G., AbuGhazaleh, A., Khan, N.A. Improving the nutritional value and digestibility of wheat straw, rice straw, and corn cob through solid state fermentation using different Pleurotus species, Journal of the Science of Food and Agriculture, 102(6), 2445-2453, 2022.

Sufyan, A., Khan, N.A., et al. Novel techniques for the mass production of nutritionally improved, fungus-treated lignocellulosic biomass for ruminant nutrition, Journal of the Science of Food and Agriculture, 104(4), 2215-2224, 2024.

Tuyen, V.D., Cone, J.W., Baars, J.J.P., Sonnenberg, A.S.M., Hendriks, W.H. Fungal strain and incubation period affect chemical composition and nutrient availability of wheat straw for rumen fermentation, Bioresource Technology, 111, 336-342, 2012.

TÜDKİYEB, 2023. Erişim adresi: https://www.olay53.com/haber/tudkiyeb-genel-baskani-nihat-celik-hayvanciligin-en-buyuk-1346795.htm (Erişim Tarihi: 12.02.2026).

Van Kuijk, S.J.A., Sonnenberg, A.S.M., Baars, J.J.P., Hendriks, W.H., Cone, J.W. Fungal treated lignocellulosic biomass as ruminant feed ingredient: A review, Biotechnology Advances, 33, 191-202, 2016.

Wang, Y., Gou, C., et al. Solid-state fermentation with white rot fungi (*Pleurotus* species) improves the chemical composition of highland barley straw as a ruminant feed and enhances *in vitro* rumen digestibility, J Fungi, 9(12),1156, 2023.

Wang, Y., Liao, Y., Gou, C., Zhang, H., Chen, L., Bao, Y. Effect of Lentinus sajor-caju on the chemical composition and antioxidant activity of highland barley straw under solid-state fermentation, Frontiers in Microbiology, 15, 1365254, 2024.

Wu, D., Liang, X., Hu, R., Wang, Z., Zou, H., Wu, F., Li, H., Jiang, Y., Peng, Q., Xiao, J., Li, H., Zhou, Z. Improvement of nutritional value of cotton residue by solid state fermentation, Journal of Environmental Chemical Engineering, 117125, 2025.

Xie, Z., Zou, H., Zheng, Y., Fu, S.F. Improving anaerobic digestion of corn straw by using solid-state urea pretreatment, Chemosphere, 293, 133559, 2022.

Yan, Q., Datsomor, O., et al. Enhancing agricultural sustainability by improving the efficiency of lignocellulosic biomass utilization in the ruminant diet via solid-state fermentation with white-rot fungi: A review, Microorganisms, 13(7), 1708, 2025.

Yaşar, S., Tosun, R. Improving nutritional qualities of tomato pomace by *Pleurotus ostreatus* and *Phanerochaete chrysosporium* fermentation, KSU J Agric Nat, 23(2), 527-535, 2020.

Yasar, S., Uysal, C., Tosun, R. Nutritional fortification of sunflower meal by *Bacillus subtilis* ATCC PTA-6737 fermentation, Agric Sci Vet Med Anim Sci Biotechnol, 75(2), 2018.

You, Z., Zhang, S., et al. Effects of corn stover pretreated with NaOH and CaO on anaerobic co-digestion of swine manure and corn stover, Applied Sciences, 9(1), 123, 2019.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

FARKLI İNOKULATLARLA FERMENTE EDİLEN BUĞDAY SAMANININ *İN VİTRO* PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Dr. Öğretim Üyesi Ramazan TOSUN

Iğdır Üniversitesi; ramazantosun68@gmail.com; ORCID ID: 0000-0002-8209-6362

Arş. Gör. Ali KAYA

Atatürk Üniversitesi; alikaya@atauni.edu.tr; ORCID ID: 0000-0002-7694-7220

Prof. Dr. Ali İhsan ATALAY

Iğdır Üniversitesi; aliihsanatalay66@hotmail.com; ORCID ID: 0000-0002-7379-9082

Özet:
Bu çalışmada buğday samanını peynir altı suyu (PAS), silaj suyu (SS), ve PAS+SS (1:1) ile üç farklı inokulant kaynağı ile fermantasyona bırakarak *in vitro* parametrelerdeki değişimi belirlemek amaçlanmıştır. Fermantasyonlar 30 gün sürdürülürken 0. 15. ve 30. günlerinde örnekler alınarak *in vitro* parametrelerdeki değişiklikler tespit edilmiştir. Fermantasyonlar sonunda buğday samanının 0. güne (kontrol) göre *in vitro* gaz üretimi (İVGÜ), metan, metabolik enerji (ME), organik madde sindirim derecesi (OMSD), gerçek sindirilebilir kuru madde (GSKM), taksimat faktörü (TF), mikrobiyal protein (MP) ve mikrobiyal protein sentezleme etkinliğinde (MPSE) önemli değişim belirlenmiştir ($P<0.05$). PAS ve PAS+SS ile yürütülen fermantasyonlarda buğday samanının İVGÜ düştüğü, SS fermantasyonunda ise 15. gün örneklerinde düşmüş ancak sonrasında artmıştır. Metan (ml) ise PAS fermantasyonundan etkilenmediği, PAS+SS ve SS fermantasyonlarında azaldığı belirlenmiştir. Buğday samanının SS fermantasyonunda ME ve OMSD artarken diğer iki fermantasyonda azalmıştır. Fermantasyonların GSKM'ye etkisi incelendiğinde PAS ve PAS+SS fermantasyonunda azalırken, SS fermantasyonunda artmıştır. Buğday samanının TF, MP ve MPSE ise PAS ve PAS+SS fermantasyonlarında artarken, SS fermantasyonunun 15. gün örneklerinde artmasına rağmen 30. günde önemli derecede azalarak 0. gün değerinin altına düşmüştür. Sonuç olarak, buğday samanı ile yürütülen üç farklı fermantasyonun *in vitro* parametrelerine önemli düzeyde etkilemiştir. Bu fermantasyonlardan SS ile gerçekleştirilen fermantasyonun metabolik enerji, organik madde sindirilebilirliği ve gerçek sindirilebilir kuru maddeyi iyileştirdiği belirlenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Buğday samanı; katı faz fermantasyon; *in vitro* gaz; kaba yem kalitesi

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

EFFECTS OF FERMENTATION WITH DIFFERENT INOCULATES ON *IN VITRO* PARAMETERS OF WHEAT STRAW

Abstract:
This study aimed to determine the changes in in vitro parameters by fermenting wheat straw with three different inoculant sources: whey (W), silage water (SW), and WW+SS (1:1). Fermentations were carried out for 30 days, and samples were taken on days 0, 15, and 30 to determine changes in in vitro parameters. At the end of the fermentations, significant changes were observed in *in vitro* gas production (IVG), methane, metabolic energy, organic matter digestibility (OMD), true digestible dry matter (TDD), partitionig factor (PF), microbial yield (MY), and microbial yield synthesis efficiency (MYSE) of wheat straw compared to day 0 (control) ($P<0.05$). In fermentations conducted with W and W+SW, the IVG of wheat straw showed a decrease. However, during the SW fermentation, a decrease was noted in the samples taken on the 15th day, followed by an increase in subsequent samples. Methane (ml) was unaffected by W fermentation but decreased in the W+SW and SW fermentations. Metabolic energy and OMD increased in the SW fermentation of wheat straw, while they decreased in the other two fermentations. When the effect of fermentations on TDD was examined, it decreased in W and W+SW fermentations, while it increased in SW fermentation. PF, MY, and MYSE of wheat straw increased in W and W+SW fermentations, while in SW fermentation, although they increased in the 15th-day samples, they decreased significantly on day 30, falling below the day 0 value. In conclusion, it significantly affected the *in vitro* parameters of three different fermentations carried out with wheat straw. These fermentations determined that the fermentation carried out with SW improved metabolic energy, organic matter digestibility, and true digestible dry matter.
Keywords: Wheat straw; solis-state fermentation; *in vitro* gas; roughage quality

GİRİŞ

Ülkemizde önemli derecede kaliteli kaba yem açığı mevcuttur. Bu durumu, Acar vd. (2020), 2018 yılında kaba yem açığını net bir şekilde açıklamıştır. Araştırmacılar, toplam kaba yem ihtiyacı 86 milyon ton, karşılanan kaba yem ise 30 milyon ton, toplam kaba yem açığı oranının ise 2018 yılında %65 gibi çok yüksek bir seviyede olduğunu raporlamışlardır. Diğer bir raporda ise TÜDKİYEB (2023) yılında ülkemizde 30-35 milyon ton kaba yem üretildiğini, ihtiyaç duyulan kaba yem ise 90 milyon ton olduğunu ve 55-60 milyon ton açığın bulunduğu ifade edilmiştir. Bu durum 2024 yılında ise 55,6 milyon ton kuru kaba yem açığı olduğu bildirilmiştir (Özkan vd., 2025). Hayvansal üretim faaliyetlerinde kaliteli kaba yem kaynaklarının yetersizliği ve dolayısıyla maliyet artışları hayvancılığın önündeki en büyük engeldir. Bu engeli aşmak için alternatif, sürekliliği olan ve düşük maliyetli alternatif kaba yem kaynaklarının araştırılmasını (Taha vd., 2015; Habib vd., 2016; Beyzi vd., 2023) veya mevcut düşük kaliteli kaba yem kaynaklarının kalitesinin artırılması (Du vd., 2019; Datsomor vd., 2022; Canbolat, 2022; Atalay vd., 2023) için araştırmalar yürütülmektedir.

Arpa, buğday, mısır samanı gibi yapısal karbonhidrat içeriği yüksek, sindirilebilirliği düşük kaba yemlerin kalitesini artırmak için fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler üzerine araştırmaların yoğunlaşmıştır (Du vd., 2019; Datsomor vd., 2022; Canbolat, 2022; Carrillo-Diaz vd., 2022). Bu araştırmalarda, biyolojik yöntemlerden olan katı-faz fermantasyon yöntemi düşük kaliteli yapısal karbonhidrat ve lignin içeriği yüksek kaba yemler için besin değerinin artırılmasına yönelik çalışmalarda çevre dostu ve ekonomik yöntem olarak ön plana çıkmaktadır (Khonkhaeng ve Cherdthong 2020; Sufyan vd., 2022; Wang vd., 2023; Atalay vd., 2023; Chen vd., 2024).

Katı faz fermantasyon, mikroorganizmaların düşük su aktivitesine sahip ortamlarda gelişerek substrat üzerinde enzimatik dönüşümler gerçekleştirdiği bir süreç olarak tanımlanabilir (Pandey, 2003). Ayrıca fermantasyon esnasında organik asitlerin, vitaminlerin ve mikrobiyal protein sentezlenmesi de yem kalitesine olumlu etkiler sağlamaktadır. Nitekim literatürde düşük kaliteli kaba yemlerin hayvan beslemede daha etkin kullanılabilmesi amacıyla, bu materyallerin uygun mikroorganizmalar ve optimum koşullarda fermantasyona tabi tutulmasının, lignin, selüloz ve hemiselüloz gibi yapısal karbonhidratların parçalandığını ve buna bağlı olarak besin madde içeriği ile sindirilebilirliğinin iyileştiği birçok çalışma ile ortaya konmuştur (Yaşar ve Tosun, 2020; Sufyan vd., 2022; Datsomor vd., 2022; Carrillo-Diaz vd., 2022). Örneğin Sufyan vd. (2022) yürüttükleri çalışmada buğday samanının üç farklı beyaz çürükçül mikroorganizma ile fermantasyonu sonucunda ham kül, ham protein içeriklerinin arttığını, yapısal karbonhidratlar ve ligninin azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca fermantasyonun *in vitro* kuru madde sindirimi ve *in vitro* gaz üretimini artırdığını ve en fazla artışın *P. ostreatus* ile yürütülen çalışmada olduğu bildirilmiştir. Buğday samanı ile yürütülen bir başka çalışmada ise *Ganoderma* sp. *Rckk* ile buğday samanının 15 günlük fermantasyonu sonucunda sindirilebilirliği ve besin madde kompozisyonunun iyileştiği tespit edilmiştir (Shrivastava vd., 2011). *Ceriporiopsis subvermispora*'ın iki farklı suşu ile buğday samanının yedi haftalık fermantasyona bırakılan bir çalışmada ise *in vitro* gaz üretimi artarken lignin içeriğinin önemli derecede azaldığı rapor edilmiştir (Nayan vd., 2017).

Bu çalışmada, buğday samanını peynir altı suyu (PAS), silaj suyu (SS), ve PAS+SS (1:1) olmak üzere üç farklı inokulant ortalama %70 nem içeriğinde 30 günlük katı-faz fermantasyona

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

bırakarak fermantasyonun *in vitro* parametrelere etkisinin tespiti amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Buğday samanı Iğdır ilindeki buğday hasadından sonra tarım arazilerinden temin edilmiştir. Fermantasyon çalışmasında kullanılan peynir altı suyu (PAS) (%7 kuru madde) Iğdır ilinde faaliyet gösteren özel bir süt ürünleri fabrikasından temin edilmiştir. Silaj suyu (SS) (%2.5 kuru madde) ise Iğdır Üniversitesi Zootekni Bölüm laboratuvarında bulunan mısır silajı örneklerinin 1:9 oranında sulandırılarak 10 dk 100 rpm'de çalkalanmış ve süzülerek elde edilmiştir.

Çizelge 1. Fermantasyon koşulları ve deneme deseni

Parametre	Fermentasyon 1 (F1)	Fermentasyon 2 (F2)	Fermentasyon 3 (F3)
Karışım			
PAS (%7.00 kuru madde), ml	220	0	100
SS (%2.50 kuru madde), ml	0	190	100
Buğday samanı (%94.50 kuru madde), g	80	80	80

Yöntem

Fermantasyon öncesi hazırlık

Fermantasyonlarda kullanılan buğday samanının partikül büyüklüğü 1-2 cm'dir. Fermantasyonlardan önce buğday samanında taş, naylon vb. yabancı maddeler temizlenmiştir. Ardından sterilizasyonu sağlamak için 121 ^{o}C'de 30 dk otoklavlanmıştır. Fermantasyonlardan kullanılacak diğer tüm malzemeler 175 ^{o}C'de 2 saat bekletilerek sterilize edilmiştir.

Fermantasyonlar

Sterilizasyon sonrasında oda sıcaklığına kadar soğutulan buğday samanı ile inokulantlar %70 nem içerecek şekilde plastik kavanozlara doldurularak homojen olacak şekilde karıştırılmıştır. Bu karışımlar 35 ^{o}C'de 30 gün fermantasyona bırakılmıştır. Fermantasyonun 0., 15. ve 30. günlerinde örnekler alınarak 60 ^{o}C'de kurutularak *in vitro* analizler yapılmıştır.

İn Vitro Analizler

İn vitro gaz üretiminin (İVGÜ) ölçümleri Menke ve Steingass, (1988), metan içeriği Goel vd. (2008) metoduna göre S-AMG 1010 cihazında % ve ml olarak tespit edilmiştir. *İn vitro* gaz ölçümlerinde kullanılan rumen sıvısı kesimhaneden kesim işleminin ardından alınmış ve hemen kullanılmıştır. Organik madde sindirim derecesi (OMSD), metabolik enerji (ME) ve net enerji laktasyon (NEL) Menke ve ark., (1979) tarafından belirtilen formülasyonlarla hesaplanmıştır. Gerçek sindirililebilir kuru madde miktarı (GSKM), taksimat faktörü (TF), mikrobiyal protein üretimi (MP), mikrobiyal protein sentezleme etkinliği (MPSE) ve gerçek sindirim derecesi (GSD) Blümmel vd. (1997) ile Vercoe vd. (2010)'nın bildirdiği metotlara göre yapılmıştır.

İstatistiksel Analizler

Çalışma sonucunda örneklerin gaz üretimlerine ait sonuçlar ONE-WAY-ANOVAile varyans analizine tabi tutulmuş, muamele grupları arasındaki farklar Duncan (SPSS, 2016) çoklu karşılaştırma testiyle karşılaştırılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Buğday samanının farklı inokulantlar (PAS, SS, PAS+SS) ile fermantasyon uygulamaları ve

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

fermantasyon sürelerine (0, 15 ve 30 gün) bağlı olarak *in vitro* parametrelerinde meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P<0.05) (Çizelge 2).

Fermantasyonların *in vitro* gaz üretimi (İVGÜ) değerlerine bakıldığında, PAS fermantasyonu (F1) başlangıçta en yüksek değer elde edilirken fermantasyon süresine bağlı olarak önemli derecede azalmıştır. Benzer şekilde PAS+SS fermantasyonunda da (F3) gaz üretiminin azaldığı belirlenmiştir. Ancak SS fermantasyonun (F2) 15. günündeki örneklerde önemli derecede azalırken 30. gün örneklerinde önemli derecede artmıştır. Metan üretimine (ml) fermantasyonların etkisi incelendiğinde, F1'de önemli bir değişim gözlenmezken, F2 ve F3'de özellikle 15. gün örneklerinde önemli derecede azalmıştır. Metan yüzdesi açısından da benzer değişim saptanmış, özellikle F2'de 30. gün örneklerinde önemli bir düşüş saptanmıştır. Metabolik enerji (ME) ve net enerji laktasyon (NEL) F1 ve F3'de azalırken, F2'de 30. gün örneklerinde önemli artışlar belirlenmiştir. Benzer şekilde organik madde sindirim derecesi (OMSD) de F2'de 30. gün örneklerinde arttığı belirlenmiştir.

Çizelge 2. Fermantasyonların buğday samanının İVGÜ, metan, ME, NEL ve OMSD'ye etkisi

F.	Gün	İVGÜ, ml	Metan, ml	Metan, %	ME Mj kg^{-1} KM	NEL, Mj kg^{-1} KM	OMSD
F1	0	64.37^{a}	10.68^{ab}	16.59^{f}	11.18^{a}	6.86^{a}	73.06^{a}
	15	47.53^{cd}	10.61^{ab}	22.28^{b}	8.96^{cd}	5.22^{cd}	58.18^{cd}
	30	44.23^{d}	9.57^{bcd}	21.59^{bc}	8.53^{d}	4.92^{d}	55.28^{d}
F2	0	42.58^{d}	10.42^{abc}	24.50^{a}	8.21^{d}	4.65^{d}	53.70^{d}
	15	29.05^{e}	7.09^{f}	24.38^{a}	6.33^{e}	3.24^{e}	41.66^{e}
	30	52.81^{bc}	8.16^{def}	15.44^{f}	9.61^{bc}	5.69^{bc}	62.85^{bc}
F3	0	58.10^{b}	11.60^{a}	19.97^{de}	10.30^{b}	6.20^{b}	67.47^{b}
	15	41.92^{d}	7.79^{ef}	18.48^{e}	8.13^{d}	4.59^{d}	53.19^{d}
	30	43.90^{d}	8.87^{cde}	20.18^{cd}	8.40^{d}	4.79^{d}	54.93^{d}
SHO		1.97	0.32	0.60	0.27	0.20	1.75
p-değeri		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

$^{a-f}$ Aynı harflere sahip ve aynı sütunda yer alan ortalamalar arasında fark yoktur (P<0.05); F.: fermantasyonlar; F1: buğday samanı ile peynir altı suyu fermantasyonu; F2: buğday samanı ile silaj suyu fermantasyonu; F3: buğday samanı ile peynir altı suyu ve silaj suyu (1:1) karışımı fermantasyonu; SHO: Standart hata ortalaması.

Buğday samanının İVGÜ'nün F1 ve F3'de 0. gün örneklerinin yüksek olması sonrasında ise İVGÜ'nün düşmesi 0. gün örneklerinde fermantasyon sürecinde başlangıçta kolay fermente edilebilir substratlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü bu iki fermantasyonda da PAS inokulant olarak kullanılmış ve PAS'ın %7 kuru madde içeriğindeki kolay fermente olabilir substrata sahiptir. Sonrasında İVGÜ düşmesi de kolay fermente edilebilir kaynakların kalmaması ve mikroorganizmaların faaliyetlerinin sınırlı kaldığını göstermektedir. Çünkü fermantasyon esnasında mikroorganizmaların yapısal karbonhidratları parçalaması sonucunda İVGÜ'nün arttığı belirtilmiştir (Nasehi vd., 2017; Sufyan vd., 2022). Ayrıca metan (ml ve %) ME, NEL ve OMSD içeriklerinin kötüleşmesi fermantasyon etkinliğinin istenen seviyede ve yeterli olmadığını göstermektedir. Literatürde yürütülen çalışmalarda fermantasyon etkinliğinin yüksek olduğunda bu değerleri olumlu etkilediği belirtilmiştir (Nasehi vd., 2017; Sufyan vd., 2022). Diğer taraftan F2'de 0. gün örneklerinin İVGÜ'nin yüksek çıkması SS'in içeriğindeki bileşiklerden kaynaklandığı bu bileşikler bittikten sonra ise İVGÜ azalmıştır. Fermantasyonun 30. gün örneklerinde tekrar artması ise fermantasyon etkinliğinin 15. günden sonra arttığı ve mikroorganizmaların faaliyetlerinin artması ile yapısal karbonhidratlar ve ligninin parçalanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü F2'nin 30. gün örneklerinde

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

İVGÜ artışına paralel şekilde ME, NEL ve OMSD'de de iyileşme gözlemlenmiştir. Nitekim literatürdeki çalışmalarda lignoselülotik yapının parçalanmasının yemlerin sindirilebilirliğini artırdığı ve enerji değerlerini iyileştirdiği bildirilmektedir (Datsomor vd., 2022; Sufyan vd., 2022; Carrillo-Diaz vd., 2022). Buğday samanının F2'de metan (ml) üretimindeki azalma, fermantasyon sürecinde hidrojen kullanım yollarının değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Önceki çalışmalarda substratta bulunan veya mikroorganizmaların sentezlediği bazı fenolik bileşiklerin hidrojeni metan yolundan propiyonik asit oluşturmak üzere kaydırılması sonucunda metan üretimini baskıladığını belirtmiştir (Supapong vd., 2017; Liang vd., 2018; Khonkhaeng ve Cherdthong, 2020).

Çizelge 3'de görüleceği üzere buğday samanı ile yürütülen farklı fermantasyonlarda gerçek sindirilebilir kuru madde (GSKM), taksimat faktörü (TF), mikrobiyal protein (MP), mikrobiyal protein sentezleme etkinliği (MPSE) ve gerçek sindirim derecesi (GSD) değerleri üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$).

GSKM F1'de fermantasyon süresince azaldığı, F3'de ise 15. gün örneklerinde önemli bir düşüş oluşmuş, 30. gün örneklerinde ise 15. gün örneklerine göre artmıştır. Buna karşın F2'de 15. gün örneklerinde en düşük değer elde edilirken, 30. gün örneklerinde önemli derecede artmıştır. Buğday samanının TF, MP ve MPSE tüm fermantasyonlarda artmıştır. Bu parametrelerin hepsinde en fazla artış F2'nin 15. gün örneklerinde olduğu saptanmıştır. GSD ise F1 ve F3'de azalırken, F2'nin 15. gün örneklerinde en düşük değer belirlenmiş, 30. gün örneklerinde tekrar artış saptanmıştır.

Çizelge 3. Fermantasyonların buğday samanının GSKM, TF, MP, MPSE ve GSD'ye etkisi

F.	Gün	GSKM, mg	TF, mg/ml	MP, mg	MPSE, mg	GSD, %
F1	0	156.17^{a}	2.43^{d}	14.56^{a}	9.33^{d}	31.06^{a}
	15	142.17^{ab}	2.99^{b}	37.59^{b}	26.49^{b}	28.02^{ab}
	30	132.33^{bcd}	3.00^{b}	35.02^{bc}	26.37^{b}	25.77^{bc}
F2	0	125.33^{cde}	2.94^{b}	31.65^{bcd}	25.08^{b}	24.35^{cd}
	15	113.17^{e}	3.90^{a}	49.26^{a}	43.51^{a}	22.27^{d}
	30	140.33^{abc}	2.66^{cd}	24.14^{d}	17.35^{c}	28.14^{ab}
F3	0	152.83^{a}	2.63^{cd}	25.02^{d}	16.35^{c}	30.06^{a}
	15	119.83^{de}	2.86^{bc}	27.61^{cd}	23.00^{b}	24.08^{cd}
	30	131.33^{bcd}	3.00^{b}	34.75^{bc}	26.37^{b}	25.62^{bcd}
SHO		3.01	0.08	1.98	1.82	0.61
p-değeri		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

$^{a-e}$ Aynı harflere sahip ve aynı sütunda yer alan ortalamalar arasında fark yoktur ($P<0.05$); F.: fermantasyonlar; F1: buğday samanı ile peynir altı suyu fermantasyonu; F2: buğday samanı ile silaj suyu fermantasyonu; F3: buğday samanı ile peynir altı suyu ve silaj suyu (1:1) karışımı fermantasyonu; SHO: Standart hata ortalaması.

Fermantasyonların GSKM ve GSD'ye etkisi incelendiğinde 0. gün örneklerine kıyasla F1'de sürekli F2 ve F3'de ise 15. gün örneklerinde düşüş saptanmıştır. Sonrasında 15. gün örneklerine göre F3'de kısmen, F2'de ise önemli düzeyde artmıştır. Bu durum fermantasyon sürecinin erken dönemlerinde çözünebilir besin maddelerinin mikroorganizmalar tarafından hızla tüketilmesi, ilerleyen süreçte ise lignoselülotik bileşiklerin parçalanması ile sindirilebilirliğin yeniden

artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. F1'de ise fermantasyon etkinliğinin sınırlı kalması neticesinde lignoselülotik bileşiklerde bir parçalanma olmadığını göstermektedir. Literatürde de lignoselülotik bileşiklerin parçalanması ile kuru madde sindiriminin arttı belirtilmiştir (Nasehi vd., 2017; Sufyan vd., 2022). MPSE etkinliğinin tespitinde kritik parametre olan TF'nin 2.75-4.41 arasında olması gerektiği belirtilmiştir (Blümmel ve Lebzien, 2001). TF'nin yüksek olduğu yemlerin MP ve MPSE'ninde yüksek değere sahip olduğu raporlanmıştır (Özsaygın ve Kaya, 2025). Nitekim bu çalışmada da F2 hariç 0. gün örneklerinin 2.75'den küçük olduğu, fermantasyonun ilerleyen sürecinde ise F1 ve F3'ün 2.75'in üzerine çıktığı saptanmıştır. F2'de ise 0. ve 15. gün örnekleri 2.75'in üzerinde iken 30. gün örneklerinde azalarak 2.66'ya düşmüştür. TF'deki bu farklılık fermantasyon etkinliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü ortamdaki fenolik bileşiklerin mikroorganizmaları baskıladığı ve TF, MP ve MPSE'nin düştüğü belirtilmiştir (Makkar vd., 2007). Bu çalışmadaki diğer parametrelerde de F2'nin fermantasyon etkinliğinin yüksek olduğu görülmektedir. Fermantasyon etkinliğinin artmasına paralel olarak parçalanmalar esnasında fenolik bileşiklerin açığa çıkmasından kaynaklanarak 30. gün örneklerinde TF, MP ve MPSE'nin düştüğü ve Makkar vd. (2007) belirttiği inhibitör etkinin oluştuğu öngörülmektedir. Bu çalışmada fenolik bileşik analizleri yürütülmediği için net olarak bilinmemektedir.

SONUÇ

Silaj suyu fermantasyonu, özellikle metabolik enerji organik madde sindirilebilirliği ve gerçek sindirilebilir kuru madde açısından en olumlu sonuçları vermiştir. PAS fermantasyonu genel olarak gaz üretimi, sindirilebilirlik ve enerji değerlerinde azalmaya neden olarak fermentatif etkinliğin sınırlı kaldığını göstermiştir. PAS+SS kombinasyonu bazı parametrelerde iyileşme sağlasa da genel olarak SS fermantasyonuna kıyasla daha düşük olduğu göstermiştir. Buğday samanının besleme değerinin artırılmasında silaj suyu ile fermantasyon öncelikli olarak tercih edilmelidir. Mikrobiyal protein üretiminin hedeflendiği durumlarda SS ile 15 gün fermantasyonun ideal süre olduğu veya PAS veya PAS+SS uygulamaları alternatif olarak değerlendirilebilir.

Sonuç olarak, buğday samanı ile yürütülen üç farklı fermantasyonun *in vitro* parametrelerine önemli düzeyde etkilemiştir. Bu fermantasyonlardan SS ile gerçekleştirilen fermantasyonun metabolik enerji, organik madde sindirilebilirliği ve gerçek sindirilebilir kuru maddeyi artırmada en etkili biyolojik yöntem olarak öne çıkmaktadır. Elde edilen *in vitro* bulguların doğrulanması için *in vivo* çalışmalar ile desteklenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Acar, Z., Tan, M., Ayan, İ., et al. *Türkiye'de yem bitkileri tarımının durumu ve geliştirme olanakları,* Türkiye Ziraat Mühendisleri IX. Teknik Kongresi, 529-553, Ankara, 2020.

Atalay, A.İ., Tosun, R., & Kaya, A. Effect of Solid state fermentation on meadow grass nutrient content and anti-methanogenic properties, International Journal of Agriculture and Wildlife Science, *9*(2), 278-288, 2023.

Beyzi, S.B., Ülger, İ., Konca, Y. Chemical, fermentative, nutritive and anti-nutritive composition of common reed (*Phragmites australis*) plant and silage, Waste and Biomass Valorization, 14(3), 927-936, 2023.

Blümmel, M., Lebzien, P. Predicting ruminal microbial efficiencies of dairy rations by *in vitro*

techniques, Livestock Production Science, 68(2-3), 107-117, 2001.

Blümmel, M., Steingas, H., Becker, K. The relationship between *in vitro* gas production, *in vitro* microbial biomass yield and 15N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages, British Journal of Nutrition, 77(6), 911-921, 1997.

Canbolat, Ö. Effect of alkali treatment on nutrient composition, *in vitro* gas production and feed value of corn straw, J Food Feed Sci, 27, 61-67, 2022.

Carrillo-Diaz, M.I., Miranda-Romero, L.A., Chávez-Aguilar, G., Zepeda-Batista, J.L., González-Reyes, M., García-Casillas, A.C., Tirado-González, D.N., Tirado-Estrada, G. Improvement of ruminal neutral detergent fiber degradability by obtaining and using exogenous fibrolytic enzymes from white-rot fungi, Animals, 12(7), 843, 2022.

Chen, J., Cai, Y., Wang, Z., et al. Solid-state fermentation of corn straw using synthetic microbiome to produce fermented feed: the feed quality and conversion mechanism, Sci. Total Environ, 920, 171034, 2024.

Datsomor, O., Gou-Qi, Z., Miao, L. Effect of ligninolytic axenic and coculture white-rot fungi on rice straw chemical composition and *in vitro* fermentation characteristics, Scientific Reports, 12(1), 1129, 2022.

Du, C., Nan, X., Wang, K., Zhao, Y., Xiong, B. Evaluation of the digestibility of steam-exploded wheat straw by ruminal fermantation, sugar yield and microbial structure *in vitro*, RSC Adv, 9,41775–41782, 2019.

Goel, G., Makkar, H.P.S., Becker, K. Effect of Sesbaniases banand Carduuspycno cephalus leaves and Fenugreek (*Trigonellafoenum-graecum* L) seed sand the irextract on partitioning of nutrients from roug hage-and concentrate-based feeds to methane, Animal Feed Science Technology, 147, 72-89, 2008.

Habib, G., Khan, M.U., Javaid, S., Saleem, M. Assessment of feed supply and demand for livestock in Pakistan, J Agric Sci Technol, 6,191–202, 2016.

Khonkhaeng, B., Cherdthong, A. Improving nutritive value of purple field corn residue and rice straw by culturing with white-rot fungi, Journal of Fungi, 6(2), 69, 2020.

Liang, H., Xu, L., et al. Effect of daidzein on fermentation parameters and bacterial community of finishing Xianan cattle, Ital J Anim Sci, 17, 950–958, 2018.

Makkar, H.P.S., Francis, G., Becker, K. Bioactivity of phytochemicals in some lesser-known plants and their effects and potential applications in livestock and aquaculture production systems, Animal, 1(9), 1371-1391, 2007.

Menke, K.H., Steingass, H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid, Animal Research and Development, 28, 7-55, 1988.

Menke, K. H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., Schneider, W., (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable en-ergy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. The Journal of Agricultural Science, 93(1), 217-222.

Nasehi, M., Torbatinejad, N.M., Zerehdaran, S., Safaie, A.R. Effect of solid-state fermentation by oyster mushroom (*Pleurotus florida*) on nutritive value of some agro by-products, Journal of Applied Animal Research, 45(1), 221-226, 2017.

Nayan, N., Sonnenberg, A. S., et al. Differences between two strains of Ceriporiopsis subvermispora on improving the nutritive value of wheat straw for ruminants, J Appl Microbiol, 123(2), 352-361, 2017.

Özkan, U., Yılmaz, D.İ., Tenikecier, H.S., Ateş, E. Türkiye'de kaba yem ve kuru ot durumu: 2004-2024 dönem analizi, Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi 8(1):93-107, 2025.

Özsaygın, H., Kaya, A. Farklı ekstraksiyon metodlarıyla elde edilen tarhun ekstraktının süt sığırı TMR'lerinde *in vitro* gaz ve metan üretimi ile tahminlenen parametreler üzerine etkisi, Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi, 8(1), 61-67, 2025.

Pandey, A. Solid-state fermentation, Biochemical engineering journal, 13(2-3), 81-84, 2003.

Shrivastava, B., Nandal, P., et al. Solid state bioconversion of wheat straw into digestible and nutritive ruminant feed by *Ganoderma* sp. *rckk02*, Bioresour Technol,107,347-351, 2012.

Sufyan, A., Khan, N.A., et al. Novel techniques for the mass production of nutritionally improved, fungus-treated lignocellulosic biomass for ruminant nutrition, Journal of the Science of Food and Agriculture, 104(4), 2215-2224, 2024.

Supapong, C., Cherdthong, A., et al. *In vitro* fermentation, digestibility and methane production as influenced *by Delonix regia* seed meal containing tannins and saponins, J Anim Feed Sci, 26, 123–130, 2017.

Taha, M., Shahsavari, E., et al. Enhanced biological straw saccharification through coculturing of lignocellulose-degrading microorganisms, Appl Biochem Biotechnol, 175(8), 3709-3728, 2015.

TÜDKİYEB, 2023. Erişim adresi: https://www.olay53.com/haber/tudkiyeb-genel-baskani-nihat-celik-hayvanciligin-en-buyuk-1346795.htm (Erişim Tarihi: 12.02.2026).

Vercoe, P.E., Makkar, H.P., Schlink, A.C. *In vitro screening of plant resources for extra-nutritional attributes in ruminants: nuclear and related methodologies,* Heidelberg: Springer, 2008.

Wang, Y., Gou, C., et al. Solid-state fermentation with white rot fungi (*Pleurotus* species) improves the chemical composition of highland barley straw as a ruminant feed and enhances *in vitro* rumen digestibility, J Fungi, 9(12),1156, 2023.

Yaşar, S., Tosun, R. Improving nutritional qualities of tomato pomace by *Pleurotus ostreatus* and *Phanerochaete chrysosporium* fermentation, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 23(2), 527-535, 2020.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

LOTUS CORNİCULATUS'DA BÖLGESEL VARYASYONUN KONDANSE TANEN İÇERİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ

Ali İhsan ATALAY[1*] ve Ramazan TOSUN[2]

[1]Prof. Dr. Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü; aliihsanatalay66@hotmail.com; 0000-0002-7379-9082
[2]Dr. Öğretim Üyesi Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü; ramazantosun68@gmail.com; 0000-0002-8209-6362

*sunum yapacak kişi

Özet

Bu çalışmada, farklı bölgelerden toplanan *Lotus corniculatus*'un kondanse tanen içeriklerini belirlemek amaçlanmıştır. *Lotus corniculatus* örnekleri Dulkadiroğlu, Başkonuş, Onikişubat, Aksaray ve Afşin çevresi olmak üzere beş farklı bölgeden toplanmıştır. Toplanan *Lotus corniculatus* örneklerinde kondanse tanen oranları spektrofotometrik yöntemle tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre kondanse tanen içeriklerindeki farklılık rakamsal olup istatistiksel olarak önemsiz olduğu saptanmıştır ($P > 0.05$). Kondanse tanen içeriği rakamsal olarak en yüksek %3.62 oranı ile Başkonuş, en düşük ise %2.65 oranı ile Afşin bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Diğer bölgelerden toplanan örneklerde kondanse tanen içeriği ise Dulkadiroğlu %3.41, Onikişubat %2.78 ve Aksaray %2.69 oranında olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, *Lotus corniculatus* örneklerinin kondanse tanen içerikleri bölgelere göre rakamsal farklılıklar göstermekle birlikte, bu değişimin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olmadığı görülmüştür. Söz konusu bitkinin farklı ekolojik koşullarda benzer kondanse tanen profiline sahip olabileceğini ve ruminant beslemede kullanım potansiyelinin bölgesel olarak büyük farklılıklar olmadığını göstermektedir. Ancak, bu sonuçların daha kapsamlı ve hayvan denemeleri ile de desteklenmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Lotus corniculatus*, kondanse tanen, ruminant besleme

THE EFFECT OF REGIONAL VARIATION ON CONDENSED TANNINE CONTENT IN *LOTUS CORNICULATUS*

Abstract

This study aimed to determine the condensed tannin content of *Lotus corniculatus* collected from different regions. *Lotus corniculatus* samples were collected from five different areas: Dulkadiroğlu, Başkonuş, Onikişubat, Aksaray, and Afşin. Condensed tannin percentages in the collected *Lotus corniculatus* samples were determined using a spectrophotometric method. According to the analysis results, the differences in condensed tannin content were numerically small and statistically insignificant ($P > 0.05$). The highest condensed tannin content was found in Başkonuş at 3.62%, while the lowest was in Afşin at 2.65%. In samples collected from other regions, the condensed tannin content was determined to be 3.41% in Dulkadiroğlu, 2.78% in Onikişubat, and 2.69% in Aksaray. In conclusion, although the condensed tannin content of *Lotus corniculatus* samples showed numerical differences according to regions, this difference

was not statistically significant. This suggests that the plant in question may have a similar condensed tannin profile under different ecological conditions, and its potential for use in ruminant feeding does not vary significantly regionally. However, these results need to be supported by more comprehensive animal trials.

Keywords: *Lotus corniculatus*, condensed tannin, ruminant nutrition

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

FARKLI MİKROBİYAL İNOKULANTLAR KULLANILARAK UYGULANAN FERMANTASYONUNUN MISIR SAMANININ *İN VİTRO* PARAMETRELERİNE ETKİSİ

Ali İhsan ATALAY[1*], Ali KAYA[2] ve Ramazan TOSUN[3]

Prof. Dr. Ali İhsan ATALAY
Iğdır Üniversitesi; aliihsanatalay66@hotmail.com; ORCID ID: 0000-0002-7379-9082

Arş. Gör. Ali KAYA
Atatürk Üniversitesi; alikaya@atauni.edu.tr; ORCID ID: 0000-0002-7694-7220

Dr. Öğretim Üyesi Ramazan TOSUN
Iğdır Üniversitesi; ramazantosun68@gmail.com; ORCID ID: 0000-0002-8209-6362

Özet:
Bu çalışmanın amacı, mısır samanını üç farklı inokulant ile katı faz fermantasyona bırakarak fermantasyonun *in vitro* parametrelere etkisini tespit etmektir. Bunun için mısır samanı peynir altı suyu (PAS), silaj suyu (SS), ve PAS+SS (1:1) ile %70 nem içeriğinde 30 günlük fermantasyona tabi tutulmuştur. Fermantasyonun 0. 15. ve 30. günlerinde örnekler alınarak *in vitro* parametrelerdeki değişimler tespit edilmiştir. Mısır samanı ile yürütülen 3 farklı fermantasyon sonucunda *in vitro* gaz üretimi (İVGÜ), metan, metabolik enerji (ME), organik madde sindirim derecesi (OMSD), gerçek sindirilebilir kuru madde (GSKM), taksimat faktörü (TF), mikrobiyal protein (MP) ve mikrobiyal protein sentezleme etkinliğinde (MPSE) önemli değişim olmuştur ($P<0.05$). Fermantasyonun İVGÜ'ne etkisi incelendiğinde PAS fermantasyonunda sürekli düştüğü, diğer fermantasyonların 15. gün örneklerinde düştüğü ancak sonrasında arttığı saptanmıştır. Metan (ml) ise PAS+SS fermantasyonunda sürekli düştüğü ancak diğer iki fermantasyonda 15. gün örneklerinde düştüğü sonrasında ise arttığı belirlenmiştir. OMSD sadece SS fermantasyonunda etkilenmediği diğer fermantasyonların ise olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Mısır samanının PAS ve SS ile yürütülen fermantasyonlarında TF, MP ve MPSE artarken, PAS+SS fermantasyonunda azaldığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, mısır samanının farklı inokulantlar ile katı faz fermantasyonu, *in vitro* parametrelerini önemli düzeyde etkilemiştir. Bu etkinin kullanılan inokulant türüne ve fermantasyon süresine bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Özellikle PAS ve SS uygulamalarının mikrobiyal protein üretimi ve fermantasyon etkinliği açısından daha olumlu sonuçlar verdiği, buna karşın PAS+SS kombinasyonunun bazı parametreler üzerinde sınırlayıcı etki oluşturduğu görülmüştür.
Anahtar Kelimeler: Mısır samanı; fermantasyon; *in vitro* gaz; kaba yem kalitesi

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

THE EFFECT OF FERMENTATİON USİNG DİFFERENT MİCROBİAL INOCULANTS ON THE *IN VİTRO* PARAMETERS OF CORN STRAW

The aim of this study was to determine the effect of solid-state fermentation of corn straw with three different inoculates on *in vitro* parameters. For this purpose, corn straw was fermented with whey (W), silage water (SW), and W+SW (1:1) at 70% moisture content for 30 days. Samples were taken on days 0, 15, and 30 of fermentation, and changes in *in vitro* parameters were determined. Significant changes were observed in *in vitro* gas production (IVG), methane, metabolic energy (ME), organic matter digestibility (OMD), true digestible dry matter (TDD), partitionig factor (PF), microbial yield (MY), and microbial yield synthesis efficiency (MPSE) as a result of the three different fermentations carried out with corn straw ($P<0.05$). When the effect of fermentation on IVG was examined, it was found that it continuously decreased in the W fermentation, decreased in the 15th-day samples of the other fermentations, but increased thereafter. Methane (ml) was found to decrease continuously in the W+SW fermentation, but in the other two fermentations, it decreased in the samples on day 15 and then increased again. OMD was found to be unaffected only in the SW fermentation, while the other fermentations had a negative effect. PF, MY, and MYSE increased in the W and SW fermentations of corn straw, while they decreased in the W+SW fermentation. In conclusion, solid-phase fermentation of corn straw with different inoculants significantly affected its *in vitro* parameters. This effect varied depending on the type of inoculum used and the fermentation time. It was observed that W and SW applications yielded more positive results in terms of microbial protein production and fermentation efficiency, while the W+SW combination had a limiting effect on some parameters.
Keywords: Corn straw; fermentation; *in vitro* gas; roughage quality

GİRİŞ

Küresel ölçekte artan hayvansal üretim talebi, yem kaynaklarının sürdürülebilir ve ekonomik şekilde değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır (Sufyan vd., 2022). Özellikle ruminant beslemede kaba yem açığı, üretim maliyetlerini artıran temel faktörlerden biri olup, sap, saman, meyve sebze artıkları gibi tarımsal yan ürünlerin verimli bir şekilde değerlendirilmesini bu probleme alternatif bir çözüm olarak ön plana çıkarmaktadır (Sufyan vd., 2022). Bu bağlamda, danelik mısır üretimi sonrasında sap, koçan ve yaprak gibi yan ürünler oluşmaktadır. Buna karşın söz konusu yan ürünlerin önemli bir kısmı değerlendirilmemekte; çoğunlukla tarla üzerinde bırakılmakta, yakılmakta ya da farklı şekillerde bertaraf edilmektedir (Xie vd., 2022; Krishna ve Mkondiea, 2023; Chen vd., 2024). Bu durum hem ekonomik açıdan potansiyel bir yem kaynağının kaybına neden olmakta hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından hava kirliliği ve sera gazı emisyonları gibi olumsuz etkiler doğurmaktadır (İbarruri vd., 2021; Xie vd., 2022; Krishna ve Mkondiea, 2023).

Danelik mısır hasadı sonucunda ortaya çıkan lignoselülotik yan ürünler ucuz ve bol miktarda mevcuttur. Ancak yüksek yapısal selüloz fraksiyonu ve yüksek oranda lignin içeren hücre duvarlarının varlığı nedeniyle düşük sindirilebilirliği ve yan ürünlerde bulunan enerji ve besin maddeleri hayvanlar tarafından kullanılamamaktadır (Sufyan vd., 2022; Xie vd., 2022). Ayrıca bu yan ürünlerin ruminant hayvanların rasyonlarına yüksek oranda ikame edildiğinde hayvanların kuru madde alımını ve performansını olumsuz etkilemektedir (Sufyan vd., 2022).

Bu bağlamda katı faz fermantasyon tekniği lignoselülotik içeriği yüksek yem veya tarımsal yan ürünlerin iyileştirilerek ekonomiye kazandırılması hem alternatif bir çözüm olarak hem de sürdürülebilir ekonomi açısından önemli olduğu belirtilmiştir (Godoy vd., 2018; Arredondo-Santoyo vd., 2020).

Katı-faz fermantasyon yöntemi ile lignoselülotik içeriği yüksek, sindirilebilirliği düşük çeşitli tarımsal yan ürünlerin yem kalitesini artırdığı bildirilmiştir (Nasehi vd., 2017; Godoy vd., 2018; Arredondo-Santoyo vd., 2020). Fermantasyon sürecinde mikroorganizmalar tarafından salgılanan selülaz, hemiselülaz ve ligninaz gibi enzimler, hücre duvarı bileşenlerini parçalayarak sindirilebilirliğini artırmaktadır (Oliveira vd., 2010; Çabuk vd., 2018; İbarruri vd., 2021).

Literatürde çeşitli tarımsal yan ürünlerin farklı mikrobiyal inokulantlar kullanılarak fermantasyona tabi tutulduğu ve bu işlemlerin yem kalitesini artırdığı bildirilmiştir (Nasehi vd., 2017; Godoy vd., 2018; Arredondo-Santoyo vd., 2020; Sufyan vd., 2022. Ancak mısır samanının peynir altı suyu, silaj suyu ve bu iki inokulantın kombinasyonu ile katı faz fermantasyona tabi tutulduğu ve fermantasyon süresine bağlı olarak *in vitro* fermantasyon parametrelerinin kapsamlı şekilde değerlendirildiği çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Oysa peynir altı suyu süt ürünleri fabrikalarında meydana gelen, büyük çoğunluğu değerlendirilmeyen ve çevre kirliliğine neden olan atık bir üründür. Bu ürünün ekonomiye kazandırılması hem çevre açısından hem de ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır.

Pratikte uygulanabilirliği hedefleyen bu çalışmanın amacı mısır samanını büyük çoğunluğu değerlendirilmeyen ve çevre kirliliğine neden olan peynir altı suyu (PAS), hayvancılık işletmelerinin kolaylıkla temin edebileceği silaj suyu (SS) ve PAS+SS (1/1) karışımı ile 30 günlük katı-faz fermantasyona maruz bırakılması ve fermantasyonun *in vitro* parametrelere etkisinin tespitidir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Mısır sapı, yaprağı ve koçandan oluşan mısır yan ürünü (%93.30 kuru madde) Iğdır ilinde danelik mısırın hasadından sonra tarım arazilerinden temin edilmiştir.

Fermantasyon çalışmasında kullanılan peynir altı suyu (PAS) (%7 kuru madde) Iğdır ilinde faaliyet gösteren özel bir süt ürünleri fabrikasından temin edilmiştir. Silaj suyu (SS) (%2.5 kuru madde) ise Iğdır Üniversitesi Zootekni Bölüm laboratuvarında bulunan mısır silajı örneklerinin 1:9 oranında sulandırılarak 10 dk 100 rpm'de çalkalanmış ve süzülerek elde edilmiştir.

Çizelge 1. Fermantasyon koşulları ve deneme deseni

Parametre	Fermantasyon 1 (F1)	Fermantasyon 2 (F2)	Fermantasyon 3 (F3)
Karışım			
PAS (%7.00 kuru madde), ml	220	0	100
SS (%2.50 kuru madde), ml	0	190	100
Buğday samanı (%94.50 kuru madde), g	80	80	80

Yöntem

Fermantasyonlardan önce mısır yan ürünü taş, naylon vb. yabancı maddeler temizlenmiştir. Mısır yan ürünü sap, koçan ile yaprak içerecek şekilde homojen örnek alınarak 1-2 cm boyutlarında doğranarak saman halini almıştır. Ardından sterilizasyonu sağlamak için 121 ^{o}C'de 30 dk otoklavlanmıştır. Fermantasyonlardan kullanılacak diğer tüm malzemeler 175 ^{o}C'de 2 saat bekletilerek sterilize edilmiştir.

Sterilizasyon sonrasında oda sıcaklığına kadar soğutulan buğday samanı ile inokulantlar %70 nem içerecek şekilde plastik kavanozlara doldurularak homojen olacak şekilde karıştırılmıştır. Bu karışımlar 35 ^{o}C'de 30 gün fermantasyona bırakılmıştır. Fermantasyonun 0., 15. ve 30. günlerinde örnekler alınarak 60 ^{o}C'de kurutularak in vitro analizler yapılmıştır.

İn vitro gaz üretiminin (İVGÜ) ölçümleri Menke ve Steingass, (1988), metan içeriği Goel vd. (2008) metoduna göre S-AMG 1010 cihazında % ve ml olarak tespit edilmiştir. *İn vitro* gaz ölçümlerinde kullanılan rumen sıvısı kesimhaneden kesim işleminin ardından alınmış ve hemen kullanılmıştır. Organik madde sindirim derecesi (OMSD), metabolik enerji (ME) ve net enerji laktasyon (NEL) Menke ve ark., (1979) tarafından belirtilen formülasyonla hesaplanmıştır. Gerçek sindirililebilir kuru madde miktarı (GSKM), taksimat faktörü (TF), mikrobiyal protein üretimi (MP), mikrobiyal protein sentezleme etkinliği (MPSE) ve gerçek sindirim derecesi (GSD) Blümmel vd. (1997) ile Vercoe vd. (2010)'nın bildirdiği metotlara göre yapılmıştır.

Fermantasyonlar sonucunda örneklerin *in vitro* gaz üretimlerine ve diğer parametrelere ait veriler ONE-WAY-ANOVAile varyans analizine tabi tutulmuş, muamele grupları arasındaki farklar Duncan (SPSS, 2016) çoklu karşılaştırma testiyle karşılaştırılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Çizelge 2'de görüldüğü üzere yürütülen 3 farklı fermantasyon sonucunda mısır samanının İVGÜ, metan ME, NEL ve OMSD içeriklerinde önemli değişim olmuştur ($P<0.05$). Fermantasyonların İVGÜ'ye etkisi varyasyon göstermiştir. Şöyle ki 0. gün örneklere göre PAS (F1) ile yürütülen fermantasyonda İVGÜ sürekli düşmüştür. Ancak SS (F2) ve PAS+SS (F3)

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ile yürütülen fermantasyonlarda 15. gün örneklerinde düşerken 30. gün örneklerinde tekrar artmıştır. Mısır samanının 30 günlük fermantasyon çalışmalarında metan (ml) içeriğinin F1 ve F3'de önemli derecede azalmıştır. F2'de ise 15. gün örneklerinde azalırken 30. gün örneklerinde arttığı ve 0. gün örneklerin içeriği ile benzer olduğu saptanmıştır. Metan içeriğinin oranını belirlemek amacıyla kullanılan % metan içeriği ise F1'de arttığı, F2'de değişmediği ve F3'de ise azaldığı belirlenmiştir. Fermantasyonların 30. gün örneklerinde 0. gün örneklerine göre ME, NE_L ve OMSD'de benzer değişim olmuştur. F1 ve F3'de ME, NE_L ve OMSD azalırken F2'de değişim olmamıştır.

Çizelge 2. Fermantasyonların mısır samanının İVGÜ, metan ME, NEL ve OMSD'ye etkisi

F.	Gün	İVGÜ, ml	Metan, ml	Metan, %	ME Mj kg^{-1} KM	NEL, Mj kg^{-1} KM	OMSD
F1	0	73.61^{a}	13.56^{a}	18.44^{cd}	12.58^{a}	7.98^{a}	81.41^{a}
	15	56.13^{b}	9.64^{d}	17.18^{d}	10.18^{b}	6.20^{b}	65.84^{b}
	30	48.52^{de}	10.51^{c}	21.67^{b}	9.17^{de}	5.44^{de}	59.14^{de}
F2	0	51.16^{cde}	10.13^{cd}	19.79^{c}	9.42^{cde}	5.62^{cde}	61.37^{cde}
	15	47.53^{e}	8.75^{e}	18.41^{cd}	8.98^{e}	5.30^{e}	58.14^{e}
	30	52.48^{bcd}	9.72^{d}	18.61^{cd}	9.66^{bcd}	5.80^{bcd}	62.74^{bcd}
F3	0	55.12^{bc}	12.16^{b}	22.08^{b}	10.00^{bc}	6.05^{bc}	64.83^{bc}
	15	31.69^{f}	8.25^{e}	26.08^{a}	6.84^{f}	3.71^{f}	44.14^{f}
	30	48.85^{de}	8.79^{e}	18.02^{d}	9.18^{de}	5.45^{de}	59.32^{de}
SHO		2.051	0.325	0.539	0.280	0.208	1.824
p-değeri		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

$^{a-f}$ Aynı harflere sahip ve aynı sütunda yer alan ortalamalar arasında fark yoktur (P<0.05); F.: fermantasyonlar; F1: mısır samanı ile peynir altı suyu fermantasyonu; F2: mısır samanı ile silaj suyu fermantasyonu; F3: mısır samanı ile peynir altı suyu ve silaj suyu (1:1) karışımı fermantasyonu; SHO: Standart hata ortalaması.

F1'de başlangıç seviyesine (0. gün örneklerine) kıyasla 15. ve 30. günlerde önemli düşüşler gözlenmiştir. Bu fermantasyon başında PAS içerisindeki kolay çözünebilir besin maddelerin etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim ortamda kolay çözünebilir bileşik kalmadığında lignoselülotik bileşik oranının artmasından dolayı ve fermantasyon etkinliğinin lignoselülotik bileşiklerin parçalanmasında sınırlı kalması sonucunda İVGÜ'nün azaldığı düşünülmektedir. Literatürde de yürütülen çalışmalarda lignoselülotik bileşikler ile İVGÜ arasında negatif korelasyon olduğu bildirilmiştir (Nasehi vd., 2017; Sufyan vd., 2022). F1'de fermantasyon ilerledikçe gaz üretim potansiyelinin azalması substratın yapısal değişimi ve fermantasyon etkinliğinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca ME, NEL ve OMSD'ninde kötüleşmesi fermantasyon etkinliğinin bu parametreler ve İVGÜ için yeterli olmadığını göstermektedir. Bu düşünceyi önceki araştırma sonuçları da destekler niteliktedir. Önceki araştırmalarda lignoselülotik yapının parçalanmasının yemlerin sindirilebilirliğini artırdığı ve enerji değerlerini iyileştirdiği bildirilmektedir (Datsomor vd., 2022; Sufyan vd., 2022; Carrillo-Diaz vd., 2022). F2 ve F3'deki fermantasyonların 0. gün örneklerinin İVGÜ'nün yüksek olması 15. gün örneklerinde düşük olmasıda F1 ile aynı durumda yani kolay çözünebilir besin maddelerin etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak bu fermantasyonlarda F1'den farklı olarak 15. günden sonra fermantasyon etkinliğinin arttığı görülmektedir. Çünkü İVGÜ, ME, NEL ve OMSD'nin 15. gün örneklerine göre artması mikrobiyal bir faaliyet olduğunu göstermektedir. Bu mikrobiyal faaliyet neticesinde lignoselülotik bileşiklerin parçanması ve İVGÜ, ME, NEL ve OMSD'nin iyileşmesine neden olmuştur. Sufyan vd. (2022) fermantasyonda lignin ve diğer

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

karbonhidratların parçalanması sonucunda İVGÜ ve kuru madde sindirimi gibi parametrelerin arttığını belirtmiştir.

Metan üretimi değerlendirildiğinde, tüm gruplarda 15. gün örneklerinde belirgin bir düşüş olmuştur. Bu durum, fermantasyonun erken aşamalarında organik asitlerin oluştuğunu ve hidrojeni metan yerine propiyonik yolunda kullandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde literatürdeki çalışmalarda da fermantasyonda hidrojeni metan yolundan propiyonik asit oluşturmak üzere kaydırılması sonucunda metan üretimini baskıladığını belirtmiştir (Supapong vd., 2017; Liang vd., 2018; Khonkhaeng ve Cherdthong, 2020). Metan içeriğinin 30. gün örneklerinde artması ise hidrojenin propiyonik asit yoluna kaydırılmasının engellendiğinden kaynaklandığı ve tekrar metan üretimi için kullanıldığı düşünülmektedir.

Mısır samanının PAS (F1), SS (F2) ve PAS+SS (F3) ile yürütülen 30 günlük fermantasyonları sonucunda GSKM, TF, MP, MPSE ve GSD içeriğinde önemli değişiklikler meydana gelmiştir ($P<0.05$) (Çizelge 3). Mısır samanının F1'de GSKM, TF, MP, MPSE ve GSD içerikleri 0. gün örneklerine göre fermantasyonun 15. günündeki örneklerinde önemli derecede artmıştır. Ancak fermantasyonun ilerleyen günlerinde bu parametreler 15. gün örneklerine göre 30. gün örneklerinde önemli derecede azalmıştır. F1'in aksine F2'de GSKM, TF, MP, MPSE ve GSD içerikleri fermantasyon süresince artmıştır. F3'de ise 30. gün örneklerinde 0. gün örneklerine kıyasla azalmıştır. Ancak TF ve MPSE 15. gün örneklerinde artmıştır.

Çizelge 3. Fermantasyonların mısır samanının GSKM, TF, MP, MPSE ve GSD'ye etkisi

F.	Gün	GSKM, mg	TF, mg/ml	MP, mg	MPSE, mg	GSD, %
F1	0	174.00^{b}	2.36^{e}	12.06^{e}	6.94^{f}	34.29^{b}
	15	207.83^{a}	3.70^{a}	84.38^{a}	40.60^{a}	39.82^{a}
	30	132.50^{c}	2.73^{d}	25.75^{d}	19.26^{d}	25.21^{c}
F2	0	128.67^{c}	2.51^{e}	16.11^{e}	12.53^{e}	25.38^{c}
	15	133.83^{c}	2.82^{d}	29.26^{d}	21.83^{d}	25.96^{c}
	30	172.33^{b}	3.29^{bc}	56.87^{b}	33.05^{bc}	33.43^{b}
F3	0	172.50^{b}	3.13^{c}	51.23^{b}	29.63^{c}	33.85^{b}
	15	109.33^{d}	3.46^{b}	39.62^{c}	36.25^{ab}	21.46^{d}
	30	137.17^{c}	2.81^{d}	29.69^{d}	21.60^{d}	27.03^{c}
SHO		5.870	0.085	4.266	2.106	1.116
p-değeri		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

$^{a-f}$ Aynı harflere sahip ve aynı sütunda yer alan ortalamalar arasında fark yoktur ($P<0.05$); F.: fermantasyonlar; F1: mısır samanı ile peynir altı suyu fermantasyonu; F2: mısır samanı ile silaj suyu fermantasyonu; F3: mısır samanı ile peynir altı suyu ve silaj suyu (1:1) karışımı fermantasyonu; SHO: Standart hata ortalaması.

F1'de 15. gün örneklerinin GSKM, MP ve MPSE'de önemli artışlar görülmüştür. Ancak bu artışlar, gaz üretimindeki düşüş ile birlikte değerlendirildiğinde, fermantasyonun geniş kapsamlı bir iyileşme sağlamaktan ziyade sınırlı bir substrat üzerinde yoğun mikrobiyal aktivite oluşturduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle, fermantasyon süreci substratın tamamını dönüştürmek yerine mevcut kullanılabilir fraksiyonları mikrobiyal biyokütleye yönlendirmiştir. Bu durum, TF'deki artış ile de desteklenmekte olup, mikrobiyal biyokütle artışının her zaman toplam sindirilebilirlik artışı ile paralel gitmediği düşünülmektedir. F2'de katı faz fermantasyonun inokulant türüne bağlı olarak farklı kinetik davranışlar gösterebildiğini ortaya koymaktadır. 30. gün örneklerinde GSKM, MP ve MPSE'de artış, daha yavaş fakat daha sürdürülebilir bir mikrobiyal adaptasyonu göstermektedir. Bununla birlikte gaz üretimindeki sınırlı değişim, lignoselülozik yapının yine tam olarak parçalanamadığını göstermektedir.

F3'de ise özellikle 15. gün örneklerinde hem İVGÜ hem de GSKM ve GSD değerlerindeki keskin düşüşler, buna karşın MPSE'nin kısmen yüksek kalması, mikrobiyal rekabet veya metabolik baskılanma olduğunu düşündürmektedir. Katı faz fermantasyon sistemlerinde farklı mikrobiyal toplulukların birlikte kullanılması, her zaman sinerjik etki oluşturmamakta, bazı durumlarda substrat kullanım etkinliğini azaltabilmektedir. Bu durum, fermantasyon sürecinin yalnızca inokulant varlığına değil, mikrobiyal uyum ve ortam koşullarına da bağlı olduğunu göstermektedir. Mısır samanı ile yürütülen üç farklı fermantasyon sonucunda GSKM, TF, MP, MPSE ve GSD'de fermantasyon süresi ile bu denli varyasyon olması ortamda mikroorganizmaların kolay parçalayabileceği besin maddelerin bulunmamasından kaynaklanmış olabilir. Çünkü fermantasyon ortamında karbon ve nitrojen yeterli ve dengeli olması fermantasyon verimliliği açısından önem arz ettiği belirtilmiştir (Kholif vd., 2017; Olagunju vd., 2023). Diğer taraftan bazı çalışmalarda TF ile İVGÜ arasında ters korelasyon olduğu belirtilmiştir (Blümmel vd., 1997; Brice vd., 2022). Bu çalışmada F2 ve F3 bu literatürde belirtilen korelasyona paralellik gösterirken F1'de bu durum gözlemlenmemiştir.

SONUÇ

Mısır samanının katı faz fermantasyonu, inokulant türü ve süreye bağlı olarak *in vitro* parametreleri önemli düzeyde etkilemiştir. Fermantasyon süreci, özellikle 15. günde mikrobiyal protein üretimi ve taksimat faktörünü artırmış; ancak *in vitro* gaz üretimi, enerji değerleri ve sindirilebilirlik genel olarak azalma eğilimi göstermiştir. Bu durum, fermantasyonun substratın tamamını dönüştürmekten ziyade sınırlı fraksiyonları mikrobiyal biyokütleye yönlendirdiğini göstermektedir. Peynir altı suyu kısa sürede daha etkili olurken, silaj suyu daha dengeli bir fermantasyon sağlamıştır.

KAYNAKLAR

Arredondo-Santoyo, M., Herrera-Camacho, J., Vázquez-Garcidueñas, M. S., Vázquez-Marrufo, G. Corn stover induces extracellular laccase activity in *Didymosphaeria* sp.(syn.= *Paraconiothyrium* sp.) and exhibits increased *in vitro* ruminal digestibility when treated with this fungal species, Folia Microbiologica, 65(5), 849-861, 2020.

Blümmel, M., Steingas, H., Becker, K. The relationship between in vitro gas production, in vitro microbial biomass yield and 15N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages, Br J Nutr, 77(6), 911-921, 1997.

Brice, R.M., Dele, P.A., Ike, K.A., et al. Effects of essential oil blends on *in vitro* apparent andtruly degradable dry matter, efficiency of microbial production, total short-chain fatty acids andgreenhouse gas emissions of two dairy cow diets, Animals, 12, 2185, 2022.

Carrillo-Diaz, M.I., Miranda-Romero, L.A., Chávez-Aguilar, G., Zepeda-Batista, J.L., González-Reyes, M., García-Casillas, A.C., Tirado-González, D.N., Tirado-Estrada, G. Improvement of ruminal neutral detergent fiber degradability by obtaining and using exogenous fibrolytic enzymes from white-rot fungi, Animals, 12(7), 843, 2022.

Chen, J., Cai, Y., Wang, Z., et al. Solid-state fermentation of corn straw using synthetic microbiome to produce fermented feed: the feed quality and conversion mechanism, Sci. Total Environ, 920, 171034, 2024.

Çabuk, B., Nosworthy, M.G., Stone, A.K., Korber, D.R., Tanaka, T., House, J.D., Nickerson, M.T. Effect of fermentation on the protein digestibility and levels of non-nutritive

compounds of pea protein concentrate, Food Technology and Biotechnology, 56(2), 257, 2018.

Datsomor, O., Gou-Qi, Z., Miao, L. Effect of ligninolytic axenic and coculture white-rot fungi on rice straw chemical composition and in vitro fermentation characteristics, Scientific Reports, 12(1), 1129, 2022.

Godoy, M.G., Amorim, G.M., Barreto, M.S., Freire, D.M. Agricultural residues as animal feed: protein enrichment and detoxification using solid-state fermentation, In Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, 235-256, 2018.

Goel, G., Makkar, H.P.S., Becker, K. Effect of Sesbaniases banand Carduuspycno cephalus leaves and Fenugreek (*Trigonellafoenum-graecum* L) seed sand the irextract on partitioning of nutrients from roug hage-and concentrate-based feeds to methane, Animal Feed Science Technology, 147, 72-89, 2008.

İbarruri, J., Goiri, I., Cebrián, M., García-Rodríguez, A. Solid state fermentation as a tool to stabilize and improve nutritive value of fruit and vegetable discards: effect on nutritional composition, *in vitro* ruminal fermentation and organic matter digestibility. Animals, 11(6), 1653, 2021.

Kholif, A.E., Elghandour, M.M.Y., et al. The effects of three total mixed rations with different concentrate to maize silage ratios and different levels of microalgae Chlorella vulgaris on *in vitro* total gas, methane and carbon dioxide production. The Journal of Agricultural Science, 155(3), 494-507, 2017.

Khonkhaeng, B., Cherdthong, A. Improving nutritive value of purple field corn residue and rice straw by culturing with white-rot fungi, Journal of Fungi, 6(2), 69, 2020.

Krishna, V.V., Mkondiwa, M. Economics of crop residue management, Annual Review of Resource Economics, 15(1), 19-39, 2023.

Liang, H., Xu, L., et al. Effect of daidzein on fermentation parameters and bacterial community of finishing Xianan cattle, Ital J Anim Sci, 17, 950–958, 2018.

Menke, K.H., Raab, L., Salewski, A., Steingass, H., Fritz, D., Schneider, W. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*, The Journal of Agricultural Science, 93(1), 217-222, 1979.

Menke, K.H., Steingass, H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid, Animal Research and Development, 28, 7-55, 1988.

Nasehi, M., Torbatinejad, N.M., Zerehdaran, S., Safaie, A.R. Effect of solid-state fermentation by oyster mushroom (Pleurotus florida) on nutritive value of some agro by-products, Journal of Applied Animal Research, 45(1), 221-226, 2017.

Olagunju, L. K., Isikhuemhen, O. S., et al. Effects of the incubation period of *Pleurotus ostreatus* on the chemical composition and nutrient availability of solid-state-fermented corn stover, Animals, 13(16), 2587, 2023.

Oliveira, M.D.S., Feddern, V., Kupski, L., Cipolatti, E.P., Badiale-Furlong, E., de Souza-Soares, L.A. Physico-chemical characterization of fermented rice bran biomass Caracterización fisico-química de la biomasa del salvado de arroz fermentado, CyTA–Journal of Food, 8(3), 229-236, 2010.

Sufyan, A., Khan, N.A., et al. Novel techniques for the mass production of nutritionally improved, fungus-treated lignocellulosic biomass for ruminant nutrition, Journal of the Science of Food and Agriculture, 104(4), 2215-2224, 2024.

Supapong, C., Cherdthong, A., et al. *In vitro* fermentation, digestibility and methane production as influenced by *Delonix regia* seed meal containing tannins and saponins, J Anim Feed Sci, 26, 123–130, 2017.

Vercoe, P.E., Makkar, H.P., Schlink, A.C. *In vitro* screening of plant resources for extra-nutritional attributes in ruminants: nuclear and related methodologies, Heidelberg: Springer, 2008.

Xie, Z., Zou, H., Zheng, Y., Fu, S.F. Improving anaerobic digestion of corn straw by using solid-state urea pretreatment, Chemosphere, 293, 133559, 2022.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

TÜRKİYE'DE ENERJİ KAYNAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ALAŞIMLARIN HİDROJEN DEPOLAMA PERFORMANSI

Prof. Dr. Musa GÖGEBAKAN

Prof. Dr. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

gogebakan@ksu.edu.tr, 05367942227

ÖZET

Bu çalışma, günlük yaşamın her aşamasında vazgeçilemez bir gereksinim olan enerji ve yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgilidir. İhtiyaçların arması, daha konforlu bir yaşam arzusu ve buna bağlı olarak teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte enerji talebi dünya genelinde sürekli artış göstermektedir. Enerji, modern toplumların sürdürülebilir gelişiminin temel unsurlarından biri olup ekonomik büyüme, teknolojik ilerleme, tarımsal üretim ve yaşam kalitesinin artırılması açısından stratejik bir öneme sahiptir. Diğer taraftan, fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması, çevresel etkilerinin giderek belirginleşmesi ve canlı sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle alternatif ve temiz enerji kaynaklarına yönelim zorunlu hale gelmiştir. Küresel ölçekte yaşanan iklim değişikliği, karbon emisyonlarının azaltılması gerekliliği ve enerji arz güvenliği kaygıları, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin geliştirilmesini ve yaygınlaştırılmasını öncelikli bir araştırma alanı hâline getirmiştir. Bu çalışmada, Türkiye'de kullanılan enerji kaynakları mevcut istatistiksel veriler ışığında kapsamlı biçimde analiz edilmiş ve yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut durumu ve gelecek potansiyeli değerlendirilmiştir. Ayrıca hidrojen depolama teknolojileri ile hidrojeni katı fazda depolayabilen alaşımlar incelenmiş; bu alaşımların yapısal özellikleri, hidrojen depolama kapasiteleri ve olası uygulama alanları ayrıntılı biçimde değerlendirilmişti.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Hidrojen Enerjisi, Alaşım.

ABSTRACT

This study deals with energy and renewable energy resources, which are indispensable requirements at every stage of daily life. With increasing needs, the desire for a more comfortable life, and the resulting acceleration of technological developments, energy demand is constantly increasing worldwide. Energy is one of the fundamental components of sustainable development for modern societies and has strategic importance for economic growth, technological progress, agricultural production, and the improvement of quality of life.. On the other hand, the limited reserves of fossil fuels, their growing environmental impacts, and their adverse effects on human health have made the transition to alternative and clean energy sources inevitable. Global climate change, the need to reduce carbon emissions, and concerns about energy supply security have made the development and widespread adoption of renewable energy sources and technologies a priority area of research. In this study, the energy sources used in Turkey have been comprehensively analysed in light of existing statistical data, and the current status and future potential of renewable energy sources have been evaluated. In addition, hydrogen storage technologies and alloys capable of storing hydrogen in the solid

state were examined; their structural properties, hydrogen storage capacities, and potential application areas were evaluated in detail.

Keywords: Energy, Hydrogen Energy, Alloy.

GİRİŞ

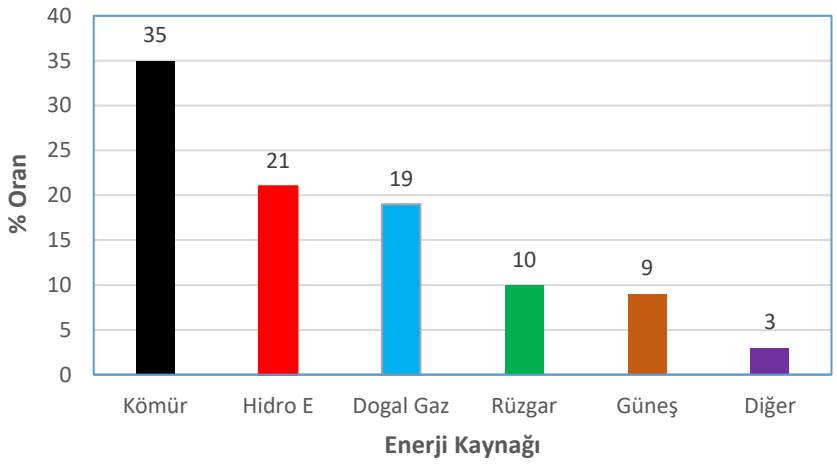
Sanayileşme, nüfus artışı ve kentleşmenin hız kazanmasıyla birlikte dünya genelinde enerji talebi sürekli olarak artmaktadır. Dünya genelinde temel enerji kaynağı olarak yoğun biçimde kullanılan fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması, çıkarılma ve taşınma süreçlerindeki zorluklar, çevresel etkilerinin giderek belirginleşmesi ve canlı sağlığı üzerindeki olumsuz sonuçları, alternatif ve temiz enerji kaynaklarına yönelimi zorunlu hâle getirmiştir. Diğer taraftan, küresel ölçekte yaşanan iklim değişikliği, karbon emisyonlarının azaltılması zorunluluğu ve enerji arz güvenliği kaygıları, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin geliştirilmesini ve yaygınlaştırılmasını öncelikli bir araştırma alanı hâline getirmiştir. Bu nedenle, yenilenebilir ve temiz enerji teknolojileri alanında yoğun araştırma ve geliştirme çalışmaları yürütülmüştür. Artan enerji talebini karşılamaya yönelik yürütülen yoğun araştırmalar neticesinde, özellikle son on yılda enerji kaynaklarının çeşitliliğinde belirgin bir artış yaşanmıştır. Enerji çeşitliliğindeki bu artışla birlikte, çevreye zarar vermeyen veya daha az zarar veren temiz enerji kaynaklarının araştırılması ve günlük hayatta kullanılabilir hâle getirilmesi önemli bir aşamayı temsil etmektedir. Türkiye, hızla artan enerji talebi ve enerji ithalatına olan yoğun bağımlılığı nedeniyle enerji arz güvenliği açısından önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Bununla birlikte güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları bakımından önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak bu kaynakların önemli bir bölümünün henüz etkin biçimde değerlendirilemediği görülmektedir [1-3]. Bu potansiyelin verimli şekilde kullanılması, enerji alanındaki dışa bağımlılığın azaltılması ve çevresel olumsuzlukların en aza indirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının değişken ve süreksiz karakteri, enerji depolama teknolojilerinin geliştirilmesini kritik bir gereklilik hâline getirmektedir. Bu bağlamda hidrojen, fosil yakıtların aksine temiz bir enerji taşıyıcısı olarak öne çıkmakta ve farklı yöntemlerle üretilebilmektedir. Hidrojenin enerji kaynağı olarak kullanılmasının en önemli avantajlarından biri, kullanım sürecinde ortaya çıkan tek yan ürünün su olması ve dolayısıyla çevreye zararlı emisyon oluşturmamasıdır. Ancak hidrojenin güvenli ve verimli biçimde depolanması önemli bir teknik sorun teşkil etmekte; enerji sistemlerinde yaygın olarak kullanılabilmesi için ekonomik, güvenli ve sürdürülebilir depolama yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

TÜRKİYE'NİN ENERJİ İHTİYACI VE MEVCUT KAYNAKLARININ KULLANIMI

2024 yılında Türkiye'nin elektrik üretimi yaklaşık 341–343.10^{12} Wh (wat-saat) civarında gerçekleşmiştir. Bu verileri göre ülkemizde elektrik enerjisi tüketimi 2024 yılında bir önceki yıla göre %5,8 oranında artış göstermiştir. Bu artışın önümüzdeki yıllarda da devam edeceği öngörülmektedir. Diğer taraftan, elektrik üretiminin önemli bir bölümü fosil yakıt kaynaklarından sağlanmaktadır. Şekil 1'de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre 2024 yılına ait elektrik üretim kaynakları ve bu kaynakların payları sunulmuştur [2-3]. Şekil 1'de görüldüğü gibi, ülkemizde ihtiyaç duyulan elektrik farklı kaynaklardan sağlanmaktadır. Elektrik üretiminde kaynak çeşitliliğinin yüksek olması olumlu bir gelişme olarak değerlendirilmektedir. Ancak Şekil 1'de görüldüğü üzere, kömür ve doğal gaz gibi çevresel etkileri olumsuz olan fosil yakıtlardan elde edilen elektriğin toplam

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

üretimdeki payı %50'nin üzerindedir. Öte yandan, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olan hidroelektrik enerji, %21'lik payıyla elektrik üretiminde ikinci sırada yer almakta ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yüksek üretim payına sahip kaynak konumunu korumaktadır. Doğal gazın enerji üretimindeki payı %19 civarında olup, kömüre göre daha düşük karbon salımı sağlaması nedeniyle tercih edilmektedir. Bununla birlikte, Türkiye'nin doğal gaz rezervleri bakımından yetersiz olması, enerji arz güvenliği ve ekonomik açıdan dışa bağımlılık riskini artırmaktadır. Elektrik üretiminde ülkemizin durumu, başta ABD, Çin, Rusya ve Avrupa Birliği olmak üzere diğer büyük ekonomilerle karşılaştırıldığında benzer eğilimler gösterdiği görülmektedir. Avrupa Birliği dışındaki ülkelerde fosil yakıtların elektrik üretimindeki payı %50'nin üzerindedir [4-8]. Dolayısıyla, küresel ortalamada fosil kaynaklar hâlen baskın konumunu korumakla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının payının hızlı bir artış eğilimi gösterdiği dikkat çekmektedir. Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı, Avrupa Birliği'nde yaklaşık %50 civarında gerçekleşmiş olup diğer büyük ekonomilere kıyasla en yüksek düzeydedir [5].



Şekil 1. 2024 yılına ait elektrik üretim kaynakları ve payları.

TEMİZ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR ENERJİ TAŞIYICISI OLARAK HİDROJEN

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına kademeli geçişe yönelik planlama ve çalışmalar yürütülmektedir. Güneş ve rüzgâr enerjisinin kullanımına yönelik önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Buna karşın, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olma potansiyeli taşıyan hidrojen alanında yeterli sayıda ve kapsamda çalışma gerçekleştirilmemiştir. Bunun başlıca nedenleri arasında hidrojenin güvenli ve ekonomik biçimde depolanmasına ilişkin sorunlar yer almaktadır. Hidrojenin bir yakıt olarak etkin biçimde kullanılabilmesi için güvenli ve verimli depolama yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, hidrojenin bir enerji taşıyıcısı olarak değerlendirilmesinde güvenli ve maliyet bakımından etkin depolama sorunu, günümüz enerji teknolojilerinin karşılaştığı en önemli zorluklardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır [9-11]. Son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalar, hidrojenin belirli malzemelerde katı fazda depolanmasının mümkün olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca katı fazda depolanan hidrojen, gaz ve sıvı fazlara kıyasla daha az hacim kaplamakta ve aşırı düşük sıcaklıklara ihtiyaç duymamaktadır. Hidrojeni depolayabilen malzemeler, mikro yapılarını koruyarak depoladıkları hidrojeni adsorbe etme (tutma) ve

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

desorbe etme (salma) özelliklerine sahiptir. Malzemelerin bu özellikleri belirlendikten sonra, önceki yıllarda çok sayıda araştırma yapılmış ve hidrojenin alaşımlarda, özellikle yarı kararlı malzemeler sınıfına giren amorf ve nanoyapılı alaşımlarda katı fazda depolanabileceği rapor edilmiştir [9–10]. Sonuç olarak, hidrojenin katı hâlde depolanması, sürdürülebilir ve temiz enerji teknolojilerinin geliştirilmesi açısından önemli bir konuma sahiptir. Tablo 1 de bazı alaşımların hidrojen depolama kapasiteleri verilmiştir [11-15].

Tablo 1. Bazı alaşımların hidrojen depolama kapasiteleri.

	Alaşımlar	**Sentez Metodu**	**Hidrojen Absorbe Kapasitesi**
1	$LaNi_5$	Ark Eritme	6.00 (M % H)
2	$Mg_{90}Ni_8M_2$ (M=Y, Nd, Gd)	Hızlı Katılaştırma	5.20 (Wt % H
3	$Mg_{70}Ni_{20}La_{10}$	Mekanik Alaşımlama	2.30 (wt % H)
4	$LaNi_4V_{0.5}Fe_{0.5}$	Ark Eritme	5.90 (M % H)
5	ZrTiVCrFeNi	Lazer	1.81 (Wt % H)
6	CoFeMnTiVZr	Ark Eritme	1.91 (Wt % H
7	Ti–Zr–V–Cr–Ni	İndüksiyon Eritme	1.78 (Wt % H)
8	$LaNi_4$ Fe	Ark Eritme	5.40 (M % H
9	$Mg_{60}Ni_{30}La_{10}$	Mekanik Alaşımlama	2.25 (Wt % H)
10	AlCrFeMnNiW	Mekanik Alaşımlama	0.62 (Wt % H)

(Wt % H): Ağırlıkça Hidrojen, (M % H) Kütlece Hidrojen

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'nin enerji ihtiyacı ve mevcut enerji kaynaklarının kullanım durumu istatistiksel veriler ışığında değerlendirilmiş, yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut potansiyeli ve hidrojen depolama teknolojilerinin gelecekteki rolü incelenmiştir. Araştırmalar, Türkiye'nin enerji talebinin her yıl hızla arttığını ve enerji üretiminde başta kömür olmak üzere fosil yakıtların hâlen önemli bir paya sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, enerji arz güvenliği ve sürdürülebilirlik bakımından yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının ve alternatif enerji taşıyıcılarının geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Türkiye, güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları bakımından önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak bu kaynakların coğrafi ve iklimsel koşullardan dolayı süreksizliği ve değişken yapısı, enerji depolama teknolojilerinin geliştirilmesini kritik bir gereklilik hâline getirmektedir. Bu noktada hidrojen, temiz bir enerji taşıyıcısı olarak öne çıkmakta ve özellikle katı fazda depolama yöntemleri güvenli ve verimli çözümler sunma potansiyeli taşımaktadır. Hidrojen çeşitli alaşımlarda ve özellikle amorf ile nanoyapılı yarı kararlı malzemelerde etkin biçimde depolanabilmektedir. Bu nedenle, düşük maliyetli ve uzun ömürlü hidrojen depolama malzemelerinin geliştirilmesi için malzeme bilimi ve enerji teknolojileri alanındaki disiplinler arası çalışmaların artırılması büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak, Türkiye'nin enerji arz güvenliğinin sağlanması ve çevresel sürdürülebilirliğin artırılması için yenilenebilir enerji

kaynaklarının daha etkin kullanılması ve hidrojen enerjisi teknolojilerine yönelik araştırmaların desteklenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024). *(Elektrik üretimi kaynaklara göre dağılım)*. https://www.enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik.

[2] Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), 2024). (*Türkiye elektrik üretim–iletim istatistikleri).* https://www.teias.gov.tr/tr-TR/yayinlar/istatistikler.

[3] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), (2024). *Elektrik piyasası yıllık sektör raporu*. https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/yayinlar-raporlar

[4] Ember. J. (2024). *Global Electricity Review (2024)*. Ember Climate, London. https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2024/

[5] BP.(2024). *Statistical Review of World Energy 2024*. https://www.bp.com/statisticalreview.

[6] Our World in Data. (2024). *Electricity production by source*.

[7] International Energy Agency (IEA). (2025). *Global Energy Review 2025: Electricity*. International Energy Agency, Paris.https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025/electricity.

[8] International Energy Agency (IEA). (2024). *Electricity Market Report 2024*. Paris. https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-2024

[9] Hara M., Morozumi S., Watanabe K.(2006). Effect of a magnesium depletion on the Mg–Ni–Y alloy hydrogen absorption properties. Journal of Alloys and Compounds. 414:207-214.

[10] Lass EA. (2011). Hydrogen storage measurements in novel Mg-based nanostructured alloys produced via rapid solidification and devitrification. International Journal of Hydrogen Energy. 36:10787-10796.

[11] Kalinichenka S., Röntzsch L., Kieback B. (2009). Structural and hydrogen storage properties of melt-spun Mg–Ni–Y alloys. International Journal of Hydrogen Energy. 34:7749-7755.

[12] Lass EA. (2012). Hydrogen storage in rapidly solidified and crystallized Mg–Ni-(Y, La)–Pd alloys. International Journal of Hydrogen Energy. 37:9716-9721.

[13] Zhang B., Lv Y., Yuan J., Wu Y. (2017). Effects of microstructure on the hydrogen storage properties of the melt-spun Mg-5Ni-3La (at.%) alloys. Journal of Alloys and Compounds. 702:126-13.

[14] Lin, H-J, Zhang, C, Wang, H, Ouyang, L, Zhu, Y, Li, L, Wang, W, Zhu, M. 2016. Controlling nanocrystallization and hydrogen storage property of Mg-based amorphous alloy via a gas-solid reaction. Journal of Alloys and Compounds. 685:272-277. 1

[15] Kalinichenka S., Röntzsch L., Riedl T., Weıßgärber T., Kieback B. (2011). Hydrogen storage properties and microstructure of melt-spun Mg 90 Ni 8 RE 2 (RE= Y, Nd, Gd). International Journal of Hydrogen Energy. 36:10808-10815.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

DOĞADAKİ DÜZENSİZLİK: ENTROPİ

Prof. Dr. Musa GÖGEBAKAN

Prof. Dr. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye gogebakan@ksu.edu.tr, 05367942227

ÖZET

Bu çalışmada, doğadaki düzensizliğin nicel bir ölçüsü olan entropi kavramı ele alınmakta ve bu kavramın temel özellikleri analiz edilmektedir. Entropi, bir sistemdeki düzensizliğin veya rastgeleliğin ölçüsünü ifade eden temel bir fizik kavramıdır. Yaşamımızın her safhasında karşılaştığımız entropiyi, hayatı zamanla daha düzensiz ve karmaşık hâle getiren görünmez bir güç olarak tanımlamak yanlış olmayacaktır. Doğadaki sistemler genellikle hareket hâlindedir ve zamanla dengeye ulaşma eğilimi gösterir. Denge durumuna ulaşıldığında sistemde daha fazla makroskopik değişimler olmaz. Termodinamik denge durumundaki bir sistem, verilen şartlar altında maksimum entropiye sahiptir. Termodinamiğin ikinci yasasına göre, yalıtılmış bir sistemde entropi zamanla artma eğilimindedir**.** Doğal süreçler belirli bir yön doğrultusunda ilerlemektedir. Sıcak bir cisim, normal koşullar altında çevresiyle ısı alışverişi yaparak zamanla ortam sıcaklığıyla termodinamik denge durumuna yaklaşır. Bu süreç geri döndürülemez nitelikte olup sistem ve çevrenin toplam entropisinin artışıyla ilişkilidir. Entropi yalnızca fiziksel sistemlerle sınırlı olmayıp; kimya, biyoloji, matematik, termodinamik, bilgi teorisi ve kozmoloji gibi birçok bilim alanında da temel bir kavram olarak kabul edilmektedir. Mevcut çalışmada entropinin kavramsal bir değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Entropi, Düzensizlik, Denge.

ABSTRACT

In this study, the concept of entropy, defined as a quantitative measure of disorder in nature is examined, and its fundamental properties are analysed. Entropy is a fundamental physical concept that represents the degree of disorder or randomness in a system. It would not be incorrect to describe entropy, which we encounter at every stage of our lives, as an invisible influence that gradually makes life more disordered and complex. Natural systems are generally in motion and tend to approach equilibrium over time. When equilibrium is reached, no further macroscopic changes occur in the system. A system in thermodynamic equilibrium has maximum entropy under given constraints. According to the second law of thermodynamics, the entropy of an isolated system tends to increase with time. Natural processes proceed in a definite direction. Under normal conditions, a hot object exchanges heat with its surroundings and gradually approaches thermal equilibrium with the ambient temperature. This process is irreversible and is associated with an increase in the total entropy of the system and its surroundings. Entropy is not limited to physical systems; it is also regarded as a fundamental concept in many scientific fields, including chemistry, biology, mathematics, thermodynamics, information theory, and cosmology. This study provides a conceptual evaluation of entropy. This study presents a conceptual assessment of entropy.

Keywords: Entropy, Disorder, Equilibrium

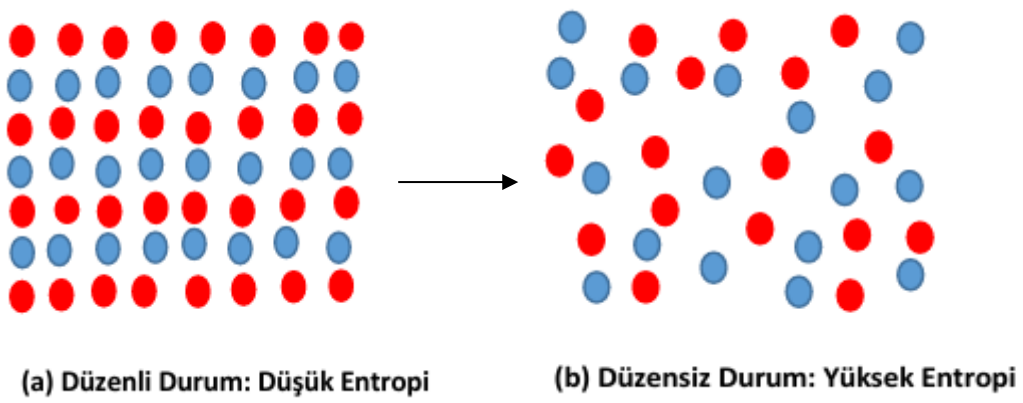
ISBN NR: 978-625-5694-96-6

GİRİŞ

Doğadaki düzensizliğin nicel bir tanımı olan entropi, ilk kez Alman fizikçi ve matematikçi Rudolf Clausius [1] tarafından tanımlanmış ve böylece bilim literatürüne önemli bir kavram kazandırılmıştır. Daha sonra ise Ludwig Boltzmann [2-3] tarafından geliştirilen istatistiksel yaklaşım ile mikroskobik temellere dayandırıldığı görülmektedir. Oldukça karmaşık gibi görünen entropi, aslında basittir ve bir sistemdeki düzensizliğin, veya daha genel bir tanımlama ile doğadaki düzensizliğin nicel ölçüsünü tanımlar [4-7]. Günlük yaşamda karşılaşılan tüm makroskopik sistemler, tanımlanabilir bir entropi değerine sahiptir. Ofis veya oda gibi gündelik mekânların düzenli ve karmaşık durumları, farklı entropi değerleriyle karakterize edilir. Odanın düzenli ve organize olması düşük entropi ile, düzensiz ve rastgele bir yapıya sahip olması ise daha yüksek entropi ile karakterize edilir. Bir sistemin düzenli ve organize hâlde tutulabilmesi, bilinçli bir çaba ve buna karşılık gelen enerji harcamasını gerektirir. Buna karşılık, düzensiz veya rastgele bir durumun oluşması için herhangi bir bilinçli çaba gösterilmesine ya da enerji harcanmasına gerek yoktur. Ofisinizde veya evinizde kullandığınız eşyaları rastgele bırakır, kıyafetlerinizi yere atar ve kâğıtların dağınık hâlde kalmasına uzun süre izin verirseniz, zamanla ortamın düzensizliğe sürüklendiği gözlenir. Bu durum entropinin artmasıyla açıklanır. Sıcak bir kahve zamanla soğur ve bu süreçte sistemin entropisi değişir. Doğadaki tüm sistemlerin düzensizliğe doğru bir eğilim göstermesi, fiziğin temel yasalarından biridir.

DENGE VE ENTROPİ

Şekil 1'de, düzenli (düşük entropili) bir durumdan düzensiz (yüksek entropili) bir duruma geçiş gösterilmiştir. (a) durumunda sistem düzenli bir yapıdadır, sistem daha az makrodurumla ifade edilir ve sistemin entropisi daha düşüktür. Ancak bu durumun, dışarıdan bir müdahale veya enerji girdisi olmaksızın uzun süre korunabilmesi normal koşullar altında mümkün değildir. Zaman içinde, sistemdeki parçacıkların hareketi ve karşılıklı etkileşimleri sonucunda sistemin daha düzensiz bir duruma evrilmesi olasıdır. Belirli bir süre sonra parçacıkların (b) durumuna ulaştığı gözlenir ve bu durumda sistemin toplam entropisi artmış olur. Sistemin (a) durumundan (b) durumuna geçişi için ek bir enerji harcaması veya dışarıdan bir müdahale olması gerekmez; bu, doğadaki sistemlerin genel eğilimidir. Buna karşılık, herhangi bir dış müdahale veya enerji girdisi olmaksızın sistemin kendiliğinden (b) durumundan (a) durumuna dönmesi beklenmez. Bu ilke, termodinamiğin ikinci yasasının bir sonucu ve fiziğin temel bir yasasıdır. Benzer şekilde, ofis ortamına bir parfüm sıkıldığını varsayalım. Başlangıçta koku belirli bir bölgede yoğunlaşmış olarak hissedilir; ancak zamanla difüzyon yoluyla tüm odaya eşit biçimde yayılır.



Şekil 1. Düzensizliğe doğru bir eğilimin şematik gösterimi**.**

Bu durum, sistemin daha yüksek entropili denge durumuna ulaştığını ifade eder. Ancak bu süreç kendiliğinden ters yönde gerçekleşmez. Sonuç olarak, doğal süreçler zaman içinde genellikle daha yüksek entropi yönünde ilerleyen tek yönlü bir eğilim sergiler. Başka bir ifadeyle en sonunda dengeye gelecek şekilde hareket ederler. Termodinamiğin İkinci Yasasına göre [8-10], yalıtılmış bir sistemde entropi zamanla artar ve denge durumunda maksimum olur. Buna göre dengedeki bir sistem maksimum entropi ile karakterize edilirken, dengede olmayan bir sistem ise daha düşük entropi değerine sahiptir. Dengedeki bir sistem, en olası durumda bulunur ve makroskopik olarak bir değişim eğilimi göstermez [7-10]. Denge dışı bir sistem ise mevcut durumunu sürdüremez ve dengeye ulaşma yönünde evrilir.

Entropiye ilişkin matematiksel tanımlar ve formülasyonlar, başta fizik olmak üzere kimya, bilgi teorisi ve istatistik gibi birçok bilim alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda en temel ve etkili ifadelerden biri, klasik ve istatistik mekanik çerçevesinde geliştirilen ve Ludwig Boltzmann tarafından ortaya konulan entropi bağıntısıdır. Bu aşağıdaki gibidir**.**

$$S=k\ln W \qquad (1)$$

Burada S entropiyi, k Boltzmann sabitini ve W ise sistemin belirli bir makrodurumuna karşılık gelen girilebilir mikro durumların sayısını ifade eder

Bu bağıntı, Ludwig Boltzmann tarafından geliştirilmiş olup, bir makroskopik sistemin entropisini onu oluşturan mikro durumların sayısı ile ilişkilendirerek entropinin istatistiksel temelini ortaya koyar. Termodinamik dengedeki bir sistem, girilebilir mikro durumların sayısının en fazla olduğu makroduruma karşılık gelir. Bu nedenle dengedeki bir sistemin entropisi maksimumdur. Denge dışında bulunan sistemler ise daha az sayıda mikro duruma karşılık gelen makrodurumlarda bulunur ve zamanla daha olası, yani daha fazla mikro duruma sahip denge durumuna doğru evrilirler. Ayrıca İstatistik mekaniğe göre dengedeki bir sistem girilebilir durumlarının her birinde eşit olasılıkla bulunur. Basit bir örnek olarak bir zar atışı ele alınabilir. Altı yüzlü bir zarın her bir yüzünün üste gelmesine neden olacak özel bir fiziksel etki bulunmadığında, sistem simetrik kabul edilir (denge) ve her bir yüzün üste gelme olasılığı eşittir. Bu durumda zarın makroskopik olarak girilebilir durumları arasında bir ayrıcalık yoktur ve tüm olası sonuçlar eşit olasılıklıdır. Bu tür bir durum, istatistiksel açıdan en olası dağılıma karşılık gelir ve Ludwig Boltzmann tarafından geliştirilen istatistiksel yaklaşımın temel mantığını basit bir örnekle göstermektedir.

Aynı maddenin katı, sıvı ve gaz fazlarının entropileri karşılaştırıldığında genel eğilim aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$S_{Gaz} > S_{Sıvı} > S_{Katı} \qquad (2)$$

Bu sıralama (1) nolu formülde verilen entropinin istatistiksel tanımıyla açıklanır. Ludwig Boltzmann tarafından verilen bağıntıya göre entropi, bir makroduruma karşılık gelen girilebilir mikro durumların sayısı ile ilişkilidir. Olası mikro durum sayısı (W) en fazla olduğunda entropisi en yüksektir. Gaz fazında tanecikler birbirlerinden uzak ve büyük ölçüde serbest hareket hâlindedir; bu nedenle girilebilir mikro durum sayısı (W) en fazladır ve entropi en yüksek değeri alır. Sıvı fazdaki tanecikler birbirine yakın olmakla birlikte belirli bir hareket serbestliğine sahiptir. Düzen derecesi katıya göre daha az, gaza göre daha fazla olduğundan girilebilir mikro durum sayısı (W) katı fazdan büyük, gaz fazdan küçüktür. Bu nedenle sıvı hâlin entropisi katı hâlden yüksek, gaz hâlden düşüktür. Katı fazda ise tanecikler belirli ve düzenli konumlarda titreşim hareketi yapar. Mikro durum sayısı (W) gaz ve sıvı fazlara göre daha azdır olduğundan entropisi en düşük değer sahiptir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada entropi kavramı, fiziksel yorumu ve istatistiksel temelleri ile ele alınmıştır. Entropinin ilk kez Rudolf Clausius tarafından tanımlanmasıyla birlikte klasik termodinamiğin temel kavramlarından biri hâline geldiği, daha sonraki yıllarda ise Ludwig Boltzmann tarafından geliştirilen istatistiksel

yaklaşım ile mikroskobik temellere dayandırıldığı görülmektedir. Boltzmann bağıntısı, entropinin girilebilir mikro durum sayısı ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur.

Termodinamiğin ikinci yasasına göre yalıtılmış sistemlerde entropi zamanla artar ve denge durumunda maksimum değerine ulaşır. Bu durum, doğal süreçlerin neden tek yönlü bir eğilim gösterdiğini açıklayan temel ilkedir. Günlük hayatta gözlediğimiz ofisimizin düzeninin zamanla bozulması, sıcak bir kahvenin soğuması veya bir kokunun ortama yayılması gibi olaylar, sistemlerin daha olası ve daha yüksek entropili durumlara doğru dönüştüğünü göstermektedir. Günlük gözlemlerimiz, entropinin yalnızca teorik bir kavram olmadığını, doğadaki tüm makroskopik süreçlerde gözlemlenebilen temel bir büyüklük olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak entropi, yalnızca termodinamik ve fiziksel sistemlerin değil, doğadaki tüm süreçlerin yönünü belirleyen temel bir kavramdır. Sistemlerin dengeye doğru değişmesi ve doğal süreçlerin geri döndürülemezliği entropi ile açıklanabilir. Bu nedenle entropi kavramının anlaşılması, fizik başta olmak üzere kimya, biyoloji, bilgi teorisi ve mühendislik alanlarında birçok olgunun yorumlanabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Clausius, R. (1865). *Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie*. Annalen der Physik, 201(7), 353–400.

[2] Boltzmann, L. (1896–1898). *Vorlesungen über Gastheorie*. Leipzig: Johann Ambrosius Barth

[3] Reif, F. (1965). *Fundamentals of Statistical and Thermal Physics*. New York: McGraw-Hill**.**

[4] Wehrl, Alfred (1978). "General properties of entropy". *Reviews of Modern Physics*. 50 (2): 221–260.

[5] Cooper, Leon N. (1968). An Introduction to the Meaning and Structure of Physics. Harper. p. 331

[6] Lower, Stephen. (2016). "What is entropy?" *chem1.com*. Retrieved 21 May.

[7] Atkins, Peter; Julio De Paula (2006). *Physical Chemistry, 8th ed*. Oxford University Press. p. 79.

[8] Frigg, R. and Werndl, C. (2011) "Entropy – A Guide for the Perplexed" at the Wayback Machine. In *Probabilities in Physics*;

[9] Schroeder, Daniel V. (2000). *An introduction to thermal physics*. San Francisco, CA: Addison Wesley. p. 57. ISBN 978-0-201-38027-9**.**

[10] Gao, Xiang (2022). "The Mathematics of the Ensemble Theory". *Results in Physics*. 34 105230. arXiv:2006.00485. Bibcode:2022ResPh..3405230G. doi:10.1016/j.rinp.2022.105230. S2CID 221978379**.**

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ZEMİN SORUNLARI

Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, absarac@comu.edu.tr -0000-0002-4279-4158
Prof. Dr. Ercan IŞIK
Bitlis Eren Üniversitesi, eisik@beu.edu.tr - 0000-0001-8057-065X
Doç. Dr. Fatih AVCİL
Bitlis Eren Üniversitesi, favcil@beu.edu.tr - 0000-0001-6550-550X

ÖZET

Yerleşim alanlarının güvenliği ve mühendislik yapılarının performansı büyük ölçüde zemin özelliklerine bağlıdır. Zeminlerin litolojik bileşimi, stratigrafik yapısı, hidrojeolojik koşulları ve dinamik özellikleri deprem davranışı ve taşıma kapasitesi üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle genç alüvyal sedimanların yaygın olduğu bölgelerde sıvılaşma, diferansiyel oturma ve zemin büyütmesi gibi problemler önemli mühendislik sorunları oluşturmaktadır. Bu çalışmada zeminlerde ortaya çıkan başlıca jeolojik ve jeofizik kaynaklı problemler incelenmiş ve bu problemlerin belirlenmesinde kullanılan jeofizik yöntemler değerlendirilmiştir. Sismik yöntemler, mikrotremor ölçümleri, elektrik özdirenç yöntemi ve yer radarı uygulamalarının zemin karakterizasyonundaki rolü tartışılmıştır. Elde edilen bulgular, zemin davranışının doğru şekilde belirlenmesinin afet risklerinin azaltılması ve sürdürülebilir şehir planlaması açısından kritik önem taşıdığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Zemin problemleri, sıvılaşma, zemin büyütmesi, jeofizik yöntemler, mikrotremor, sismik dalga hızı

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

1. GİRİŞ

Yer kabuğunun üst kısmını oluşturan zeminler, mühendislik yapılarının doğrudan temas ettiği ortamı temsil etmektedir. Bu nedenle zeminlerin fiziksel, mekanik ve dinamik özellikleri yapı güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle deprem kuşaklarında yer alan bölgelerde zemin özellikleri, sismik dalgaların yayılımını ve büyütülmesini kontrol ederek deprem hasarının dağılımını belirleyen temel faktörlerden biri olmaktadır.

Deprem sırasında meydana gelen hasarların önemli bir kısmı yapıların zemin özellikleri ile uyumsuz tasarlanmasından kaynaklanmaktadır. Zemin koşullarının uygun şekilde belirlenmemesi sıvılaşma, diferansiyel oturma, zemin büyütmesi ve heyelan gibi problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Bard & Bouchon, 1985). Bu durum, özellikle kalın alüvyal sedimanların bulunduğu havza ortamlarında daha belirgin hale gelmektedir.

Son yıllarda zemin karakterizasyonunun belirlenmesi amacıyla jeolojik gözlemler ile birlikte çeşitli jeofizik yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler yeraltı yapılarını tahribatsız bir şekilde inceleyerek zemin özellikleri hakkında ayrıntılı bilgiler sunmaktadır. Özellikle kayma dalgası hızı (Vs), zemin hakim frekansı ve büyütme faktörü gibi parametreler deprem mühendisliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışmanın amacı, zeminlerde ortaya çıkan başlıca problemlerin jeolojik ve jeofizik açıdan değerlendirilmesi ve bu problemlerin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin tartışılmasıdır.

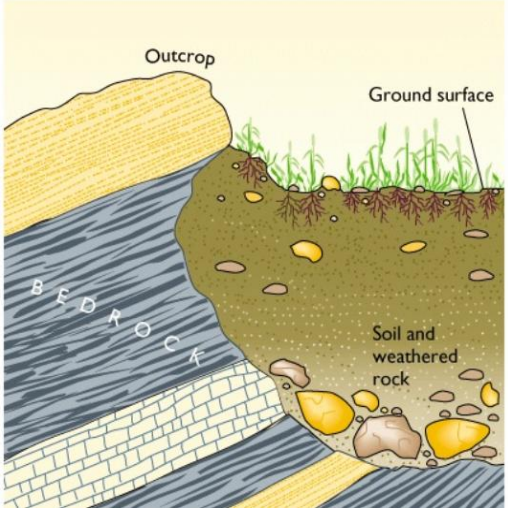
2. ZEMİNLERİN ÖZELLİKLERİ

Zeminler, kayaçların fiziksel ve kimyasal ayrışması sonucunda oluşan gevşek malzemelerden meydana gelmektedir. Bu malzemeler tane boyutu, mineralojik bileşim, porozite ve su içeriği gibi özellikler açısından büyük çeşitlilik göstermektedir (Görsel 1). Zeminlerin oluşumunda aşağıdaki süreçler etkili olmaktadır:

- Fiziksel ayrışma
- Kimyasal ayrışma
- Taşınma ve çökelme
- Biyolojik faaliyetler

Bu süreçlerin etkisiyle farklı jeolojik ortamlarda çeşitli zemin türleri oluşmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Görsel 1. Zeminlerin oluşma mekanizması (URL-1)

2.1 Alüvyal Zeminler

Alüvyal zeminler akarsular tarafından taşınan ve çökelen sedimanlardan oluşur. Bu tür zeminler genellikle kum, silt ve kil boyutundaki tanelerin karışımından meydana gelir. Alüvyal zeminlerin önemli özellikleri şunlardır:

- Yüksek porozite
- Heterojen yapı
- Düşük konsolidasyon derecesi

Bu özellikler nedeniyle alüvyal zeminler deprem sırasında önemli deformasyonlara maruz kalabilir.

2.2 Kolüvyal Zeminler

Kolüvyal zeminler yamaçlardan yerçekimi etkisiyle taşınan malzemelerin birikmesi sonucu oluşur. Bu zeminler genellikle köşeli bloklar, çakıl ve ince taneli sedimanların karışımından meydana gelir. Kolüvyal zeminler çoğu zaman düşük stabiliteye sahiptir.

2.3 Denizel ve Gölsel Sedimanlar

Deniz ve göl ortamlarında çökelmiş sedimanlar genellikle ince taneli ve yüksek su içeriğine sahiptir. Bu tür zeminler düşük kesme dayanımı ve yüksek sıkışabilirlik göstermektedir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

3. ZEMİNLERDE GÖRÜLEN BAŞLICA SORUNLAR

Zeminlerde meydana gelen problemler, doğal jeolojik süreçler ile mühendislik faaliyetlerinin etkileşimi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu problemler özellikle deprem sırasında daha belirgin hale gelmektedir. Başlıca zemin problemleri şunlardır:

- Zemin sıvılaşması
- Zemin büyütmesi
- Oturma
- Konsolidasyon
- Heyelan
- Yeraltı suyu kaynaklı problemler

3.1. Zemin Sıvılaşması

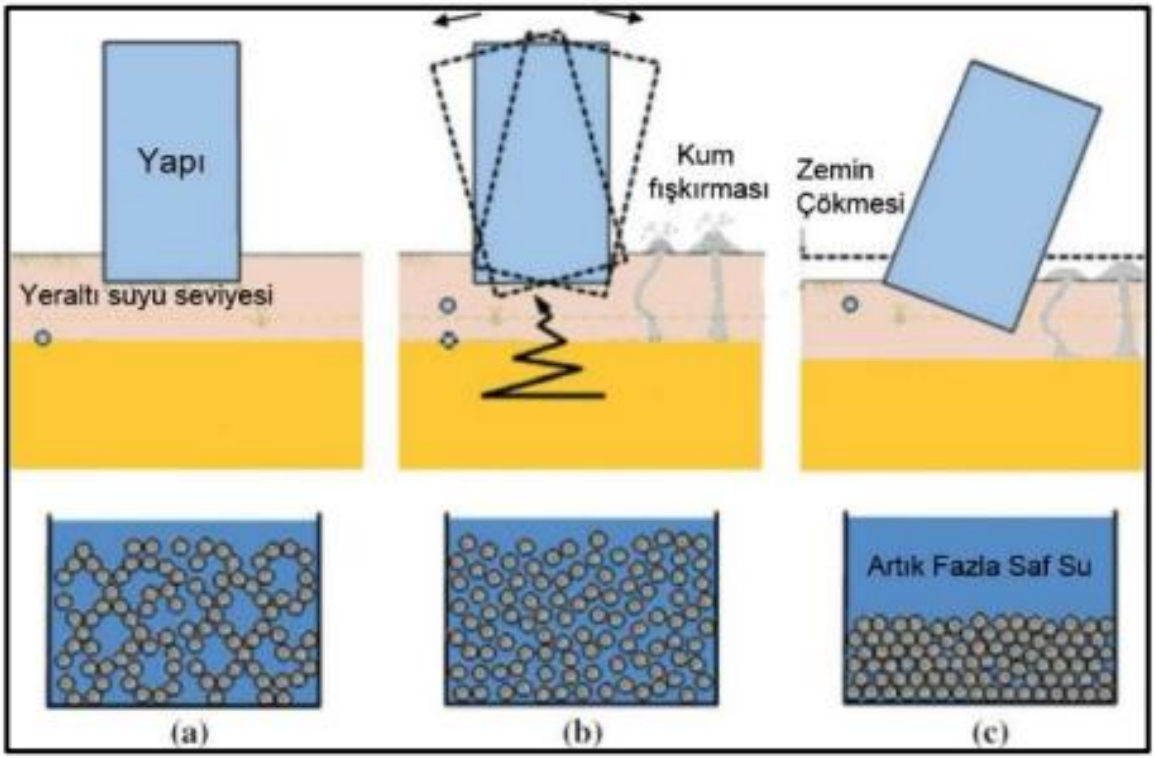
Zemin sıvılaşması, suya doygun gevşek kumlu zeminlerin deprem sırasında geçici olarak mukavemetini kaybederek sıvı benzeri davranış göstermesi olayıdır (Görsel 2). Deprem sırasında zemin içerisindeki boşluk suyu basıncı artar ve efektif gerilme azalır. Bunun sonucunda zemin kesme dayanımını kaybeder (Görsel 3) (Seed & Idriss, 1971). Sıvılaşma oluşumu aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Tane boyutu dağılımı
- Yeraltı su seviyesi
- Zemin yoğunluğu
- Depremin ivmesi

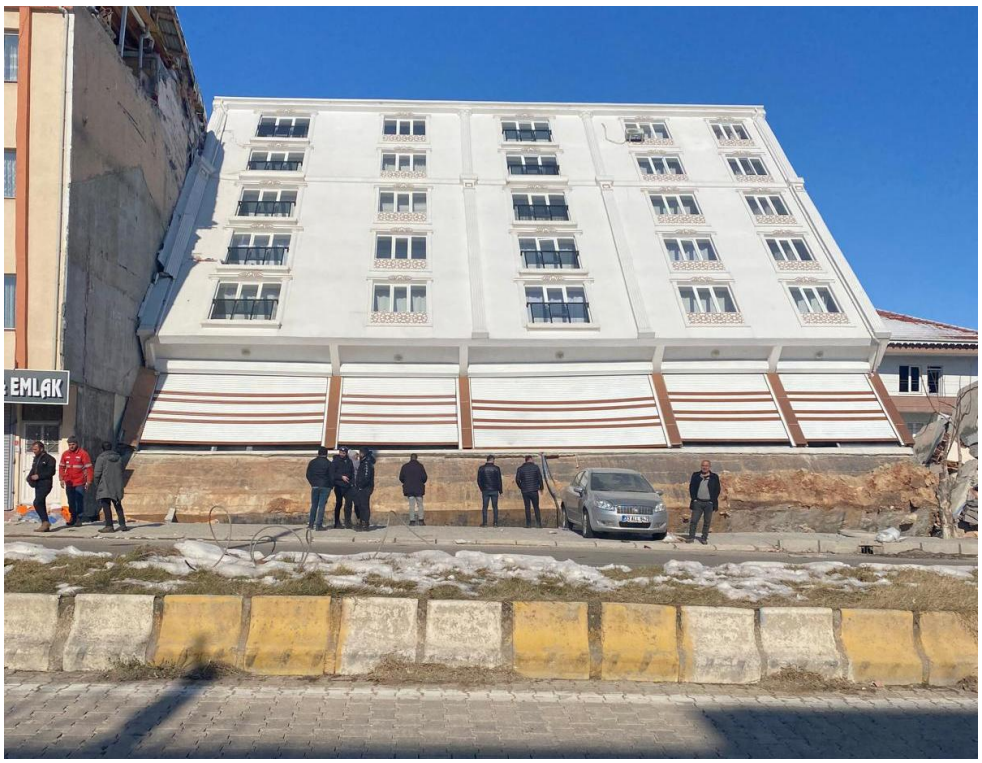
Sıvılaşma sonucunda aşağıdaki etkiler gözlenebilir:

- Kum kaynamaları
- Zemin oturmaları
- Yapı temellerinde stabilite kaybı
- Boru hatlarında deformasyon
- Tren ve karayollarında deformasyon

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Görsel 2. Sıvılaşmaya neden olan sismik dalgaların (a) deprem öncesi, (b) deprem anı ve (c) deprem sonrası zemindeki değişimin gösterilmesi (Durmaz ve Soyaslan, 2023).



Görsel 3. Gölbaşı (Adıyaman)'nda meydana gelen zemin sıvılaşması

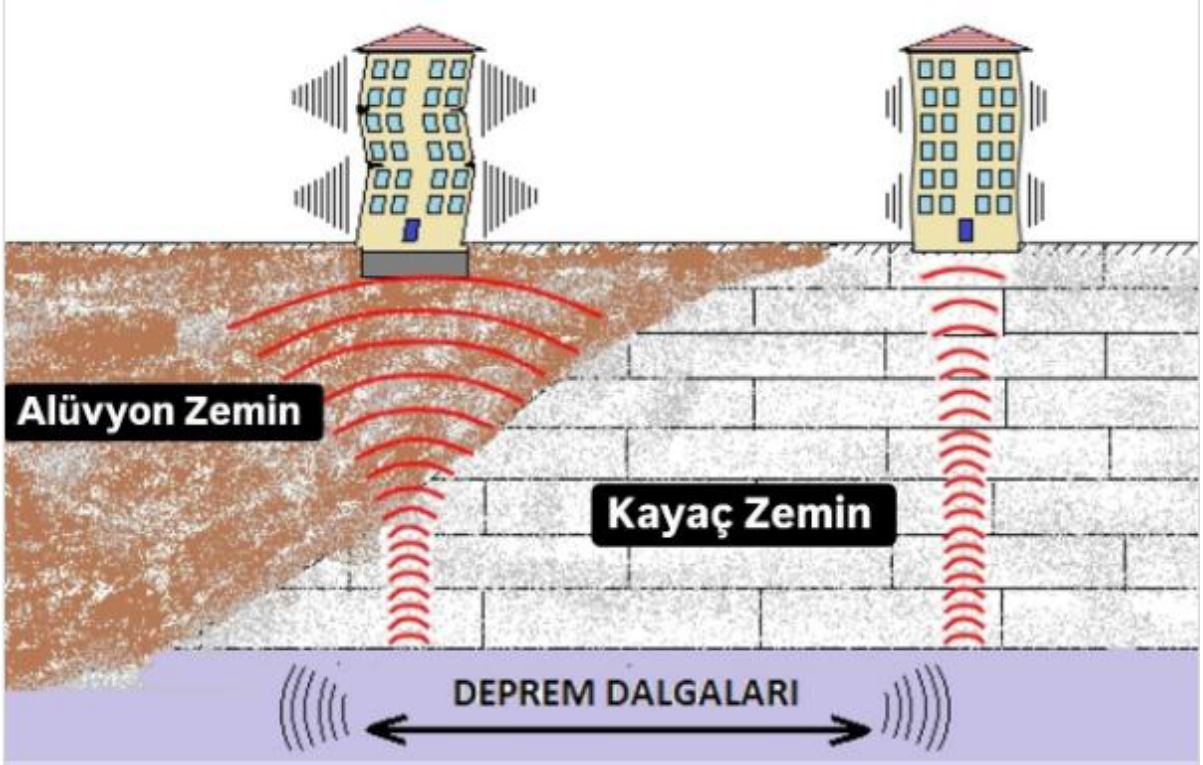
ISBN NR: 978-625-5694-96-6

3.2. Zemin Büyütmesi

Yerel zemin koşulları deprem dalgalarının genliğini arttırabilir (Kramer & Stewart, 2024). Bu olaya zemin büyütmesi denir. Sismik dalgalar sert kaya ortamlarında yüksek hızlarla ilerlerken gevşek sedimanlarda daha düşük hızlarla yayılır (Görsel 4). Bu hız farkı enerji birikimine ve dalga genliğinin artmasına neden olabilir. Zemin büyütmesi aşağıdaki parametrelerle ilişkilidir:

- Sediman kalınlığı
- Kayma dalgası hızı
- Rezonans frekansı
- Sediman tabakalanması

Kalın sediman havzalarında rezonans etkisi nedeniyle deprem hasarının önemli ölçüde arttığı bilinmektedir.



Görsel 4. Farklı zemin türlerinde gözlenen zemin davranışı ve zemin büyütmesi

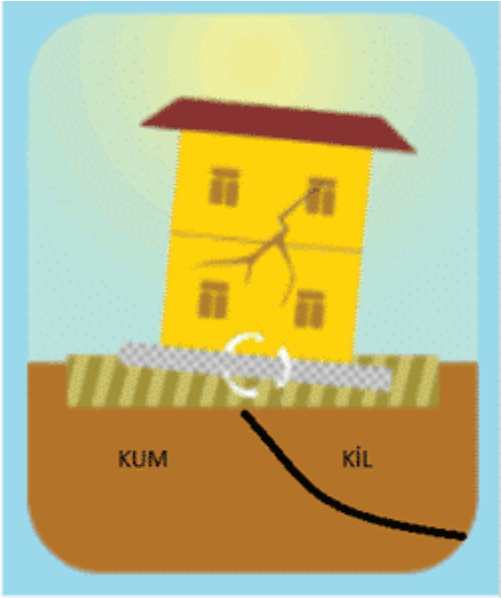
3.3. Zemin Oturması

Zemin oturması mühendislik yapılarında sıkça karşılaşılan bir problemdir. Oturma genellikle zemin içerisindeki boşlukların zamanla sıkışması sonucu meydana gelir. Oturma iki temel şekilde gerçekleşir:

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

-Konsolidasyon Oturması

Kil içeriği yüksek zeminlerde yük etkisiyle boşluk suyunun dışarı çıkması sonucunda hacim azalması meydana gelir (Görsel 5).



Görsel 5. Killerde konsolidasyon oturması (URL-2)

-Diferansiyel Oturma

Zemin özelliklerinin yatay yönde değişmesi durumunda yapı farklı bölümlerinde farklı miktarda oturma meydana gelir. Bu durum yapıda, çatlaklar, eğilmeler ve taşıyıcı sistem hasarları oluşturabilir.

3.4. Heyelan ve Yamaç Stabilitesi Problemleri

Heyelanlar, eğimli arazilerde zemin veya kaya kütlesinin yerçekimi etkisiyle aşağı doğru hareket etmesi sonucu oluşur. Heyelan oluşumunda etkili olan başlıca faktörler eğim açısı, litoloji, yeraltı suyu, yağış, sismik titreşimler olarak öne çıkmaktadır (Görsel 6). Heyelanların belirlenmesinde jeolojik haritalama ile birlikte jeofizik yöntemler de kullanılmaktadır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Görsel 6. Heyelan oluşumu

3.5. Yeraltı Suyu ve Hidrojeolojik Etkiler

Yeraltı suyu zemin davranışı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Yüksek yeraltı su seviyesi aşağıdaki problemlere neden olabilir. Sıvılaşma riskinin artması, kesme dayanımının azalması, zemin stabilitesinin bozulması oluşan sorunlardan bazılarıdır. Hidrojeolojik koşulların belirlenmesi için jeofizik yöntemlerden yararlanılmaktadır.

4. ZEMİN PROBLEMLERİNİN JEOFİZİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Jeofizik yöntemler yeraltı yapısını tahribatsız olarak inceleme imkânı sunmaktadır. Farklı jeofizik yöntemlerle zemin sorunlarının belirlenmesi, iyileştirilmiş zeminlerin kontrolü konularında çok faydalı sonuçlar alınmaktadır.

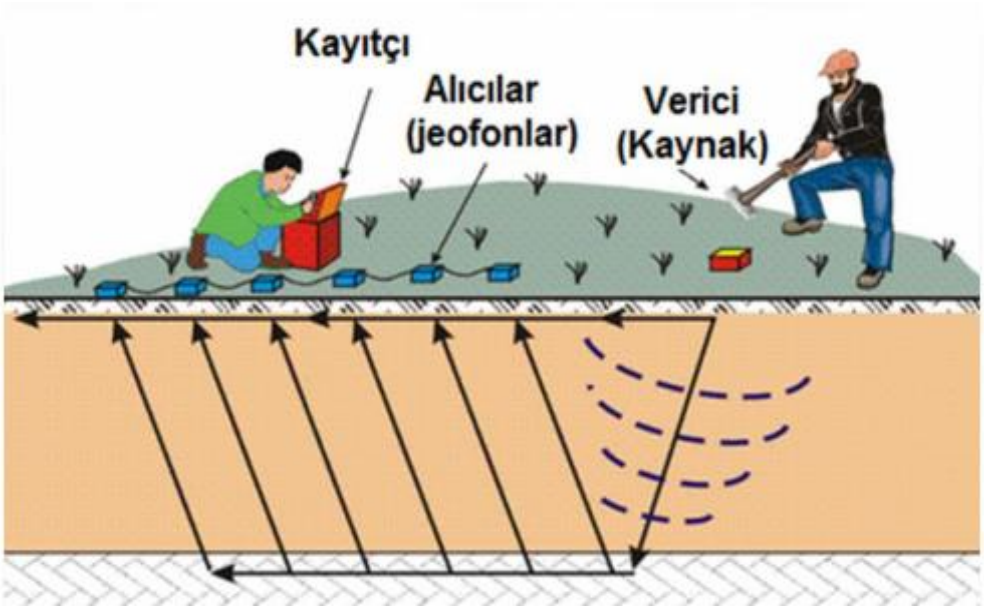
4.1 Sismik Yöntemler

Sismik yöntemler zemin içerisindeki dalga hızlarını ölçerek yeraltı yapılarını belirler (Görsel 7). Başlıca sismik yöntemler:

- Sismik kırılma
- Sismik yansıma
- MASW
- ReMi
- SPAC

olarak sıralanabilir. Zemin sorunlarının belirlenmesinde sismik yöntemlerden özellikle kayma dalgası hızı profili elde etmek için çoğunlukla yararlanılır.

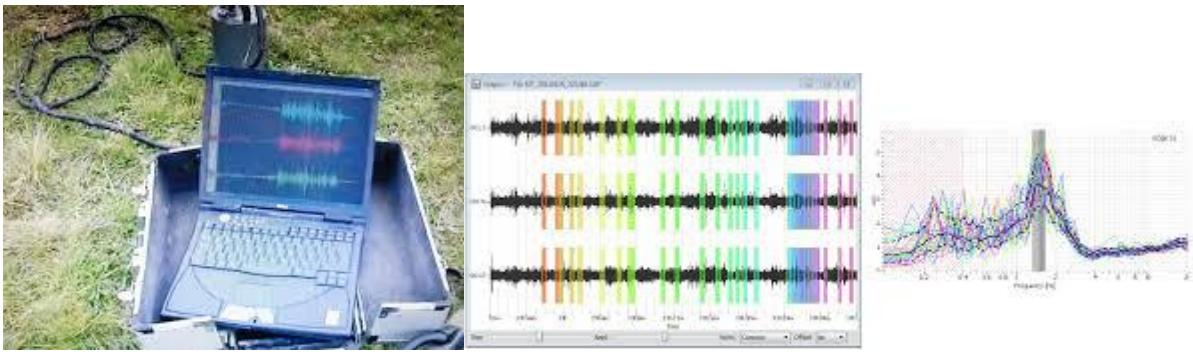
ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Görsel 7. Sismik kırılma kayıt görüntüsü

4.2 Mikrotremor Yöntemi

Mikrotremor ölçümleri çevresel titreşimlerden yararlanarak zemin özelliklerini belirler (Görsel 8). HVSR yöntemi ile zemin hakim titreşim frekansı, büyütme faktörü hesaplanabilir (Ibs-von Seht & Wohlenberg, 1999).



Görsel 8. (a) Mikrotremor ölçüm düzeneği, **(b)** Mikrotremor kaydı ve hakim titreşim frekans eldesi.

4.3 Elektrik Özdirenç Yöntemi

Bu yöntem yeraltındaki elektriksel direnç değişimlerini ölçerek katmanların litolojik farklılıklarını belirler. Elektrik özdirenç yöntemi, yeraltı suyu araştırmaları, heyelan analizleri zemin tabakalanmasının belirlenmesi çalışmalarında ağırlıklı olarak kullanılır.

4.4 Yer Radarı (GPR)

Yer radarı yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar kullanarak yüzeye yakın yapıların görüntülenmesini sağlar.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Jeolojik ve jeofizik çalışmaların birlikte değerlendirilmesi zemin davranışının daha doğru anlaşılmasını sağlamaktadır. Özellikle mikrotremor ve sismik yöntemlerin birlikte kullanılması zemin hakim titreşim frekansı ve kayma dalgası hızının belirlenmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Son yıllarda geliştirilen pasif sismik yöntemler, zemin karakterizasyonunda hızlı ve ekonomik çözümler elde edilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemler özellikle kentsel alanlarda geniş ölçekli zemin çalışmalarında yaygın olarak kullanılır. Bu çalışmada zeminlerde ortaya çıkan başlıca sorunlar ele alınmış, bunların belirlenmesinde kullanılabilecek yöntemler anlatılmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Zemin özellikleri mühendislik yapılarının güvenliği açısından kritik öneme sahiptir.
2. Genç alüvyal sedimanlar sıvılaşma ve zemin büyütmesi açısından yüksek risk taşımaktadır.
3. Jeofizik yöntemler zemin karakterizasyonunun belirlenmesinde etkili araçlardır.
4. Sismik yöntemler ve mikrotremor ölçümleri zemin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır.
5. Kentsel planlama çalışmalarında jeolojik ve jeofizik verilerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Bard, P.Y., & Bouchon, M. (1985). The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys.

[2] Durmaz, S.G., Soyaslan, İ.İ. (2023). Zemin Sıvılaşmasını Denetleyen Koşulların ve Sıvılaşma Nedenli Deformasyonların İncelenmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 14(2): 401-411. https://doi.org/10.29048/makufebed.1382822

[3] Kramer, S.L. & Stewart, J.P. (2024). Geotechnical Earthquake Engineering (2nd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003512011.

[4] Seed, H.B., & Idriss, I.M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 97(9), 1249-1274 https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001662

[5] URL-1: https://www.kursatozcan.com/ders_notlari/toprak_mekanigi/ik/1_zeminlerin_olusumu.pdf (Erişim tarihi: 18.03.2026)

[6] URL-2: https://www.sanalsantiye.com/tbdy-2018e-gore-ornek-bir-konsolidasyon-oturmasi-hesabi/ (Erişim tarihi: 18.03.2026)

[7] Ibs-von Seht, M. & Wohlenberg, J. (1999). Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments. Bulletin of the Seismological Society of America, 89 (1): 250–259. https://doi.org/10.1785/BSSA0890010250

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

06 ŞUBAT 2023 DEPREMLERİNİN TARİHİ YIĞMA MİNARELERDEKİ ETKİSİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA: ADIYAMAN ÖRNEĞİ

Prof. Dr. Ercan IŞIK
Bitlis Eren Üniversitesi, eisik@beu.edu.tr - 0000-0001-8057-065X
Doç. Dr. Fatih AVCİL
Bitlis Eren Üniversitesi, favcil@beu.edu.tr - 0000-0001-6550-550X
Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, absarac@comu.edu.tr -0000-0002-4279-4158

ÖZET

06 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri, diğer tür yapılarda olduğu gibi tarihi yığma minarelerde de toptan göçme ve farklı düzeyde yapısal hasarlara neden olmuştur. Depremden etkilenen 11 farklı ilde bulunan tarihi ve kültürel miras yapıları önemli ölçüde etkilenmiştir. Komagene Krallığı gibi büyük medeniyetlere ev sahipliği yapmış kadim bir şehir olan Adıyaman, depremlerde en fazla yapısal hasar ve yıkımların meydana geldiği illerin başında gelmektedir. Bu çalışma kapsamında ilde bulunan yedi farklı tarihi yığma minare için hasar değerlendirilmesi yapılmıştır. Tarihi yığma minareler, hem İslam mimarisinin dikey estetiğini ve yerel taş işçiliği geleneğini günümüze taşıyan birer mühendislik mirası, hem de inşa edildikleri dönemin teknik imkanlarını ve kültürel kimliğini simgeleyen anıtsal yapılardır. Düşük malzeme özelliklerine sahip yığma tarzda inşa edilen minareler yeterli deprem performansı sergilemeyerek farklı düzeylerde hasarlara maruz kalmışlardır. Bu minarelerde meydana gelen hasarlar deprem ve inşaat mühendisliği kapsamında değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Kahramanmaraş, Adıyaman, minare, hasar

1. GİRİŞ

6 Şubat 2023 tarihinde gerçekleşen Kahramanmaraş deprem dizisi, Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde meydana gelen ve literatürde çifte deprem olarak tanımlanan, sismolojik açıdan nadir görülen bir sismik hareket olup, çok büyük bir bölgede, çok büyük yıkım ve hasarlara neden olmuştur. İlk deprem Kahramanmaraş iline bağlı Pazarcık ilçesi merkezli olup $M_w = 7.7$ büyüklüğünde gerçekleşmiş, aynı gün içerisinde yaklaşık dokuz saat sonra ise sismik aktivitenin tetiklediği Elbistan ilçesi merkezli $M_w = 7.6$ büyüklüğündeki ikinci bir ana şokla devam etmiştir. Yüzey kırığı uzunluğunun 400 kilometreyi aşması, yüksek ivme değerleri ve sığ odak derinliği nedeniyle geniş bir coğrafyada şiddetli yer hareketi gözlemlenmiş; bu durum, yapı stokunda kümülatif hasar oluşturarak yığma ve betonarme yapılar üzerinde yıkıcı bir spektral etki yaratmıştır. Deprem özellikle Hatay, Kahramanmaraş, Adıyaman ve Malatya illerinde çok daha büyük yıkım ve hasarlara neden olmuştur. Özellikle bu dört ilin tarihsel gelişimi dikkate alındığında, çok farklı medeniyetlerin bölgede yerleşimi, bu illerde çok sayıda tarihi yapının olması anlamı taşımaktadır. Depremler bu yapılar üzerinde büyük yıkım ve hasarlara neden olmuştur.

Tarihi yapılar, bir toplumun kolektif hafızasını ve estetik anlayışını gelecek kuşaklara aktaran, medeniyet sürekliliğinin fiziksel taşıyıcıları ve mühendislik tarihinin anıtsal yapıları olması hasebiyle stratejik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, sismik aktivite sonrası gerçekleştirilen hasar değerlendirme çalışmaları, yapının stabilite durumunu bilimsel yöntemlerle tespit ederek acil müdahale ve askıya alma kararlarının alınmasını sağlayan kritik bir operasyonel süreçtir. Bu çalışmalar, çatlak paternleri ve düzlem dışı devrilmeler gibi yapısal patolojileri analiz ederek gelecekte yapılacak güçlendirme faaliyetlerinin minimum müdahale ve özgünlük prensipleri çerçevesinde yürütülmesine zemin hazırlamaktadır. Yerinde yapılan hasar tespitleri hem teorik mühendislik modellerinin saha verileriyle doğrulanarak literatüre katkı sunmasını sağlar hem de kültürel mirasın sadece birer kalıntı olarak değil, güvenli ve işlevsel birer varlık olarak hayatta kalmasını temin etmektedir (Valente vd., 2019; Milani, 2019; Mişe vd., 2024; Jadallah vd., 2025; Bilgin ve Ramadani, 2021; Ademović vd., 2020). Bu çalışma kapsamında Adıyaman ilinde yer alan yedi farklı tarihi yığma minare detaylı olarak incelenmeye çalışılmıştır.

Minareler, İslam mimarisinde ezan okunmak amacıyla camilere bitişik veya bağımsız olarak inşa edilen, yüksekliğiyle yapının anıtsal etkisini artıran dikey mimari simgelerdir. Tarihsel süreçte hem birer ışık kulesi hem de şehrin siluetini belirleyen nirengi noktaları olarak işlev görmüşlerdir. Mühendislik açısından ise yığma yapı geleneğinin en hassas denge ve

işçilikle inşa edilmiş, yüksek narinlik oranına sahip anıtsal örnekleri olarak büyük bir teknik öneme sahiptirler (Trešnjo vd., 2023; Doğangün vd., 2008; Çaktı vd., 2013; Işık vd., 2022; Işık vd., 2023a). 06 Şubat Kahramanmaraş depremleri ardından deprem bölgesinde yer alan illerdeki cami ve minarelerde hasar değerlendirmelerinin yapıldığı akademik çalışmalar genel olarak hasar değerlendirmelerini içermekte olup, bir kısmı ise sayısal analizler yardımı ile hasarları neden-sonuç kapsamında detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Bazı çalışmalarda cami ve minareler için farklı güçlendirme önerileri de sunulmuştur (Erkek ve Yetkin, 2023; Avcil vd., 2024;Çalık, 2025; Soyluk ve Demircan, 2023; Kocaman vd ., 2024; Onat vd., 2024; Kocaman vd., 2025; Dilsiz vd., 2025; Onat vd., 2023; Atmaca vd., 2025; Yılmaz vd., 2025; Usta Evci vd., 2025; Avğın and Köse, 2023; Işık vd., 2024, Demirtaş vd., 2025; Tüysüz ve Peker, 2025). Özellikle Adıyaman ve ilçelerinde yer alan cami ve minareler ise oldukça sınırlı olmuştur. Işık vd. (2023b), 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depreminin ardından Adıyaman ilindeki 27 farklı yapısal sisteme sahip cami ve minarenin yapısal hasarlarını değerlendirmişlerdir. Kocaman (2024), toptan göçmeye maruz kalmış Adıyaman Ulu cami için sayısal modelleme yakarak, tarihi camilerde minare çökmesi, kubbe hasarı ve duvar çatlaklarının sıkça görülen hasar mekanizmaları olduğu belirtmektedir. Kocaman (2023) deprem bölgesinde yer alan Adıyaman da dahil olmak üzere bölgedeki 11 farklı şehirde, 2023 Kahramanmaraş depremlerinden kısa bir süre sonra tarihi yığma cami ve minarelerde meydana gelen hasarı incelemiştir. Akar vd. (2024) çalışmalarında Adıyaman iline bağlı Gölbaşı ilçesinde farklı yapısal sistemlerdeki hasar ve yıkımları inceledikleri çalışmada ilçede bulunan cami ve minare hasarlarını da değerlendirmişlerdir.

Adıyaman, tarih boyunca Kommagene Krallığı gibi büyük medeniyetlere ev sahipliği yapmış, doğu ve batı kültürlerinin sentezlendiği devasa heykelleri barındıran Nemrut Dağı ile dünya mirasında eşsiz bir yere sahip olan kadim bir yerleşim merkezidir. Bu çalışma kapsamında Adıyaman il ve ilçelerinde yer alan yedi farklı tarihi yığma minare için değerlendirmeler yapılmıştır. Saha incelemeleri sonucu incelenen 7 farklı tarihi yığma minare için hasar incelemeleri gözleme dayalı olarak sahada yazarlar tarafından yapılmıştır. Elde edilen hasar durumları kullanılarak, ülkede tarihi eserler için güncel olarak kullanılan yönetmelik çerçevesinde deprem performanslarına dönüştürülmüştür.

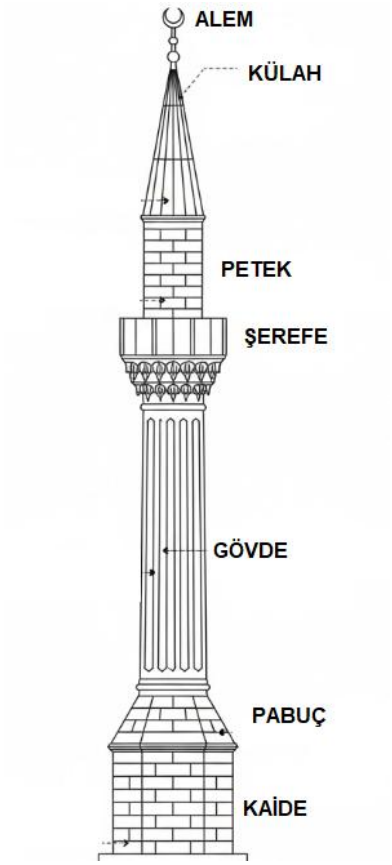
2. MATERYAL VE METOT

Minareler, İslam mimarisinde ezan okunmak amacıyla camilere bitişik veya bağımsız olarak inşa edilen, yüksekliğiyle yapının anıtsal etkisini artıran dikey mimari simgelerdir. Genel

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

olarak minareler kaide, pabuç, gövde, şerefe, petek, külah ve alemden oluşmaktadır. Şerefe sayısı değişkenlik gösterebildiği gibi geometrik en kesitinde değişikle olabilmektedir. Temel olarak işlev gören kaide, minarenin zemine oturduğu ve yapının yükünü zemine güvenli bir şekilde aktaran en alt kısımdır. Genellikle kare, dikdörtgen veya çokgen planlı olup, yapının stabilitesi için kritik öneme sahiptir. Minarenin boyutlarına ve zemin özelliklerine göre derinliği ve genişliği değişebilmektedir. Pabuç ise kaide ile gövde arasında bir geçiş elemanı olup, genellikle kaidenin düzlemsel formundan gövdenin dairesel veya çokgen formuna geçişi sağlamaktadır. Geometrik geçişleri (küresel üçgenler, tromplar veya pahlar) içeren bu bölüm, aynı zamanda yapının estetik görünümüne katkıda bulunmaktadır. Pabuç kısmının devamı olarak inşa edilen gövde, pabuçtan şerefeye kadar uzanan, minarenin en uzun ve en belirgin dikey kısmıdır. Genellikle dairesel kesitli olmakla birlikte, kare, silindirik, yivli veya burgulu formlarda da görülebilmektedir. Bazı minarelerde içerisinde şerefeye ulaşımı sağlayan bir merdiven bulunabilmektedir. Gövdenin bitiminde inşa edilen ve bazı minarelerde farklı sayılarda olabilen şerefe, ezanın okuduğu, gövdeyi çepeçevre saran, genellikle korkuluklu ve işlemeli bir balkon olarak ifade edilebilir. Gövdeden dışarı taşan bu kısım, mukarnaslı veya konsollu bir çıkıntı ile desteklenir ve mimari açıdan estetik bir zenginlik katmaktadır. Şerefe kısmında sonra inşa edilen petek ise şerefenin üzerinde yükselen, külahın oturduğu, genellikle daha ince ve kısa bir gövde parçasıdır. Külahın başlangıcını oluşturmakta ve şerefe ile külah arasında bir denge ve geçiş elemanı görevi görmektedir. Şerefeden sonra inşa edilen külah ise minarenin en üstünü örten, genellikle konik veya piramidal formda, sivri uçlu çatıdır. Ahşap iskelet üzeri kurşun kaplama veya taştan inşa edilebilmektedir. Üst kısmında alemi taşıyan metal bir direk bulunmaktadır. Son olarak inşa edilen alem ise külahın en tepesinde yer alan, genellikle hilal, yıldız, lale veya ay-yıldız motifli metalden yapılmış süsleme elemanı olarak işlev görmektedir. Minarenin ve caminin sembolik kimliğini pekiştirmektedir. Bu kısımların örnek bir tek şerefeli minare üzerinde şematik gösterimi Görsel 1'de yapılmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Görsel 1. Minare kısımların şematik gösterimi

İlk incelenen minare Adıyaman iline bağlı Besni ilçesinde yer alan Kurşunlu Cami'sine ait minaredir. Yığma tarzda inşa minare şerefe kısmında itibaren düzlem dışı hareket etmiştir. Bu minareye ait deprem öncesi, sonrası ve deprem sonrası hasarın şematik gösterimi Görsel 2'de yapılmıştır.

Görsel 2. Besni Kurşunlu Cami minaresi

Bir diğer minare ise Adıyaman Eski Saray Camisine ait yığma tarzda inşa edilen tek şerefeli minaredir. Camiye bitişik nizamda inşa edilen minare, cami ile bitişiminin bittiği

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

bölgeden itibaren düzlem dışı hareket ederek camiye de hasar vermiştir. Bu minareye ait deprem öncesi, sonrası ve deprem sonrası hasarın şematik gösterimi Görsel 3'te yapılmıştır.

Görsel 3. Eski Saray Cami minaresi

Depremlerde hasar alan diğer bir tarihi yığma minare ise Kab Camisine aittir. Tek şerefeli olarak camiden ayrık bir şekilde inşa edilen minare toptan göçmeye maruz kalmıştır. Bu minareye ait deprem öncesi, sonrası ve deprem sonrası hasarın şematik gösterimi Görsel 4'te yapılmıştır.

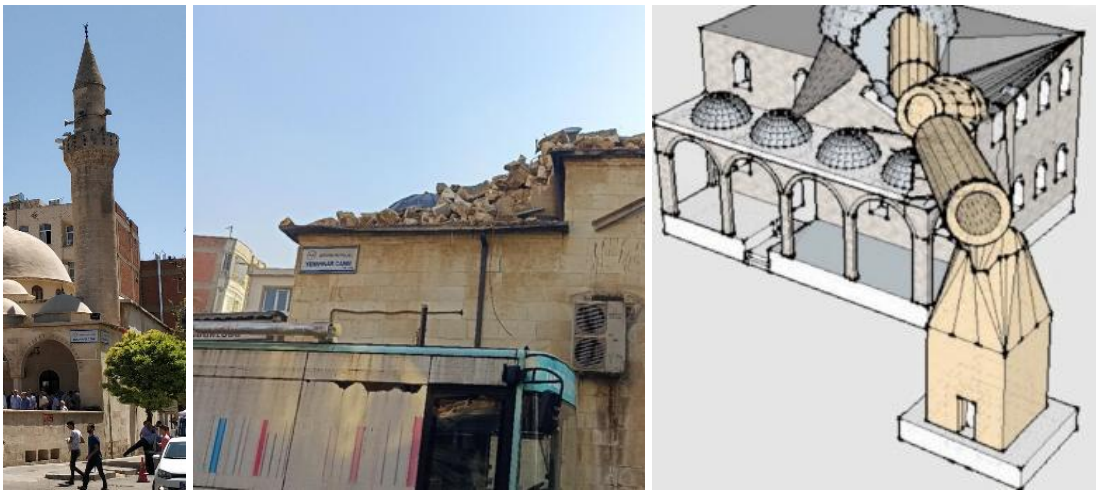
Görsel 4. Adıyaman Kab Cami minaresi

Adıyaman ilin en önemli tarihi simgelerinden bir olan ve şehir merkezinde bulunan Adıyaman Ulu Cami, bitişik nizamda inşa edilmiş olup, tek şerefelidir. Bu minare depremde toptan göçmeye maruz kalmıştır. Bu minareye ait deprem öncesi, sonrası ve deprem sonrası hasarın şematik gösterimi Görsel 5'te yapılmıştır.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Görsel 5. Adıyaman Ulu Cami minaresi

Adıyaman il merkezinde yer alan Yenipınar Camisi'ne ait yığma tarzda inşa edilen tek şerefeli minaredir. Camiye bitişik nizamda inşa edilen minare, cami ile bitişiminin bittiği bölgeden itibaren düzlem dışı hareket ederek camiye de hasar vermiştir. Bu minareye ait deprem öncesi, sonrası ve deprem sonrası hasarın şematik gösterimi Görsel 6'da yapılmıştır.



Görsel 6. Yenipınar Cami minaresi

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Toptan göçmeye maruz kalan minarelerden biri de Adıyaman Çarşı Camisine ait yığma minaredir. Bu minareye ait deprem sonrası hasarı ve deprem sonrası hasarın şematik gösterimi Görsel 7'de yapılmıştır.

Görsel 7. Çarşı Cami minaresi

Bu çalışma son olarak dikkate alınan tarihi yığma minare, Adıyaman iline bağlı Tut ilçesinde yer alan ve tek şerefeli olarak inşa edile Tut Ulu Cami'si minaresidir. Bitişik nizamda inşa edilen minare cami ile bitişiminin bittiği bölgeden itibaren düzlem dışı hareket ederek camiye de hasar vermiştir. Bu minareye ait deprem öncesi, sonrası ve deprem sonrası hasarın şematik gösterimi Görsel 8'de yapılmıştır.

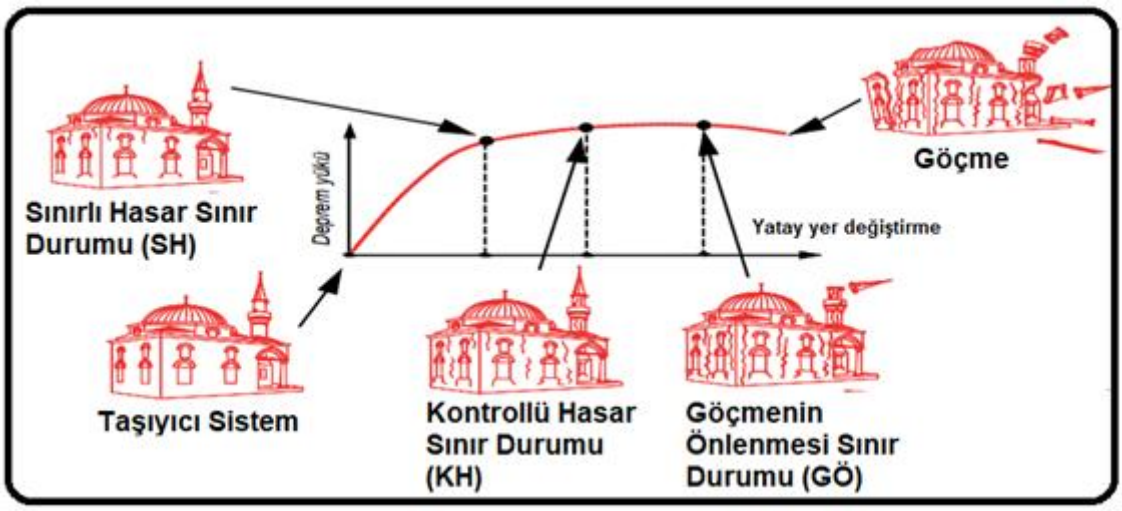
Görsel 8. Tut Ulu Cami minaresi

Minareler genel olarak herhangi bir mühendislik hizmeti almadan yöresel minare ustaları tarafından inşa edilmektedirler. Dolaysı ile uzun ve narin olmaları, kullanılan malzeme dayanımlarının da düşük olması minare ve camilerdeki hasar seviyesini doğrudan etkilemiştir. Hatalı tasarım noktasında kare formundan dairesel forma geçiş bölgesinde yeterli bağlantı sağlanamamasından dolayı minareler de hasar meydana gelmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen tarihi cami minareleri için Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetim Kılavuzu içeriğinde yer alan göreceli sünek taşıyıcı sistemler için performans düzeyleri dikkate alınarak her bir Ulu

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

cami için deprem performansı öngörülmüştür. Bu kılavuzda bu tür yapılar için öngörülen deprem performans düzeyleri Görsel 9'da gösterilmiştir.



Görsel 9. Göreceli sünek taşıyıcı sistemde (yapı) performans düzeyleri (TYDRYK-2017)

Bu çalışma kapsamında dikkate alınan yedi farklı tarihi yığma minarenin altı adedi göçme düzeyi performans seviyesindeyken, Kurşunlu Cami Minaresi ise göçmenin önlenmesi sınır durumu performans düzeyindedir.

3. SONUÇLAR

2023 Kahramanmaraş deprem çiftinin farklı yapısal sistemlerde depremlerin yıkıcı etkisi cami ve minare türü yapılarda da açıkça gözlemlenmiştir. Bu çalışma kapsamında Adıyaman il ve ilçelerinde yer alan yedi farklı tarihi camiye ait yığma tarzda inşa edilen minare dikkate alınmıştır. İncelenen tüm cami minarelerinin tamamı tek şerefeli olarak yığma tarzda inşa edilmiş olup toptan göçme ve göçmenin önlenmesi performans düzeyi göstermişlerdir. İncelenen tarihi cami minarelerde gözlemsel olarak gerçekleştirilen hasar tespitleri ve değerlendirmeleri dikkate alındığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

• Minarelerde geçiş bölgelerinde kesitler değişmekte ve kesit süreksizliğine neden olmakta bu durumda hasarlara neden olmaktadır.

• Özellikle yığma olarak inşa edilen yapılarda kullanılan malzemelerin çekme ve kayma gerilemeleri oldukça düşük kalmakta olup bu da hasar seviyelerini doğrudan etkilemektedir.

• Yığma tarzda inşa edilen minarelerde kenet ve zıvana uygulamalarına dikkat edilmelidir.

• Bitişik nizamda inşa edilen minarelerin cami üzerinde devrilmesi sonucu cami ve kubbelerde değişik düzeylerde hasarlara neden olmuştur.

Tarihi yığma minarelerin yüksek narinlik oranları ve kütle merkezlerinin yukarıda konumlanması, bu yapıları sismik etkiler altında düzlem dışı devrilme, kesme çatlakları ve gövde burulması gibi ağır yapısal patolojilere karşı oldukça kırılgan kılmaktadır; bu hasarların kökeninde ise genellikle kaide ile gövde arasındaki rijitlik uyumsuzlukları, bağlayıcı harçların zamanla mukavemetini yitirmesi ve malzemenin çekme gerilmelerini karşılama kapasitesindeki yetersizlikler yer almaktadır. Bu risklerin minimize edilmesi amacıyla uygulanacak güçlendirme stratejileri, yapının özgün dokusuna zarar vermeyen paslanmaz çelik gergilerle kuşaklama, karbon fiber takviyeli polimer sargı teknikleri ve yapısal bütünlüğü artıran harç enjeksiyonu gibi yöntemleri kapsamalıdır. Müdahalelerin minimum müdahale ve geri döndürülebilirlik prensiplerine sadık kalarak, yapısal sağlık izleme sensörleriyle desteklenen proaktif bir koruma yaklaşımıyla yürütülmesi, bu anıtsal mirasın sismik güvenliğinin sürdürülebilir kılınması ve teknik değerinin gelecek nesillere eksiksiz aktarılması açısından hayati bir zorunluluktur.

Katkı Belirtme

Bu bilimsel çalışmada sunulan bazı sonuçlar, “HEIstorical-Strengthening Green and Digital Capacities in Higher Education Through Collaboration in Integrating Historical Buildings into a Sustainable and Digital Future” başlıklı proje kapsamında yürütülen araştırma faaliyetleri sonucunda elde edilmiştir (https://heistorical.unitbv.ro, erişim tarihi: 15 Aralık 2025). Söz konusu proje, Erasmus+ KA220-HED-Yükseköğretimde İş Birliği Ortaklıkları programı kapsamında Avrupa Birliği tarafından ortaklaşa finanse edilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Ademović, N., Hadzima-Nyarko, M., Zagora, N., *Seismic vulnerability assessment of masonry buildings in Banja Luka and Sarajevo (Bosnia and Herzegovina) using the macroseismic model*, Bulletin of Earthquake Engineering, August, 18,8, 2020.

[2] Akar, F., Işık, E., Avcil, F., Büyüksaraç, A., Arkan, E., İzol, R., *Geotechnical and structural damages caused by the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes in Gölbaşı (Adıyaman)*, Applied Sciences, March, 14,5, 2024.

[3] Atmaca, B., Ertürk Atmaca, E., Roudane, B., Güleş, O., Demirkaya, E., Aykanat, B., Akgül, T., *Field observations and numerical investigations on seismic damage assessment of RC and masonry minarets during the February 6th, 2023*

Kahramanmaraş earthquakes in Türkiye, International Journal of Architectural Heritage, July, 19,7, 2025.

[4] Avcil, F., Işık, E., İzol, R., Büyüksaraç, A., Arkan, E., Arslan, M. H., Harirchian, E., *Effects of the February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquake on structures in Kahramanmaraş city*, Natural Hazards, March, 120,3, 2024.

[5] Avğın, S., Köse, M., *Mosques and minarets damages in the earthquakes on February 6, 2023*, Proceedings of the 3rd International Civil Engineering & Architecture Conference, 2023.

[6] Bilgin, H., Ramadani, F., *Numerical study to assess the structural behavior of the Bajrakli Mosque (Western Kosovo)*, Advances in Civil Engineering, January, 2021.

[7] Çalık, İ., *Observational damage determinations and size–damage relationship for masonry stone minarets after the earthquakes of February 6, 2023*, Engineering Computations, October, 42,10, 2025.

[8] Çaktı, E., Oliveira, C. S., Lemos, J. V., Saygılı, Ö., Görk, S., Zengin, E., *Earthquake behavior of historical minarets in Istanbul*, 4th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, June, 2013.

[9] Demirtaş, B., Yanik, Y., Aymelek, A., Türker, T., Yıldırım, Ö., *Modal testing and full-scale seismic evaluation of a historical minaret according to 2023 Kahramanmaraş earthquake and TBEC 2018 design spectrum*, Engineering Computations, April, 42,4, 2025.

[10] Dilsiz, A., Kocaman, İ., Mercimek, Ö., Ismail, S. H., Çelik, A., Anıl, Ö., *Field observations and numerical modeling of the collapse mechanism of the Habibi Neccar Mosque during the 2023 Kahramanmaraş earthquakes*, Engineering Failure Analysis, 2025.

[11] Dogangun, A., Acar, R., Sezen, H., Livaoglu, R., *Investigation of dynamic response of masonry minaret structures*, Bulletin of Earthquake Engineering, September, 6,3, 2008.

[12] Erkek, H., Yetkin, M., *Assessment of the performance of a historic minaret during the Kahramanmaraş earthquakes (Mw 7.7 and Mw 7.6)*, Structures, December, 58, 2023.

[13] Işık, E., Avcil, F., Harirchian, E., Arkan, E., Bilgin, H., Özmen, H. B., *Architectural characteristics and seismic vulnerability assessment of a historical masonry minaret*

under different seismic risks and probabilities of exceedance, Buildings, August, 12,8, 2022.

[14] Işık, E., Avcil, F., Arkan, E., Büyüksaraç, A., Izol, R., Topalan, M., *Structural damage evaluation of mosques and minarets in Adıyaman due to the 06 February 2023 Kahramanmaraş earthquakes*, Engineering Failure Analysis, October, 151, 2023.

[15] Işık, E., Ademović, N., Harirchian, E., Avcil, F., Büyüksaraç, A., Hadzima-Nyarko, M., Antep, B., *Determination of natural fundamental period of minarets by using artificial neural network and assess the impact of different materials on their seismic vulnerability*, Applied Sciences, January, 13,2, 2023.

[16] Işık, E., Avcil, F., Büyüksaraç, A., *06 Şubat 2023 Depremlerinin Camilerdeki Etkisi Üzerine Bir Çalışma*, EU 4th International Conference on Health, Engineering and Applied Sciences, April, 2024.

[17] Jadallah, M., Almustafa, M. K., Doğangün, A., Nehdi, M. L., *Nonlinear analysis of historical Toptaş minaret and FRP strengthening for sequence earthquake events*, Journal of Building Pathology and Rehabilitation, January, 10,1, 2025.

[18] Kocaman, İ., *Examination of the damage limits and collapse mechanism of Adıyaman Ulu Mosque with finite element model*, Structures, December, 70, 2024.

[19] Kocaman, İ., Mercimek, Ö., Gürbüz, M., Erbaş, Y., Anıl, Ö., *The effect of Kahramanmaraş earthquakes on historical Malatya Yeni Mosque*, Engineering Failure Analysis, May, 161, 2024.

[20] Kocaman, İ., *The effect of the Kahramanmaraş earthquakes (Mw 7.7 and Mw 7.6) on historical masonry mosques and minarets*, Engineering Failure Analysis, July, 149, 2023.

[21] Kocaman, İ., Gedik, B., Okuyucu, D., *The effects of the Kahramanmaraş earthquakes on historical masonry minarets in Hatay, Türkiye*, Sādhanā, March, 50,3, 2025.

[22] Milani, G., *Vulnerability evaluation of historical masonry structures: Italian churches and towers*, Structural Analysis of Historical Constructions: An Interdisciplinary Approach, 2019.

[23] Mişe, O., Işık, E., Arkan, E., Avcil, F., *Structural and Rapid Assessment of Registered Historical Mosques; a Case Study for Bitlis*, International Conference on Organization and Technology of Maintenance, December, 2024.

[24] Onat, O., Özmen, A., Özdemir, E., Sayın, E., *Damage propagation and failure mechanism of single dome historical masonry mosque after February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquake doublets*, Structures, November, 69, 2024.

[25] Onat, O., Deniz, F., Özmen, A., Özdemir, E., Sayın, E., *Performance evaluation and damage assessment of historical Yusuf Ziya Pasha Mosque after February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquakes*, Structures, December, 58, 2023.

[26] Soyluk, A., Demircan, B., *An architectural review of the behavior of historical masonry minarets under earthquake load on mosque samples damaged in the 6 February Kahramanmaraş earthquake*, Journal of Architectural Sciences and Applications, December, 8, 2023.

[27] Tarhan, İ. H., *Stepwise FRP strengthening of historical masonry minarets: Nonlinear seismic assessment based on a minaret collapsed during the 2023 Kahramanmaraş earthquakes*, Engineering Failure Analysis, 2025.

[28] Trešnjo, F., Humo, M., Casarin, F., Ademović, N., *Experimental investigations and seismic assessment of a historical stone minaret in Mostar*, Buildings, February, 13,2, 2023.

[29] Tüysüz, A., Peker, K., *Enhancing Earthquake Resilience of Historical Monuments: A Comparative Study for the 2023 Kahramanmaraş Earthquake*, International Conference on Protection of Historical Constructions, March, 2025.

[30] Usta Evci, P., Sever, A. E., Şakalak, E., Karimzadeh, S., Lourenço, P. B., *Seismic Damage Assessment of Minarets: Insights from the 6 February 2023 Kahramanmaraş Earthquakes, Türkiye*, Buildings, December, 15,23, 2025.

[31] Valente, M., Milani, G., Grande, E., Formisano, A., *Historical masonry building aggregates: advanced numerical insight for an effective seismic assessment on two row housing compounds*, Engineering Structures, July, 190, 2019.

[32] Yılmaz, S., Arslan, M., Demir, A. D., Yılmaz, E. İ., Cebir, F., Aydın, Ç., Demir, S., *Seismic damage assessment of historical mosquesminarets in Antakya/Türkiye after the February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquake sequence*, Engineering Failure Analysis, 2025.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

FARKLI DONATI YERLEŞİM ŞEKİLLERİNİN EKSENEL YÜK ALTINDAKİ BETONARME KOLON DAYANIMINA ETKİSİ

[1]Zainab Nafea ABDULRAHMAN ABDULRAHMAN

[1]Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Sakarya/Türkiye

Mail: zeynepnafea@hotmail.com

ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-6025-3759

[2]Muhammed Zeki ÖZYURT

[2]Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Sakarya/Türkiye

Mail: ozyurt@sakarya.edu.tr

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1593-4581

[3]Furkan EREN,

[3]Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Sakarya/Türkiye

Mail: furkaneren54@hotmail.com

ORCID ID: https://orcid.org/0009-0000-0184-0560

[4]Ömer Fatih SANCAK

[4]Doğuş Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İstanbul/Türkiye

Mail: osancak@dogus.edu.tr

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-9597-0450

Özet: Bu çalışmada, farklı boyuna donatı düzenleri ve enine donatı aralıklarının eksenel basınç altındaki betonarme kolonların davranışı üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, 12 × 15 cm dikdörtgen kesitli ve 150 cm uzunluğunda, C30 sınıfı hazır beton kullanılarak üretilen kolon numuneleri test edilmiştir. Deneysel parametreler olarak iki farklı boyuna donatı dizilimi (4Ø12 ve 6Ø10) ile iki farklı enine donatı aralığı (10 cm ve 20 cm) belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, enine donatı aralığının 10 cm'den 20 cm'ye çıkarılmasının sargılama etkisini zayıflattığını ve tüm numune gruplarında nihai taşıma kapasitesini %5,02 ile %5,56 arasında düşürdüğünü göstermiştir. Toplam donatı alanlarının birbirine yakın olduğu durumda, boyuna donatıların kesit çeperine daha homojen dağıtıldığı TİP-B (6Ø10) konfigürasyonu, TİP-A (4Ø12) düzenine kıyasla ortalama %1,58oranında daha yüksek yük taşıma performansı sergilemiştir. En yüksek taşıma kapasitesi 707.834,6 N ile 10 cm enine donat aralığına sahip TİP-B numunesinde elde edilmiştir. Sonuçlar, betonarme kolon tasarımında donatı miktarının yanı sıra yerleşim düzeninin ve sargılama yoğunluğunun yapısal dayanım üzerinde kritik bir öneme sahip olduğunu doğrulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sargılama etkisi, Eksenel taşıma kapasitesi, Boyuna donatı konfigürasyonu, Etriye sıklaştırması, Betonarme kolon davranışı.

Effect of Different Reinforcement Layouts on the Strength of Reinforced Concrete Columns Under Axial Load

Summary: In this study, the effects of different longitudinal reinforcement arrangements and transverse reinforcement spacings on the behavior of reinforced concrete columns under axial compression were experimentally investigated. Within the scope of the study, column specimens with a rectangular cross-section of 12 × 15 cm and a length of 150 cm, produced using C30 concrete, were tested. Two different longitudinal reinforcement arrangements (4Ø12 and 6Ø10) and two different transverse reinforcement spacings (10 cm and20 cm) were selected as experimental parameters. The findings showed that increasing the transverse reinforcement spacing from 10 cm to 20 cm weakened the confinement effect and reduced the ultimate load-carrying capacity by %5,02 to %5,56 across all specimen groups. When the total reinforcement areas were similar, configuration TYPE-B (6Ø10), in which the longitudinal reinforcement was more uniformly distributed along the cross-sectional perimeter, exhibited an average load-carrying performance 1,58% higher than that of configuration TYPE-A (4Ø12). The highest load-carrying capacity was obtained in specimen TYPE-B with a transverse reinforcement spacing of 10 cm, reaching 707,834.6 N. The results confirm that, in reinforced concrete column design, not only the amount of reinforcement but also its arrangement and confinement density are critical to structural strength.

Keywords: Confinement effect, Axial load-carrying capacity, Longitudinal reinforcement arrangement, Stirrup densification, Reinforced concrete column behavior.

1. GİRİŞ

Betonarme yapılar; köprülerden tünellere, barajlardan nükleer santrallere ve yüksek binalara kadar modern mühendisliğin çok çeşitli alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu devasa yapıların güvenliği ve stabilitesi için en kritik bileşenlerden biri olan betonarme kolonlar, eksenel yük altında sergiledikleri mekanik davranış ve hasar mekanizmaları açısından tasarım sürecinde özel bir öneme sahiptir. Betonarme kolonların taşıma kapasitesi ve deformasyon özellikleri; beton dayanımı, boyuna donatı oranı, enine donatı miktarı ve donatı yerleşim düzeni gibi birçok parametreden etkilenmektedir.

Taşıyıcı sistem elemanlarının kapasite hesaplarının doğru şekilde belirlenmesi, binaya etkiyen düşey ve yatay yüklerin güvenli bir şekilde aktarılması açısından hayati önem taşımaktadır. Betonlar düşük çekme dayanımına sahip yapı malzemeleri olmakla birlikte, çelik enine ve boyuna donatıları ile birlikte kullanıldıklarında belirli bir düzeyde sünek davranış sergileyebilmektedir (De Domenico ve ark., 2019). Özellikle ülkemizdeki mevcut betonarme yapı stokunda beton basınç dayanımının proje değerlerinden düşük olması ve donatı

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

detaylandırma hataları, yapısal kapasiteyi doğrudan etkileyen temel kusurlar arasında yer almaktadır (Esen ve ark., 2022).

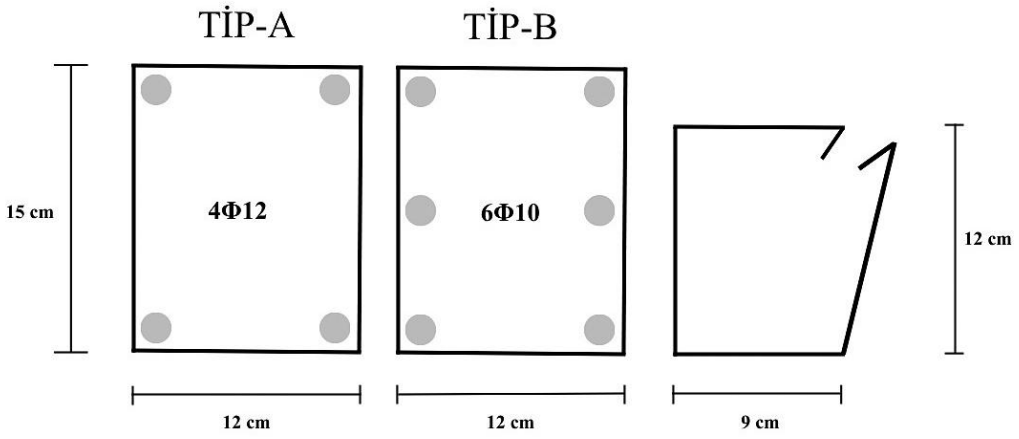
Eksenel yük altındaki kolonlarda boyuna donatılar taşıma kapasitesine doğrudan katkı sağlarken, enine donatılar beton çekirdeğini çevreleyerek sargılama etkisi yaratmaktadır. Bu sargılama mekanizması; boyuna donatıların burkulmasını önlemek, gevrek kesme hasarını engellemek ve beton çekirdeğinin yanal genleşmesini sınırlandırarak sünekliği artırmak gibi üç temel fonksiyona sahiptir. Bu bağlamda, kesit içerisindeki donatıların yerleşim biçimi ve enine donatı aralığı, beton çekirdeğinin etkin şekilde çevrelenmesi ve yük aktarım mekanizması üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (Paultre ve Légeron 2008).

Bu çalışmada, farklı boyuna donatı düzenleri ve enine donatı aralıklarının betonarme kolonların eksenel basınç altındaki davranışı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla betonarme kolon numuneleri üretilmiştir. Araştırma kapsamında iki farklı boyuna donatı yerleşim tipi ve iki farklı enine donatı aralığı kullanılarak, bu parametrelerin kolon nihai dayanımına olan katkıları deneysel olarak irdelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, farklı boyuna donatı düzenleri ve enine donatı aralıklarının betonarme kolonların eksenel basınç altındaki davranışı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla betonarme kolon numuneleri üretilmiştir. Deney numuneleri 12 cm × 15 cm dikdörtgen kesitli ve 150 cm uzunluğunda olacak şekilde hazırlanmıştır. Numunelerde beton malzemesi olarak C30 sınıfı hazır beton kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında kolon numunelerinde iki farklı boyuna donatı düzeni kullanılmıştır. Bu düzenler sırasıyla 4Ø12 (TİP-A) ve 6Ø10 (TİP-B) olarak belirlenmiş olup boyuna donatı yerleşimleri Görsel 1'de gösterilmiştir.



Görsel 1. Deney numunelerinde kullanılan boyuna donatı yerleşim tipleri ve kolon kesit geometrisi.

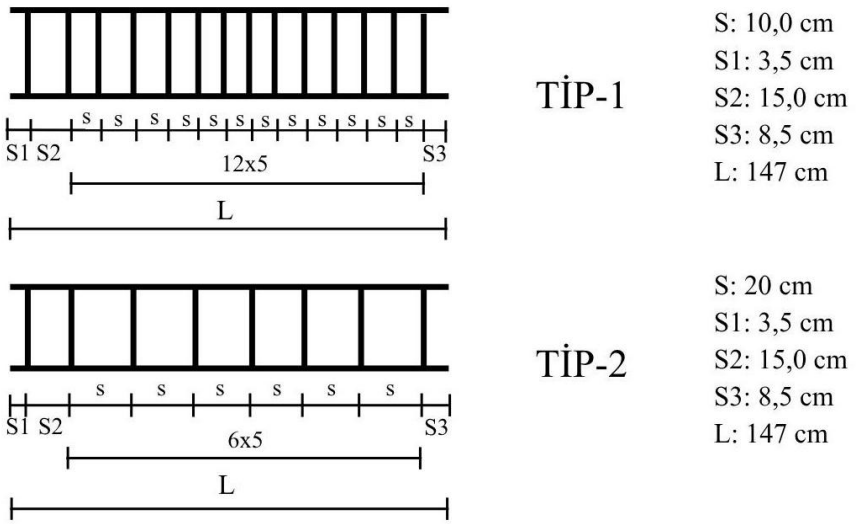
Boyuna donatı yerleşim şeklinin yanı sıra enine donatı aralığının etkisini incelemek amacıyla kolon numunelerinde 10 cm ve 20 cm olmak üzere iki farklı enine donatı aralığı kullanılmıştır. Numunelerde kullanılan enine donatılar, Ø8 mm çapında ve 52 cm uzunluğunda üretilmişlerdir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Etriyelerin imalatında 1,5 cm pas payı bırakılmış, kanca boyları 5 cm olacak şekilde 135° açıyla bükülmüştür.

Deney numunelerinde enine donatılar kolon boyunca eşit aralıklarla yerleştirilmiş ve enine donatı yerleşim düzeni uç bölgelerde belirli mesafeler bırakılarak düzenlenmiştir. Buna göre enine donatı yerleşiminde ilk enine donatının kolon ucuna uzaklığı S1 = 3,5 cm, ikinci enine donatının konumu S2 = 15 cm ve son enine donatının uç mesafesi S3 = 8,5 cm olacak şekilde belirlenmiştir. Kolon boyunca enine donatılar arasındaki mesafe ise S ile ifade edilmiştir.

Çalışma kapsamında iki farklı enine donatı aralığı tipine sahip numuneler hazırlanmıştır. TİP-1 numunelerinde enine donatı aralığı S = 10 cm, TİP-2 numunelerinde ise S = 20 cm olarak belirlenmiştir. Kolon boyunca yerleştirilen enine donatı sayıları buna bağlı olarak değişmekte olup, TİP-1 numunelerinde 12 adet, TİP-2 numunelerinde 6 adet enine donatı kullanılmıştır. Enine donatı yerleşim düzeni ve kolon boyunca dağılımı Görsel 2'de gösterilmiştir. Deney numunelerinde kullanılan boyuna donatı düzenleri ve toplam donatı alanları ise Çizelge 1'de verilmiştir. Deney numunelerinde kullanılan boyuna donatı düzenleri ve toplam donatı alanları ise Çizelge 1'de verilmiştir.



Görsel 2. Deney numunelerinde kullanılan enine donatı aralığı tipleri ve kolon boyunca enine donatı yerleşim düzeni.

Çizelge 1: Deney numunelerinin boyuna donatı konfigürasyonları ve toplam donatı alanları

Yerleşim Tipi	Donatı Detayı	Toplam Donatı Alanı (As)
TİP-1	4Ø12	452,4 mm^2
TİP-2	6Ø10	471,2 mm^2

3. BULGULAR

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Deney numunelerinden elde edilen eksenel taşıma kapasitesi verileri, donatı düzeni ve enine aralığının kolon performansı üzerindeki etkisini sayısal olarak ortaya koymaktadır. Toplam boyuna donatı alanları; TİP-A (4Ø12) için 452,4 mm^2 ve TİP-B (6Ø10) için 471,2 mm^2 olarak hesaplanmıştır. Boyuna donatı düzeni, enine donatı aralığı, kanca açısı değerleri ve numunelerin nihai taşıma kapasiteleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1: Betonarme kolonların tasarım özellikleri ve maksimum taşıma kapasitesi

BOYUNA DONATI DÜZENİ	ENİNE DONATI ARALIĞI (CM)	ENİNE DONATI KANCA AÇISI	NİHAİ TAŞIMA KAPASİTESİ (N)
4Ø12	10	135°	698794.6
4Ø12	20	135°	659907.5
6Ø10	10	135°	707834.6
6Ø10	20	135°	672269.5

3.1. Enine Donatı Aralığının Nihai Dayanıma Etkisi

Enine donatı aralığının değiştirilmesi, tüm donatı konfigürasyonlarında nihai taşıma kapasitesi üzerinde belirleyici bir rol oynamıştır. Elde edilen veriler, sargılama etkisinin azalmasına bağlı olarak dayanımda aşağıdaki sonuçların meydana geldiğini göstermektedir:

- **TİP-A (4Ø12):** Enine donatı aralığı 10 cm'den 20 cm'ye çıkarıldığında nihai taşıma kapasitesi %5,56 oranında azalmıştır.
- **TİP-B (6Ø10):** Enine donatı aralığı 10 cm'den 20 cm'ye çıkarıldığında nihai taşıma kapasitesi %5,02 oranında azalmıştır.

Etriye aralığının 10 cm'den 20 cm'ye çıkarılmasına bağlı olarak kaydedilen %5,02 ile %5,56 arasındaki kapasite kaybı, literatürdeki sargılama verimliliği düşüşüyle uyumludur. Abd-Elhamed ve Owida (2019), etriye yoğunluğunun artırılmasının yanal genleşmeyi dizginleyerek taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığını; yoğunluğun azalmasının ise kapasite kaybını kaçınılmaz kıldığını ortaya koymuştur. Bu bulguyu destekleyen Gramblička ve Verény (2013), enine donatı sıklaştırmasının boyuna donatıların burkulma boyunu kısaltarak elemanın stabilitesini artırdığını vurgulamıştır. Deneylerimizde gözlemlenen dayanım düşüşleri, literatürde belirtilen sargılama kafesi yoğunluğunun azalması ve beton çekirdeğinin etkin şekilde hapsedilememesi olgusuyla örtüşmektedir.

3.2. Boyuna Donatı Konfigürasyonlarının Nihai Taşıma Kapasitesi Üzerindeki Etkisi

Betonarme kolonlarda boyuna donatıların kesit içerisindeki yerleşim düzeni, sargılama mekanizmasının etkinliği ve eksenel yük taşıma kapasitesi üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Elde edilen veriler, toplam donatı alanları birbirine yakın olmasına rağmen, donatı dizilimindeki farklılıkların nihai dayanım üzerinde aşağıdaki sonuçların meydana geldiğini göstermektedir:

- **10 cm Sabit Enine Donatı Aralığında**: TİP-B yerleşimi kullanıldığında nihai taşıma kapasitesi, TİP-A yerleşimine göre %1,29 oranında daha yüksek sonuç vermiştir.

- **20 cm Sabit Enine Donatı Aralığında:** TİP-B yerleşim kullanıldığında nihai taşıma kapasitesi, TİP-A yerleşimine göre %1,87 oranında daha yüksek sonuç vermiştir.

Toplam donatı alanlarının birbirine yakın olduğu durumda, donatı dizilimindeki farklılıkların kapasite üzerindeki etkisi literatürdeki teorik beklentilerle örtüşmektedir. Merter ve Uçar (2015), boyuna donatı oranındaki artışın kesitin eksenel basınç ve eğilme momenti kapasitesini doğrudan artırdığını ortaya koymuştur. Çalışmada ayrıca, eksenel yük seviyesine bağlı olarak boyuna donatının enerji tüketimi ve süneklik üzerindeki kritik rolü de vurgulanmaktadır. Bu çalışmada TİP-B (6Ø10) düzeninde elde edilen %1,58'lik performans artışı, boyuna donatıların kesit içindeki etkin dağılımının kapasite artışına sağladığı katkıyı ve tasarım aşamasındaki önemini akademik olarak doğrulamaktadır.

4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında; iki farklı boyuna donatı yerleşim düzeni ile iki farklı enine donatı aralığının betonarme kolonların eksenel taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Yapılan deneysel çalışma sonucunda, enine donatı aralığının 10 cm'den 20 cm'ye çıkarılmasının her iki donatı grubunda da nihai taşıma kapasitesini düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu kapasite kaybı TİP-A numunelerinde %5,56, TİP-B numunelerinde ise %5,02 olarak kaydedilmiştir
- İncelenen iki donatı konfigürasyonu arasında en yüksek taşıma kapasitesi değeri, 10 cm enine donatı aralığına sahip TİP-B numunesinde elde edilmiştir.
- Kesit içerisinde daha fazla sayıda donatı çubuğunun kullanıldığı TİP-B yerleşim düzeni, daha az sayıdaki donatı içeren TİP-A'ya kıyasla tüm senaryolarda ortalama %1,58 oranında daha yüksek yük taşıma performansı sergilemiştir.
- Toplam donatı alanlarının birbirlerine yakın olmasına rağmen numuneler arasında gözlemlenen farklar, donatıların kesit içindeki yerleşim biçiminin ve sargılama yoğunluğunun kapasite üzerinde kritik öneme sahip olduğunu göstermiştir.
- Betonarme kolon tasarımında enine donatı sıklığının artırılmasının, beton çekirdeğinin yanal genleşmesini etkin şekilde sınırlandırarak yapısal dayanımı artırdığı doğrulanmıştır.

5. KAYNAKÇA

Abd-Elhamed, M. K., & Owida, M. E. (2019, August). Effect of stirrups densification on ultimate capacity of rectangular reinforced concrete columns. In Structures (Vol. 20, pp. 728-764). Elsevier.

Domenico, D. D., Falliano, D., & Ricciardi, G. (2019). Confinement effect of different arrangements of transverse reinforcement on axially loaded concrete columns: An experimental study. Journal of the Mechanical Behavior of Materials, 28(1), 13-19.

Esen, B., Gündoğay, A., Yaman, S., Kabaş, H. T., & Demir, F. (2022). BETONARME KİRİŞLERİN DAVRANIŞINI ETKİLEYEN PARAMETRELERİN DENEYSEL İNCELENMESİ. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 27(3), 1043-1060.

Gramblička, Š., & Veróny, P. (2013). Transverse Reinforcement in Reinforced Concrete Columns. Selected Scientific Papers: Journal of Civil Engineering, 8(2).

Merter, O., & Uçar, T. (2015). Betonarme kesitlerin doğrusal elastik ötesi davranışında tüketilen enerjiye boyuna donatı oranının, enine donatı aralığının ve eksenel yükün etkisi. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4(1), 21-39.

Paultre, P., & Légeron, F. (2008). Confinement reinforcement design for reinforced concrete columns. Journal of structural engineering, 134(5), 738-749.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

TOPLULUK ÖĞRENME YAKLAŞIMI İLE KİMLİK AVI WEB SİTELERİNİN TESPİTİ

Öğr. Gör. Dr. Celal CAN
Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, ccan@atu.edu.tr – 0000-0002-7631-8934

ÖZET

Kimlik avı saldırıları, kullanıcıların finansal ve kişisel bilgilerini ele geçirmek amacıyla oluşturulan sahte web siteleri aracılığıyla gerçekleştirilen önemli siber güvenlik tehditlerinden biridir. Bu tür saldırılar hem bireyler hem de kurumlar açısından ciddi bilgi güvenliği riskleri oluşturmaktadır. Bu nedenle kimlik avı web sitelerinin hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesi siber güvenlik alanında kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Bu çalışmada, kimlik avı web sitelerinin tespit edilmesi amacıyla makine öğrenmesi yöntemlerine dayalı voting tabanlı bir ensemble öğrenme yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen modelde farklı sınıflandırma algoritmalarının güçlü yönlerinden yararlanmak amacıyla Destek Vektör Makinesi, K-En Yakın Komşuluk, Karar Ağacı, Rastgele Orman ve Lojistik Regresyon algoritmaları temel sınıflandırıcılar olarak kullanılmıştır. Bu modeller tarafından üretilen tahminler voting mekanizması ile birleştirilerek nihai sınıflandırma sonucu elde edilmiştir. Çalışmada kimlik avı ve meşru web sitelerine ait çeşitli özellikleri içeren bir veri kümesi kullanılmıştır. Oluşturulan modeller eğitilmiş ve performansları doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skoru gibi yaygın sınıflandırma performans ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, voting tabanlı ensemble modelin tekil makine öğrenmesi algoritmalarına kıyasla daha rekabetçi ve kararlı bir sınıflandırma performansı sunduğunu göstermektedir. Bu bağlamda önerilen yaklaşımın kimlik avı web sitelerinin tespitinde etkili bir çözüm sunarak siber güvenlik ve bilgi güvenliği alanlarına katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kimlik Avı Tespiti, Makine Öğrenmesi, Ensemble Öğrenme, Voting Sınıflandırıcı, Siber Güvenlik.

1. GİRİŞ

Günümüzde insanların alışveriş, fatura ödeme, kayıt olma gibi birçok işlerini gerçekleştirmek için internet sitelerini kullanıyor olması, dijital teknolojilerin de yaygınlaşmasıyla birlikte siber saldırılara maruz kalmalar kaçınılmaz hale gelmiştir. İnsanların duygularının manipüle edilmesi ile başlayan çeşitli siber saldırı yöntemlerinden biri de kimlik avı saldırılarıdır. Kimlik avı saldırılarında amaç, insanların finansal bilgilerini veya kişisel bilgilerini ele geçirmektir. Bunun için de kimlik avı saldırılarında sahte web siteleri kullanılır. Saldırganlar insanları güvenilir görünümlü web sitelerine yönlendirerek kredi kartı bilgileri, kullanıcı giriş bilgileri veya diğer kişisel bilgilere ulaşmaya çalışır. Bu durumda bireyler açısından ciddi bilgi güvenliği açığı ortaya çıkmaktadır.

Kimlik avı saldırıları banka, sosyal medya platformu veya online alışveriş sitesi gibi genellikle güvenilir bir kurumun web arayüzünü birebir taklit eden sahte web siteleri aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Kullanıcıların kişisel bilgileri veya kredi kartı bilgileri gibi hassas bilgilerini bu sahte web sitelerine girmeleri konusunda yönlendirme yapılmak suretiyle manipüle edilmesi sağlanır. Güvenlik yaklaşımları sadece daha önceden tespit edilen zararlı web sitelerini belirleyip engelleyebilmekte, ancak yeni ortaya çıkan (zero day olarak tabir edilen saldırılar) tehditler karşısında yetersiz kalabilmektedir. Bu sebeple, özellikle son yıllarda web sitelerinin içerik analizlerinin, yapısal ve URL özelliklerinin kullanılarak tehditlerin tespit edilmesini sağlayan makine öğrenmesi tabanlı yöntemler, kimlik avı web sitelerinin tespit edilmesinde etkin bir çözüm olarak öne çıkmıştır [1], [2], [3].

Literatürde, kimlik avı web sitelerinin tespitine yönelik çeşitli makine öğrenmesi algoritmalarının kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır [4]. Purna Chinta ve arkadaşları, büyük ölçekli bir kimlik avı e-posta veri kümesi kullanarak, kimlik avı e-postalarını tespit etmek için gelişmiş makine öğrenimi modellerini oluşturulmuş ve değerlendirmiştir. Yazarlar, yaptıkları çalışmada gerçek zamanlı kimlik avı e-posta tespit sistemlerindeki potansiyeli vurgulayarak, kimlik avı tehditlerini etkili bir şekilde azaltmak için güvenilir bir çözüm sundular [5]. Kousik Barik, Sanjay Misra ve Raghini Mohan çalışmalarında yeni bir veri seti oluşturmuş, web kimlik avını tespit etmek için derin öğrenme tekniklerini optimize ederek Gelişmiş Izgara Arama Optimizasyonu ile Evrişimsel Sinir Ağı modeli önermiştir [6].

Ayrıca, son yıllarda derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar da kimlik avı tespiti alanında kullanılmaya başlanmıştır [7], [8]. Soudabe Mousavi ve Mahdi Bahaghighat yayınladıkları makalede hem derin öğrenme hem de makine öğrenmesi algoritmaları ile dört farklı senaryo test ettiler. Dört senaryonun sonuçları, hangi algoritmanın yasal ve yasadışı web siteleri arasında ayrım yapmada daha iyi performans gösterdiğini belirlemek için karşılaştırdılar [3]. Rachid Bourigue, Driss Ait Omar ve Hicham Zougagh Derin Sinir Ağı tabanlı yeni kimlik avı URL tespit modelleri sunmuştur [9]. Venkataswamy Naidu Gangineni ve arkadaşları, iki kıyaslama veri setleri üzerinde Evrişimsel Sinir Ağları kullanarak kimlik avı URL'lerinin tanımlanması için derin öğrenmeye dayalı bir yöntem önermiştir. Elde ettikleri bulgular, Evrişimsel Sinir Ağlarının dinamik tehdit ortamlarında gerçek zamanlı, uyarlanabilir kimlik avı tespiti için uygunluğunu göstermiştir [10].

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, tekil makine öğrenmesi algoritmalarının performanslarının veri setine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Bu kapsamda, farklı algoritmaların güçlü yönlerini bir araya getiren topluluk öğrenme (ensemble learning) yöntemleri dikkat çekmektedir [11]. Topluluk öğrenme yaklaşımları, birden fazla algoritmaların çıktısını birleştirerek yüksek doğruluk sağlamayı hedefleyen yaklaşımlardır. Özellikle oylama (voting) tabanlı yöntemler, farklı sınıflandırıcıların tahminlerini çoğunluk oylaması ile birleştirerek daha dengeli ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanımaktadır.

Bu çalışmada, kimlik avı web sitelerinin tespiti amacıyla oylama tabanlı bir topluluk öğrenme modeli kullanılmıştır. Bu model kapsamında Rastgele Orman, Lojistik Regresyon ve Karar Ağacı algoritmaları temel sınıflandırıcılar olarak kullanılmış ve bu algoritmaların sonuçları çoğunluk oylaması yöntemleri ile birleştirilmiştir. Veri seti için korelasyon analizi yapılmıştır. Deneysel sonuçlar karşılaştırılmış, karmaşıklık matrisleri incelenmiş, oylama tabanlı yöntemlerin sonuçları ile temel sınıflandırıcı sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, kullanılan veri seti, veri ön işleme süreci, modelin yapısı ve modelin çalışma prensibi detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

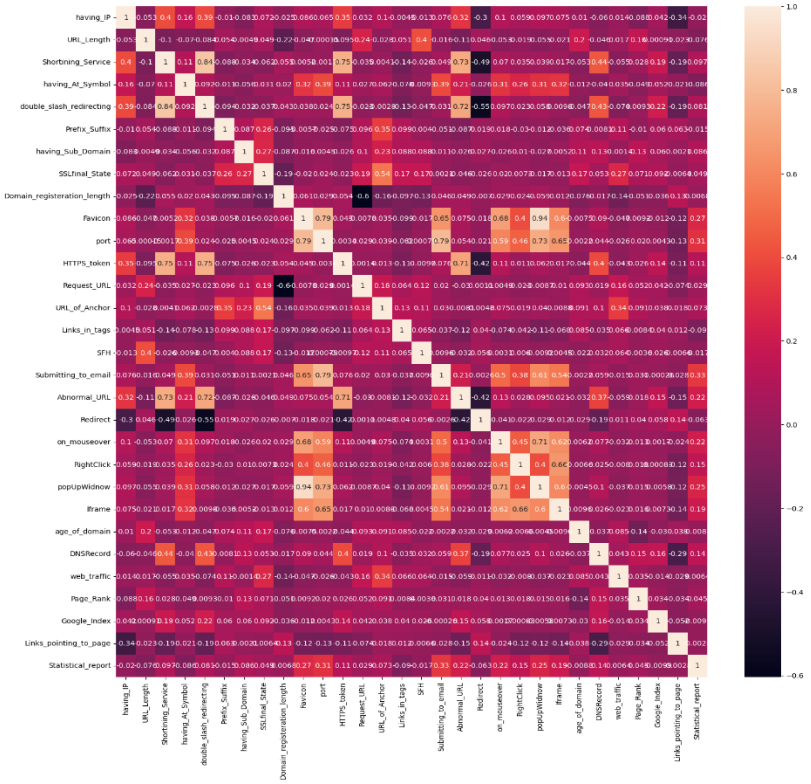
2.1. Veri Seti

Bu çalışmada, kimlik avı saldırı web siteleri ve meşru web sitelerinin tespit edilmesi amacıyla kullanılan bir veri seti tercih edilmiştir [12]. Veri seti toplamda 2100 web sitesi örneğinden oluşmakta ve her bir örneğin 31 farklı özniteliği bulunmaktadır. Bu öznitelikler genel olarak URL tabanlı, alan adı tabanlı ve web sayfası içerikleri özniteliklerinden oluşmaktadır. Veri setinde değerler sırasıyla şüpheli, nötr ve güvenli durumlarını ifade eden -1, 0 ve 1 değerlerinden oluşan sayısal değerlerdir. Hedef değişken ise ikili sınıflandırma yapısında, web siteleri saldırı (1) ve meşru (-1) olarak etiketlenmiştir.

2.2. Veri Ön İşleme

Öncelikle veri setindeki eksik veya tutarsız veriler kontrol edilmiştir ve veri setinin temiz ve dengeli olduğu gözlemlenmiştir. Tüm verilerin sayısal olmasından dolayı ekstra dönüştürme işlemine gerek duyulmamıştır. Bununla birlikte, özellikler arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla Görsel 1'deki korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Görsel 1. Korelasyon analizi

Elde edilen sonuçlar, özelliklerin çoğunda yüksek düzeyde bir ilişki bulunmadığı görülmüştür. Bu nedenle, çalışmada ek bir özellik seçimi veya boyut indirgeme işlemine gerek kalmamıştır.

2.3. Topluluk Öğrenme Modeli

Kimlik avı web sitelerinin tespit edilmesi için topluluk öğrenme yaklaşımına dayalı bir model kullanılmıştır. Topluluk öğrenme yöntemlerindeki temel amaç, birden fazla sınıflandırıcının çıktısını birleştirerek daha yüksek doğruluk ve kararlılık sağlamaktır. Bu kapsamda, kullanılan model oylama tabanlı bir topluluk öğrenme yapısı üzerine kurulmuştur ve Görsel 2'de modelin yapısı verilmiştir.

Görsel 2. Topluluk öğrenme tabanlı model yapısı

Oylama tabanlı öğrenme, birden çok makine öğrenmesi algoritmalarının tahminlerini birleştirerek sonucu belirleyen bir yöntemdir. Bu yöntemde genel olarak en yaygın kullanılan stratejiler sert oylama ve yumuşak oylama yaklaşımlarıdır. Bu çalışmada her iki yaklaşım da kullanılmıştır. Sert oylama yaklaşımında, her bir sınıflandırıcı sadece bir sınıf etiketini tahmin etmektedir. Sınıflandırma sonucunu tahminler arasında en fazla oyu alan sınıf belirlemektedir. Yumuşak oylama yaklaşımında ise, her bir sınıflandırıcının her sınıf için tahmin ettiği olasılık değerleri dikkate alınır. Elde edilen olasılıkların ortalaması alınarak en yüksek ortalama olasılığa sahip sınıf seçilmektedir.

Bu çalışmada, önce sınıflandırıcı olarak Görsel 2'de görüldüğü üzere 5 farklı sınıflandırıcı ile sonuçlar alınmıştır ancak topluluk öğrenme modeli için en yüksek doğruluk sonucunu veren 3 tanesi temel sınıflandırıcı olarak seçilmiştir. Rastgele Orman algoritması, birden fazla karar ağacının birleşiminden oluşan güçlü bir yöntemidir. Lojistik Regresyon algoritması, doğrusal sınıflandırma problemlerinde etkili sonuçlar veren bir istatistiksel yöntemdir. Karar ağacı ise veriyi hiyerarşik olarak bölüp karar verme sürecini gerçekleştiren yorumlanabilir bir algoritmadır. Bu algoritmanın birlikte kullanılması ile farklı model yapılarına ait avantajların bir araya getirilmesi amaçlanmıştır.

Görsel 2'de veriler uygun hale getirildikten sonra her bir sınıflandırıcı modeli veri seti üzerinde ayrı ayrı eğitilmiştir. Daha sonra, bu modeller test verisi ile tahmin üretmiştir. Son aşamada ise bu tahminler oylama mekanizması kullanılarak birleştirilmiş ve sınıflandırma sonucu elde edilmiştir. Bu çalışmada bu yaklaşım ile, tekil modellerin hataları minimum düzeye indirgenerek daha yüksek doğruluk ve daha kararlı sonuçlar elde edilmesi hedeflenmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmada veri seti %80 oranında eğitim verisi ve %20 oranında test verisi olacak şekilde ikiye bölünmüştür. Tüm sınıflandırıcılar için testler Google Colab ortamında gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırıcı performansları Doğruluk, Kesinlik, Duyarlılık, F1-Skoru metrikleri ile değerlendirilmiştir. Sınıflandırıcıların eğitim ve test doğruluğu sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Sınıflandırıcıların eğitim ve test sonuçları

Sınıflandırıcı	Eğitim Doğruluğu	Test Doğruluğu
Rastgele Orman	1,0000	0,9637
Karar Ağacı	1,0000	0,9369
Lojistik Regresyon	0,9277	0,9285
K En Yakın Komşu	0,7822	0,6198
Destek Vektör Makinesi	0,5614	0,5650

Çizelge 1'de elde edilen sonuçlar incelendiğinde, Rastgele Orman algoritmasının en yüksek test doğruluğu sağladığı görülmektedir. Karar Ağacı algoritması eğitim verisi üzerinde yüksek doğruluk elde etmesine karşın test verisi üzerinde düşüş görülmüş, modelin aşırı öğrenme eğiliminde olabileceğini göstermektedir. Lojistik Regresyon algoritması ise hem eğitim hem de

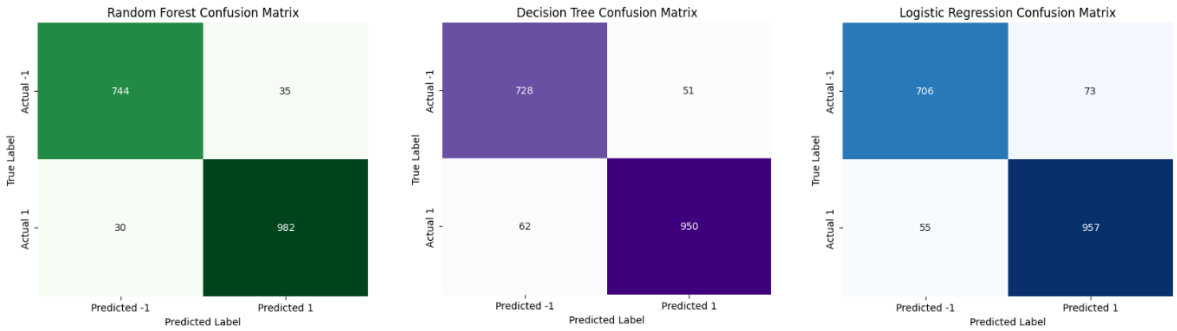
ISBN NR: 978-625-5694-96-6

test doğruluklarının birbirine yakın olması sebebiyle daha dengeli olduğunu göstermiştir. Ancak K-En Yakın Komşu ve Destek Vektör Makinesi algoritmalarının daha düşük sonuçlar elde etmesi, bu algoritmaların veri setinin yapısına uygun olmadığını göstermektedir. Çizelge 2, her bir sınıflandırıcının değerlendirme metrik sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 2. Sınıflandırıcıların değerlendirme metrikleri sonuçları

Sınıflandırıcı	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Skor
Rastgele Orman	0,963707	0.963695	0.963707	0.963694
Karar Ağacı	0.936907	0.937076	0.936907	0.936956
Lojistik Regresyon	0.928532	0.928517	0.928532	0.928429
K-En Yakın Komşu	0.619765	0.617778	0.619765	0.618478
Destek Vektör Makinesi	0.565047	0.319279	0.565047	0.408011

Çizelge 2'de verilen sonuçlar değerlendirildiğinde, Rastgele Orman algoritmasının doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skoru açısından en yüksek sonuçları verdiği görülmektedir. Karar Ağacı modeli, yüksek eğitim başarısı ile birlikte test sonuçlarında da görece iyi bir performans göstermiştir, ancak Rastgele Orman algoritmasına göre daha düşük kalmıştır. Lojistik Regresyon algoritması ise tüm metriklerde birbirine oldukça yakın değerler elde etmiştir. Sınıflandırıcılar arasında en kötü performansları ise K-En Yakın Komşu ve Destek Vektör Makinesi algoritmaları elde etmiştir. Görsel 3'te topluluk öğrenme modeli için seçilen üç algoritmanın karmaşıklık matrisleri verilmiştir.



a) Rastgele Orman b) Karar Ağacı c) Lojistik Regresyon

Görsel 3. Sınıflandırıcıların Karmaşıklık Matrisleri

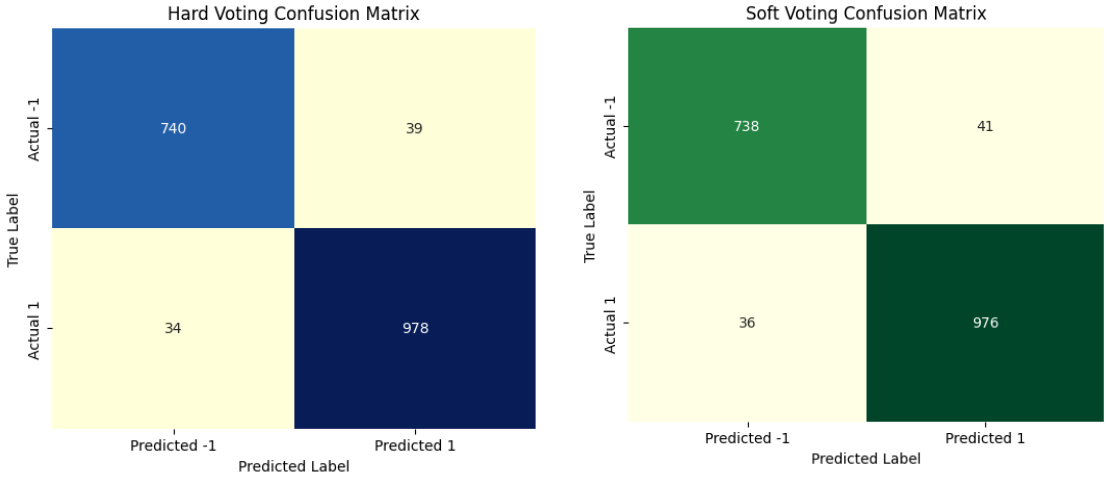
Görsel 3'te verilen karmaşıklık matrisleri incelendiğinde, Rastgele Orman algoritması, 744 doğru negatif (True Negative) ve 982 doğru pozitif (True Positive) tahmini ile en yüksek doğru sınıflandırma gerçekleştirmiştir. Bu sonuç ile algoritmanın hem kimlik avı saldırı web sitelerini hem de meşru web sitelerini yüksek doğrulukla ayırt edebildiğini göstermektedir. Karar ağacı algoritmasının aşırı öğrenme eğilimi nedeniyle hata oranının arttığı yanlış tahminlerin daha fazla olduğu gözükmektedir. Lojistik Regresyon algoritmasının ise diğer algoritmalara görece daha düşük sonuç verdiği söylenebilir. Çizelge 3'te topluluk öğrenme oylama yöntemi sonuçları gösterilmiştir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Çizelge 3. Oylama yöntemi sonuçları

Oylama Yöntemi	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Skor
Sert Oylama	0,95924	0,95922	0,95924	0,95922
Yumuşak Oylama	0,95700	0,95699	0,95700	0,95699

Çizelge 3'te görüldüğü üzere, Sert Oylama sonuçlarının Yumuşak Oylama sonuçlarına yakın sonuçlar gösterdiği ancak Sert Oylama sonuçlarının biraz daha yüksek çıktığı görülmektedir. Sert Oylama yöntemi sadece sınıf etiketlerini dikkate aldığından daha dengeli bir karar mekanizması sunmuştur ve bu durum bu çalışmada elde edilen sonuçlara olumlu yansımıştır. Görsel 4, oylama sonuçlarına ait karmaşıklık matrislerini göstermektedir.



a) Sert Oylama b) Yumuşak Oylama

Görsel 4. Oylama Yöntemleri Karmaşıklık Matrisleri

Görsel 4'te verilen Oylama Yöntemleri karmaşıklık matrisleri incelendiğinde, Sert Oylama yöntemi 740 doğru negatif ve 978 doğru pozitif tahmini ile Yumuşak Oylama yöntemine göre daha yüksek doğru sınıflandırma gerçekleştirmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, kimlik avı web sitelerinin tespit edilmesi amacıyla oylama tabanlı bir topluluk öğrenme yaklaşımı kullanılmıştır. Bu kapsamda literatürde sık kullanılan makine öğrenme algoritmaları (Rastgele Orman, Karar Ağacı, Lojistik Regresyon, K-En Yakın Komşu ve Destek Vektör Makinesi) sınıflandırıcılar olarak kullanılmıştır ve bu algoritmaların üç tanesi temel sınıflandırıcı olarak seçilmiş, çıktıları oylama yöntemi ile birleştirilmiştir. Bu yaklaşım ile, tekil makine öğrenmesi algoritmalarının sınırlılıkların azaltılması ve daha yüksek doğruluk ile kararlılık sağlanması hedeflenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, kullanılan oylama tabanlı topluluk öğrenme modelinin, tekil sınıflandırma algoritmalarına göre hem Sert Oylama yönteminde hem de Yumuşak Oylama yönteminde rekabetçi ve kararlı bir sınıflandırma performansı sunduğunu göstermektedir. Doğruluk, Kesinlik, Duyarlılık ve F1-Skoru değerlendirme ölçütleri dikkate alındığında, topluluk öğrenme yaklaşımın dengeli ve güvenilir

sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Bu durum, topluluk öğrenme modelinde farklı algoritmaların bir araya getirilmesinin sınıflandırma başarısını artırabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte veri seti üzerinde gerçekleştirilen korelasyon analizi, veri setindeki özniteliklerin büyük ölçüde bağımsız olduğunu ortaya koymuştur ve topluluk öğrenme modelinin genelleme yeteneğini olumlu yönde desteklediği görülmüştür. Topluluk öğrenme yöntemi kimlik avı web sitelerinin tespit edilmesinde etkili bir çözüm sunmakta olup, siber güvenlik ve bilgi güvenliği alanlarında uygulanabilir bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] S. K. Birthriya, P. Ahlawat, ve A. K. Jain, "Intelligent phishing website detection: A CNN-SVM approach with nature-inspired hyperparameter tuning", *Cyber Security and Applications*, c. 3, s. 100100, Ara. 2025, doi: 10.1016/j.csa.2025.100100.

[2] S. Remya, M. J. Pillai, B. S. Aparna, S. Rama Subbareddy, ve Y. Y. Cho, "BGL-PhishNet: Phishing Website Detection Using Hybrid Model-BERT, GNN, and LightGBM", *IEEE Access*, c. 13, 47552-47569, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3551542.

[3] S. Mousavi ve M. Bahaghighat, "Phishing Website Detection: An In-Depth Investigation of Feature Selection and Deep Learning", *Expert Syst.*, c. 42, s. 3, Mar. 2025, doi: 10.1111/exsy.13824.

[4] V. Sharma, T. K. Vashishth, D. Tiwari, Ravikant, P. Sethi, ve S. Sharma, "Enhancing cybersecurity: A machine learning approach for phishing website detection", 2025, s. 020011. doi: 10.1063/5.0261903.

[5] P. C. R. Chinta, C. S. Moore, L. M. Karaka, M. Sakuru, V. Bodepudi, ve S. R. Maka, "Building an Intelligent Phishing Email Detection System Using Machine Learning and Feature Engineering", *European Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, 3(2), s. 41-54, Mar. 2025, doi: 10.59324/ejaset.2025.3(2).04.

[6] K. Barik, S. Misra, ve R. Mohan, "Web-based phishing URL detection model using deep learning optimization techniques", *Int. J. Data Sci. Anal.*, 20(5), s. 4449-4471, Eki. 2025, doi: 10.1007/s41060-025-00728-9.

[7] Er. Kritika, "A comprehensive literature review on phishing URL detection using deep learning techniques", *Journal of Cyber Security Technology*, 9(4), s. 315-343, Eki. 2025, doi: 10.1080/23742917.2024.2378552.

[8] M. Hosseinzadeh *vd.*, "Improving phishing email detection performance through deep learning with adaptive optimization", *Sci. Rep.*, 15(1), s. 36724, Eki. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-20668-5.

[9] R. Bourigue, D. Ait Omar, ve H. Zougagh, "Improving online security: a deep learning model for phishing URL detection", *Cluster Comput.*, 28(10), s. 631, Eki. 2025, doi: 10.1007/s10586-025-05307-y.

[10] M. S. V. Tyagadurgam, V. N. Gangineni, S. Pabbineedi, A. B. Kakani, S. K. K. Nandiraju, ve S. K. Chundru, "Preventing Phishing Attacks Using Advanced Deep Learning Techniques for Cyber Threat Mitigation", *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 13(3), s. 314-330, 2025, doi: 10.4236/jdaip.2025.133020.

[11] P. Jain, V. K. Gupta, L. Goel, S. Gupta, V. Raturi, ve L. K. Singh, "Phishing Attack Detection System Using Bagging Based Ensemble Learning Approach", *2025 7th International Conference on Information Systems and Computer Networks (ISCON)*, IEEE, Eyl. 2025, s. 1-5. doi: 10.1109/ISCON65210.2025.11341197.

[12] "Phishing website dataset". Erişim: 30 Ocak 2026. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.kaggle.com/datasets/omkargowda/phishing-website-dataset/data

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

BEYİN TÜMÖRÜ TANISINDA DERİN ÖĞRENME YAKLAŞIMLARI

Arş. Gör. Vahap Bahadır BABACAN
Tarsus Üniversitesi, vbbabacan@tarsus.edu.tr - 0009-0000-7743-4315
Doç. Dr. Yasin KAYA
Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, ykaya@atu.edu.tr - 0000-0002-9074-0189

ÖZET

Beyin tümörleri, biyolojik çeşitlilikleri ve invaziv tedavi gereksinimleri nedeniyle, tıbbi teşhis ve takip süreçlerinin en zorlu olduğu hastalık gruplarından biri olarak kabul edilmektedir. Erken teşhis ve doğru sınıflandırma, hastaya özel tedavi protokollerinin uygulanması ve yaşam süresinin uzatılması açısından kritik bir öneme sahiptir. Tümör dokusunun manuel olarak incelenmesi ve radyolojik görüntülerin uzmanlar tarafından yorumlanması, hem yüksek iş yükü gerektirmekte hem de sübjektif hatalara sebep olabilmektedir. Bu noktada derin öğrenme teknikleri, MRG (Manyetik Rezonans Görüntüleme) gibi görüntü verilerinin analiz edilmesine olanak tanıyarak manuel değerlendirmelerdeki subjektifliği minimize etmeyi hedeflemektedir.

Bu çalışma, 2025 yılından günümüze kadar beyin tümörü tespitinde öne çıkan beş temel derin öğrenme yaklaşımını incelemektedir. Literatürde, hesaplamalı verimliliği ve kaynak kullanımını azaltmaya odaklanan çalışmalardan RFENet **[4]** ve ShallowMRI **[1]**, sırasıyla hibrit özellik çıkarım modelleri ve özgün CNN mimarisi kullanmaktadır. DenseNet121 ve InceptionV3 tabanlı ensemble transfer learning yaklaşımları **[2]**, eğitilmeye hazır modellerle klinik teşhis sürecini hızlandırmayı hedeflemektedir. 3D hacimsel analiz ve meta-sezgisel optimizasyon (Farmer Ants Optimization) kullanan SWFT-Net-3D-FAOA **[3]**, 3D MRG verilerinde yüksek hassasiyet ve gerçek zamanlı klinik çözüm arayışına odaklanmıştır. Bu çalışmada, modellerin performanslarının yanı sıra kullanılan Kaggle Multiclass **[6]**, BR35H **[8]**, BRATS (2021-2023) **[10][11]** ve Figshare **[7]** verisetlerinin özellikleri detaylandırılmıştır.

İncelenen modellerin %97 ve üzeri doğruluk oranlarına ulaşması, bu derin öğrenme yöntemlerinin klinik karar verme süreçlerindeki güvenilirliğini öne çıkarmaktadır. Bu sistemlerin klinik ortamlara entegrasyonu, kişiselleştirilmiş tedavi ve otomatik teşhis süreçlerinin etkinliğini artırarak veri odaklı ve yüksek hassasiyetli bir karar destek mekanizması olma potansiyeli göstermektedirler.

Anahtar Kelimeler: Beyin tümörü tespiti, Derin Öğrenme, Tıbbi görüntü işleme, Veri seti inceleme

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

1. GİRİŞ

Beyin tümörleri, merkezi sinir sistemi üzerindeki kontrolsüz bir şekilde gelişen anormal hücresel oluşumlardır. Bu patolojik yapıların erken evrede teşhis ve bu sonuçlara uygun tedavi protokollerinin uygulanması, hasta sağkalım oranlarının artırılması açısından kritik bir öneme sahiptir.

Son yıllarda derin öğrenme teknikleri, tıbbi görüntü analizinde sergilediği yüksek teşhis hassasiyeti ve hızlı görüntü verisi işleme kapasitesiyle bu zorlukların aşılmasında kritik bir rol üstlenmiştir. Geliştirilen algoritmalar, karmaşık görüntü örüntülerini tanıma ve teşhis süreçlerinde objektif ve ölçeklenebilir bir karar destek mekanizması sunmaktadır. Literatürde, günümüz itibarıyla geliştirilen modeller, hesaplamalı verimlilik, üç boyutlu hacimsel analiz ve klinik açıklanabilirlik gibi farklı stratejik önceliklere odaklanmaktadır. Özellikle ShallowMRI gibi hafif mimariler, donanım üzerinde hesaplama maliyetlerini düşürürken, SSPANet ve Ensemble Transfer Learning yaklaşımları, model çalışma biçimini görselleştiren tekniklerle, karar alma adımlarında şeffaflığı artırmayı hedeflemektedir. Öte yandan, RFENet ve SWFT-Net-3D-FAOA gibi yapılar, meta-sezgisel optimizasyon ve üç boyutlu veri işleme kabiliyetleri ile teşhis doğruluğunu %97 bandının üzerine taşıyarak klinik alanda belirsizliği azaltmayı hedeflemektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, beyin tümörü teşhisinde 2025 ve 2026 yıllarında öne çıkan derin öğrenme yaklaşımlarını, literatürdeki temel eğilimleri yansıtan beş ana metodoloji üzerinden analiz etmektir. İncelenen çalışmalar: hesaplamalı verimlilik , çok dallı hibrit özellik çıkarımı, klinik açıklanabilirlik, meta-sezgisel optimizasyon destekli 3D hacimsel analiz ve topluluk tabanlı aktarım öğrenmesi gibi farklı tasarım yöntemlerini temsil etmektedir. Bu yaklaşım, literatürdeki güncel modellerin sadece performans çıktılarını değil, aynı zamanda belirli operasyonel ihtiyaçlara (hız, doğruluk, şeffaflık vb.) yönelik sundukları yapısal çözümleri de kategorize etme imkânı sunmaktadır. Ayrıca, söz konusu çalışmalarda kullanılan açık erişimli veri setlerinin karakteristik özellikleri incelenmiştir.

2. METODOLOJI VE VERI SETI ANALİZİ

Bu bölümde, beyin tümörü teşhisinde kullanılan güncel yaklaşımlar beş ana kategoride sınıflandırılarak incelenmiştir. Her bir kategori; mimari yapı, kullanılan veri setinin karakteristik özellikleri doğrultusunda analiz edilmiştir.

2.1. Özgün ve Yalın CNN Mimarileri

Bu kategorideki çalışmalar, derin öğrenme modellerinin yüksek hesaplama gereksinimlerini optimize etmek amacıyla tasarlanmış, parametre sayısı sınırlandırılmış ve stratejik olarak yapılandırılmış özgün mimarilere odaklanmaktadır. Bu kategoride incelenen ShallowMRI çalışması, aşırı derin ağların aksine, düşük donanım maliyeti ile yüksek teşhis performansı sunan kademeli birer konvolüsyonel yapıdadır.

Her blok; öznitelik çıkarımı için bir Conv2D katmanı, doğrusal olmayan geçişler için Leaky ReLU (α=0.1) ve boyutsal indirgeme için Max Pooling (2x2) katmanlarını içermektedir. Ağın derinleşmesine paralel olarak filtre sayıları 32'den 128'e çıkarılarak öznitelik karmaşıklığı

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

yönetilmiştir. Block 2, 3 ve 4'te yer alan %25 oranındaki Dropout katmanları, modelin eğitim sırasında aşırı öğrenmesini (overfitting) engelleyen bir düzenleyici (regularization) görevi görmektedir. Bu stratejik tasarım sayesinde model, yalnızca 214,308 adet eğitilebilir parametre ve 25.4 GFLOPs işlem hacmiyle çalışarak yüksek hesaplama verimliliği sağlamaktadır. Modelin sınırlı parametre kapasitesini en verimli şekilde kullanabilmek ve genelleme yeteneğini artırmak amacıyla görüntüler üzerinde çevirme, aynalama, boyutlandırma gibi temel geometrik dönüşümler ve standart boyutlandırma işlemleri uygulanmıştır.

2.2. Aktarım Öğrenmesi ve Topluluk Tabanlı Modeller (Ensemble Transfer Learning)

Bu kategorideki çalışmalar, sınırlı tıbbi veri setlerinde yüksek doğruluk elde etmek amacıyla, önceden devasa veri kümelerinde eğitilmiş derin mimarilerin bilgi birikimini tıbbi görüntüleme alanına aktarmaya odaklanmaktadır. İncelenen çalışmada; VGG16, ResNet50 ve InceptionV3 mimarilerinin bir araya getirildiği bir topluluk (ensemble) yapısı kullanılarak, MRI görüntülerinden farklı ölçeklerde ve derinliklerde öznitelik çıkarımı gerçekleştirilmektedir. Modelin giriş aşamasında görüntüler, ilgili mimarilerin standart giriş boyutlarına (224x224 veya 299x299 piksel) uygun şekilde yeniden boyutlandırılmakta ve piksel değerleri üzerinde uygulanan normalizasyon işlemleriyle taramalardaki sayısal değişkenlikler giderilmektedir. Bu ön işleme stratejisi, önceden eğitilmiş ağırlıkların (pre-trained weights) yeni veri kümesine adaptasyonunu sağlarken, alt modellerden gelen tahminlerin yumuşak oy birliği (soft voting) stratejisiyle birleştirilmesi, her modelin sınıf olasılıklarını hesaba katarak teşhis sürecinde daha hassas ve kararlı bir karar mekanizması sunmaktadır.

2.3 Açıklanabilir Yapay Zeka Yaklaşımları (SSPANet)

Bu kategorideki çalışmalar, modelin teşhis kararını verirken görüntünün hangi bölgelerine odaklandığını görselleştirerek klinik güvenilirliği ve şeffaflığı artırmayı hedeflemektedir. İncelenen SSPANet (Spatial–Spectral Pixel Attention Network) mimarisi, tümörlü dokunun hem uzamsal (spatial) hem de spektral (spectral) özelliklerini eş zamanlı olarak analiz edebilen özgün bir Piksel Dikkat (Pixel Attention - PA) mekanizması üzerine kuruludur. Modelin işleyişinde, MRI görüntülerinden elde edilen öznitelik haritaları üzerinde piksel düzeyinde ağırlıklandırma yapılarak, tümörün karakteristiğini temsil eden en önemli bölgeler vurgulanmaktadır. Veri giriş aşamasında görüntüler standart boyutlara getirilmekte ve dikkat mekanizmalarının (Attention) doğruluğunu artırmak için öznitelik çıkarımı sırasında anlamsal bağlam korunmaktadır. Bu süreçte üretilen görsel çıktılar ve ısı haritaları (heatmaps), modelin sınıflandırma yaparken "dikkatini" hangi patolojik işaretlere odakladığını açıkça ortaya koyarak, hekimlerin yapay zeka kararlarını tıbbi verilerle doğrulamasına ve klinik şeffaflığın sağlanmasına imkân tanımaktadır.

2.4 Üç Boyutlu (3B) Hacimsel Analiz ve Meta-Sezgisel Optimizasyon (SWFT-Net-3D-FAOA)

Bu kategorideki çalışmalar, iki boyutlu kesitlerin ötesine geçerek tümörün hacimsel yapısını, derinliğini ve çevre dokularla olan uzamsal ilişkilerini daha hassas bir şekilde modellemeyi hedeflemektedir. İncelenen SWFT-Net-3D-FAOA mimarisi, Durağan Dalgacık Fourier Dönüşümü (SWFT - Stationary Wavelet Fourier Transform) kullanarak görüntülerdeki düşük ve yüksek frekanslı bileşenleri ayrıştırmakta ve gürültüden arındırılmış, yüksek çözünürlüklü 3B öznitelikler elde etmektedir. Modelin optimizasyon aşamasında kullanılan Çiftçi Karıncalar Optimizasyon Algoritması (FAOA - Farmer Ants Optimization Algorithm),

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ağın hiper-parametrelerini en iyi teşhis doğruluğunu sağlayacak şekilde dinamik olarak belirleyerek sınıflandırma performansını maksimize etmektedir. Analizde temel veri kaynağı olarak kullanılan BraTS (2021/2023) gibi yüksek çözünürlüklü 3B MRI hacimleri, modelin hacimsel verilerdeki karmaşık örüntüleri öğrenmesine olanak tanırken; uygulanan 3B boyutlandırma ve yoğunluk normalizasyonu gibi ön işlemler, farklı tarama sekansları (T1, T2, FLAIR) arasındaki verilerin bütünleşik bir şekilde işlenmesini sağlamaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, klinik teşhislerde tümörün üç boyutlu karakterizasyonunun ve hacimsel sınırlarının yüksek doğrulukla belirlenmesine imkan tanımaktadır.

2.5 Çok Dallı Hibrit Özellik Çıkarımı (RFENet)

Bu kategorideki çalışmalar, karmaşık tümör dokularından en ayırt edici özellikleri süzmek ve derin katmanlardaki bilgi kaybını (vanishing gradient) önlemek amacıyla çok yollu öznitelik çıkarım mekanizmalarına odaklanmaktadır. İncelenen RFENet (Residual Feature Extraction Network) mimarisi, paralel olarak kurgulanmış artık (residual) bloklar üzerinden görüntünün hem lokal hem de genel özniteliklerini eş zamanlı olarak yakalamaktadır. Modelin teknik yapısında, farklı boyutlardaki evrişimsel filtreler kullanılarak tümör sınırları ve doku yoğunlukları ayrı dallarda işlenmekte; ardından bu bilgiler birleştirilerek karar katmanına aktarılmaktadır. Analiz edilen çalışmada kullanılan Kaggle ve BR35H veri setleri, modelin farklı tümör tipleri (glioma, meningioma, pituitary) üzerindeki genelleme kapasitesini test etmek amacıyla seçilmiştir. Veri hazırlığı aşamasında uygulanan yoğunluk normalizasyonu ve görüntülerin standart çözünürlüğe getirilmesi gibi ön işlemler, RFENet'in çok dallı yapısının her bir koldan tutarlı öznitelik vektörleri üretmesini sağlamakta ve benzer görsel özelliklere sahip tümörlerin ayırt edilmesinde yüksek kararlılık sunmaktadır.

2.6 Veri Setlerini ve Özellikleri

Literatürde beyin tümörü tespiti ve sınıflandırılması çalışmalarında en sık başvurulan açık erişimli veri setlerinin teknik spesifikasyonları çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Sorkun Köyü Kırmızı Kilinin Kimyasal Bileşimi (%)

Veri Seti	Görüntü Sayısı	Sınıf Sayısı	Sınıflar
Br35H	3.000	2	Tümör Var / Yok
Figshare	3.064	3	Glioma, Meningioma, Pituitary
Sartaj **[9]**	394	4	Glioma, Meningioma, Pituitary, Tümör Yok
Nickparvar	7200	4	Glioma, Meningioma, Pituitary, Tümör Yok
BraTS (2021-2023)	2.000+	4+ (Bölge)	ET, TC, WT (Tümör Alt Bölgeleri)

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

İncelenen çalışmalarda kullanılan veri setleri, içerdikleri görüntü sayısı ve sınıflandırma hedefleri bakımından belirgin farklılıklar göstermektedir.

- **Br35H Veri Seti:** 3000 MR görüntüsünden oluşan bu set, tümörün varlığına (Yes/No) odaklanan ikili sınıflandırma (binary classification) çalışmaları için uygundur.

- **Figshare Veri Seti:** 3064 görüntü içeren bu set, sağlıklı doku örneği barındırmamasıyla diğerlerinden ayrılmaktadır. Tamamen patolojik vakalara (Glioma, Meningioma, Pituitary) odaklanması, modellerin tümör alt tiplerini birbirinden ayırt etme (tipleme) yeteneğini ölçmek için uygun bir zemin hazırlar.

- **Nickparvar Veri Seti:** Mevcut veri setlerinin bir kombinasyonu niteliğinde olan ve 7200 görüntüye ulaşan bu büyük ölçekli set, derin öğrenme modellerinin genellenebilirliğini artırmak için kullanılmaktadır.

- **BraTS (2021 - 2023) Veri Seti:** Diğer setlerden farklı olarak sadece sınıflandırma değil, segmentasyon odaklı bir yapı sunmaktadır. Çok modlu (T1, T1ce, T2, FLAIR) görüntüler ve uzman onaylı tümör alt bölge maskeleri (ET, TC, WT) içermesi sayesinde, tümörün üç boyutlu hacimsel analizi ve sınır tespiti çalışmalarında önemli bir veriseti olarak kabul edilmektedir.

2.7 Performans Metrikleri

İncelenen çalışmaların teşhis performansları gösteriminde, literatürde yaygın olarak kullanılan standart metrikler kullanılmıştır. Bu metrikler, doğru tahminlerini ifade eden Doğru Pozitif (TP) ve Doğru Negatif (TN) ile hatalı tahminlerini ifade eden Yanlış Pozitif (FP) ve Yanlış Negatif (FN) parametrelerini içerir.

Formül 1. Doğruluk (ACC)

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

Formül 2. Kesinlik (Precision)

$$Precisiom = \frac{TP}{TP + FP}$$

Formül 3. Duyarlılık (Recall)

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

Formül 4. F1-Skoru (F1)

$$\boldsymbol{F1} = 2x\frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, incelenen beş ana çalışmanın (ShallowMRI, RFENet, SSPANet, SWFT-Net ve Ensemble Model) elde ettiği nicel sonuçlar ve Bölüm 2.6'da tanımlanan metrikler doğrultusunda yapılan hesaplamalar Çizelge 2'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çizelge 2. Performans Metrikleri (%)

Çalışma	Doğruluk	Duyarlılık	F1-Skoru
ShallowMRI	98.24	98.15	98.20
RFENet	98.32	98.28	98.31
SSPANet	97.00	97.20	97.10
SWFT-Net	99.67	99.70	99.68
Ensemble Model	99.02	98.85	98.93

SWFT-Net ve Ensemble Model, %99'un üzerindeki duyarlılık (Recall) değerleriyle, tümörlü dokuların sağlıklı dokulardan ayırt edilmesinde en yüksek başarıyı sergilemiştir. Bu durum, yanlış negatif (FN) oranının minimize edildiğini ve klinik teşhis için güvenilir bir zemin oluşturduğunu kanıtlamaktadır. Tüm modellerin F1-skorlarının doğruluk değerlerine yakın olması, kullanılan veri setlerindeki sınıf dağılımının dengeli olduğunu ve modellerin belirli bir sınıfa, örneğin sadece "sağlıklı" sınıfına, yanlılık göstermediğini doğrulamaktadır. ShallowMRI modeli, düşük parametre sayısına rağmen %98.20'lik bir F1-skoru elde ederek, yüksek performansın sadece karmaşık ve ağır mimarilerle değil, basit yapılarla da mümkün olduğunu göstermiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

İncelenen beş temel çalışma, beyin tümörü sınıflandırmasında derin öğrenme modellerinin evrimini ve hibrit yaklaşımların oldukça başarılı olduklarını göstermektedir. Özellikle SWFT-Net ve RFENet gibi modellerin %99'un üzerindeki başarı oranları, üç boyutlu veri işleme ve paralel mimarilerin standart CNN'lere kıyasla tümörlerin birbirinden farklı yapılarını daha iyi yakaladığını göstermektedir. ShallowMRI çalışmasında vurgulanan düşük hesaplama maliyeti, yüksek doğruluğun sadece derin ve ağır modellerle değil, basit CNN modelleriyle de elde edilebileceğini, mobil sağlık uygulamaları ve kısıtlı donanıma sahip cihazlarda da gerçek zamanlı çalışabileceğini göstermektedir. kanıtlamaktadır. SSPANet ve Ensemble Model çalışmalarında kullanılan Grad-CAM **[12]** teknolojisi, yapay zekanın açıklanabilirliğini geliştirmiş olup doktorların karar sürecine görsel olarak yardımcı olmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, derin öğrenme temelli sistemlerin radyologlar için güçlü bir karar destek mekanizması olma potansiyeli üzerinde durmaktadır. Gelecekteki çalışmaların, geliştirilen bu algoritmaların farklı hastanelerden alınan çok merkezli ve daha heterojen veri setleri üzerindeki genelleme yeteneklerinin artırılmasına odaklanması hedeflenmektedir. Bu

sayede, yapay zeka destekli, erken teşhis ile hasta yaşam kalitesinin artırılmasına doğrudan katkı sağlanması öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Rehman Khan, S. U., Asif, S., Zhao, M., Zou, W., Li, Y., & Xiao, C. (2026). ShallowMRI: A novel lightweight CNN with novel attention mechanism for Multi brain tumor classification in MRI images. Biomedical Signal Processing and Control, 1 August 2025

[2] Hasan, M. J., Hasan, M., Akter, S., Mahi, A. B. S., & Uddin, M. P. (2026). Enhancing brain tumor classification with a novel attention based explainable deep learning framework. *Biomedical Signal Processing and Control*, *112*. 3 September 2025

[3] Karthiga, M., Karthikeyan, U., Janani, N., & Saran Kumar, A. (2026). SWFT-net: sparse wavelet-transformer network for 3D brain tumor detection. *Biomedical Signal Processing and Control*, *113*. 24 October 2025

[4] Tang, Z., Liao, X., Liao, B., Shen, C., & Zhang, Y. (2026). MRI brain tumor classification using RFENet Three-Branch model with SwishReLU. *Biomedical Signal Processing and Control*, *113*. 5 October 2025

[6] Msoud Nickparvar. (2026). Brain Tumor MRI Dataset [Data set]. Kaggle. https://doi.org/10.34740/KAGGLE/DSV/14832123

[7] Cheng, J. (2017, 2 Nisan). brain tumor dataset. figshare. doi:10.6084/m9.figshare.1512427.v8

[8] https://www.kaggle.com/datasets/ahmedhamada0/brain-tumor-detection (Erişim tarihi: 10.03.2026)

[9] https://www.kaggle.com/datasets/sartajbhuvaji/brain-tumor-classification-mri (Erişim tarihi: 10.03.2026)

[10] https://www.kaggle.com/datasets/dschettler8845/brats-2021-task1 (Erişim tarihi: 10.03.2026)

[11] https://www.kaggle.com/datasets/rafi01001/brats-2023 (Erişim tarihi: 10.03.2026)

[12] R. R. Selvaraju, M. Cogswell, A. Das, R. Vedantam, D. Parikh and D. Batra, "Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-Based Localization," *2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, Venice, Italy, 2017, pp. 618-626, 25 December 2017

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

YENİLİKÇİ ŞEN METODU KULLANARAK MERSİN'DE YAĞIŞLI GÜN SAYILARINDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLERİN İNCELENMESİ

Prof. Dr. Murat KARABULUT

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, mkarabulut@ksu.edu.tr - 0000-0002-1456-6908

Dr. Öğrencisi Hüsna KAZI

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, husnakazi35@gmail.com - 0000-0002-3742-7329

Özet

Küresel iklim değişikliği, hidrolojik döngünün karakteristiğini değiştirerek yağışın miktarı yanında zamansal dağılımı ve sıklığı üzerinde önemli dönüşümlere neden olmaktadır. Bu çalışma, Doğu Akdeniz Havzası'nın stratejik bir tarım ve liman kenti olan Mersin'in 1970-2024 yılları arasındaki yağışlı gün sayısı (YGS) eğilimlerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, geleneksel yöntemlerin aksine verideki düşük, orta ve yüksek yoğunluklu değişimleri ayrıştırabilen Yenilikçi Şen Metodu (ITA) kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, Mersin'in yıllık toplam yağışlı gün sayılarında istatistiksel olarak anlamlı bir trend saptanmamış, iklimsel karakterin genel olarak durağan bir seyir izlediği görülmüştür. Ancak aylık bazda elde edilen sonuçlar, yağış rejiminde belirgin bir zamansal kayma ve heterojen bir yapı meydana geldiğini ortaya koymuştur. Ocak, Mart ve Eylül aylarında yağışlı gün sayılarında artış eğilimi gözlenirken; Nisan ve özellikle Kasım aylarında ciddi bir azalış eğilimi (kuraklaşma sinyali) tespit edilmiştir. Kış aylarındaki artış eğilimi, bölgede ani sel riskini ve drenaj yükünü artırırken; Nisan ayındaki azalışın tarımsal sulama ihtiyacını tetikleyebileceği öngörülmektedir. Bulgular, Mersin özelinde su kaynakları yönetimi ve tarımsal planlamada toplam yağış miktarı kadar, bu tür mevsimsel kaymaların ve yağış sıklığındaki değişimlerin dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mersin, İklim Değişikliği, Yağışlı Gün Sayısı, ITA, Akdeniz Havzası.

INVESTIGATING TRENDS IN THE NUMBER OF RAINY DAYS IN MERSIN USING THE INNOVATIVE ŞEN METHOD

Abstract

Global climate change is inducing radical transformations in the temporal distribution and frequency of precipitation rather than just its quantity by altering the characteristics of the hydrological cycle. This study aims to analyze the trends in the Number of Rainy Days between 1970 and 2024 in Mersin, a strategic agricultural and port city in the Eastern Mediterranean Basin. Unlike traditional methods, the Innovative Şen Method (ITA), which can differentiate between low, medium, and high-intensity variations in data, was employed. According to the analysis results, no statistically significant trend was detected in the total annual number of rainy days in Mersin, indicating a generally stationary course in climatic character. However, monthly examinations revealed a distinct temporal shift and a heterogeneous structure in the precipitation regime. While an increasing trend in rainy days was observed in January, March, and September; a significant decreasing trend (desiccating signal) was identified in April and particularly in November. It is anticipated that the increasing trend in winter months may elevate flash flood risks and drainage loads in the region, whereas the decrease in April could trigger agricultural irrigation demands. The findings prove that in the context of Mersin,

seasonal shifts and changes in precipitation frequency must be considered as much as total precipitation amounts in water resources management and agricultural planning.

Keywords: Mersin, Climate Change, Number of Rainy Days (NRD), Innovative Trend Analysis (ITA), Mediterranean Basin.

1. GİRİŞ

İnsan faaliyetleri sonucu atmosferik sera gazı konsantrasyonlarındaki artış, küresel ortalama yüzey sıcaklıklarını yükseltirken hidrolojik döngünün yoğunluğunu ve karakterini de temelden değiştirmektedir (IPCC, 2021). Endüstriyel Devrim'den bu yana gözlenen küresel ısınma, yağış rejimlerinde yalnızca toplam miktar değişimiyle sınırlı kalmayıp; mekânsal dağılım, zamansal sıklık ve ekstrem olayların şiddeti bağlamında yapısal dönüşümlere yol açmıştır (Allan & Soden, 2008; Trenberth, 2011). Küresel ısınma yağışın yalnızca miktarını değil, karakterini değiştirmektedir. Toplam yıllık yağışın sabit kaldığı bölgelerde dahi yağışın yıl içindeki dağılımı bozulmakta ve yağışlı gün sayılarında belirgin dalgalanmalar gözlenmektedir (Donat vd., 2016). Küresel enerji dengesindeki bozulma, atmosferik nem içeriğini artırarak hidrolojik döngünün hızlanmasına neden olmaktadır (Held ve Soden, 2006). Clausius–Clapeyron ilişkisine göre atmosferin su buharı tutma kapasitesi sıcaklığın her 1 °C artışı için yaklaşık %7 oranında artmaktadır; bu durum şiddetli yağış olaylarının frekans ve yoğunluğunu doğrudan etkilemektedir (Allen ve Ingram, 2002; O'Gorman ve Schneider, 2009). Atmosferde biriken yüksek enerji ve nem, konvektif sistemlerin şiddetini artırarak ani sel riskini yükseltmektedir (Trenberth, 2011; Karabulut vd., 2019b; IPCC, 2021).

Yağışlı gün sayısı, yağışın zamansal dağılımını analiz etmek için kullanılan temel klimatolojik göstergelerden biridir (Topuz ve Karabulut, 2019a). Dünya Meteoroloji Örgütü standartlarına göre bir günün yağışlı kabul edilebilmesi için günlük toplam yağış miktarının ≥ 0.1 mm olması gerekmektedir (WMO, 2018). Bu gösterge, yalnızca yağışın varlığına odaklanarak frekansı temsil eder; toplam yağış miktarının aksine ekstrem sağanaklardan daha az etkilenerek iklimin yapısal değişimlerini ortaya koymaktadır (Zhang vd., 2011). Yağışlı gün sayısındaki azalma, Ardışık Kuru Günler (CDD) indeksinin artmasına neden olarak tarımsal ve hidrolojik kuraklığı tetikleyebilmektedir (IPCC, 2021). Yağış rejimlerindeki bu düzensizlikler, su kaynakları yönetimi, tarımsal planlama ve altyapı dayanıklılığı açısından kritik sonuçlar doğurmaktadır. Mevsimsel kaymalar ve azalan kar örtüsü, havza bazlı su depolama stratejilerini zayıflatmakta; nemli bölgelerin daha nemli, kurak bölgelerin daha kurak hale gelme eğilimi ise gıda güvenliği risklerini artırmaktadır (Held ve Soden, 2006; IPCC, 2021). Bu nedenle yağış paternlerindeki değişimlerin analizi, yalnızca meteorolojik bir gereklilik değil, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma politikalarının temel bileşenlerinden biridir.

Türkiye ve Akdeniz Havzası, küresel iklim değişikliği senaryolarında (özellikle CMIP6 projeksiyonlarında) iklim değişikliği sıcak noktası olarak tanımlanmaktadır (Giorgi ve Lionello, 2008). Bu bölgede toplam yağış miktarı ve yağışlı gün sayısı üzerindeki değişimler, sosyo-ekonomik ve ekolojik sürdürülebilirlik açısından hayati bir risk taşımaktadır. Akdeniz Havzası, kış yağışlarının baskın olduğu ve yaz kuraklığının belirgin yaşandığı hassas bir dengeye sahiptir. Küresel ısınma ile birlikte bu havzada Hadley Hücresi'nin genişlemesi, subtropikal yüksek basınç kuşağının kuzeye doğru kaymasına neden olmaktadır (Giorgi & Lionello, 2008). Yağışlı gün sayısının azalması, çoğu bölgede kar örtüsünün yerde kalma süresini kısaltmakta ve ilkbahar aylarındaki akarsu akış rejimini bozmaktadır (Türkeş et al., 2011). Bu durum, özellikle yarı kurak bölgelerde yeraltı su seviyelerinin kritik düzeye inmesine yol açmaktadır.

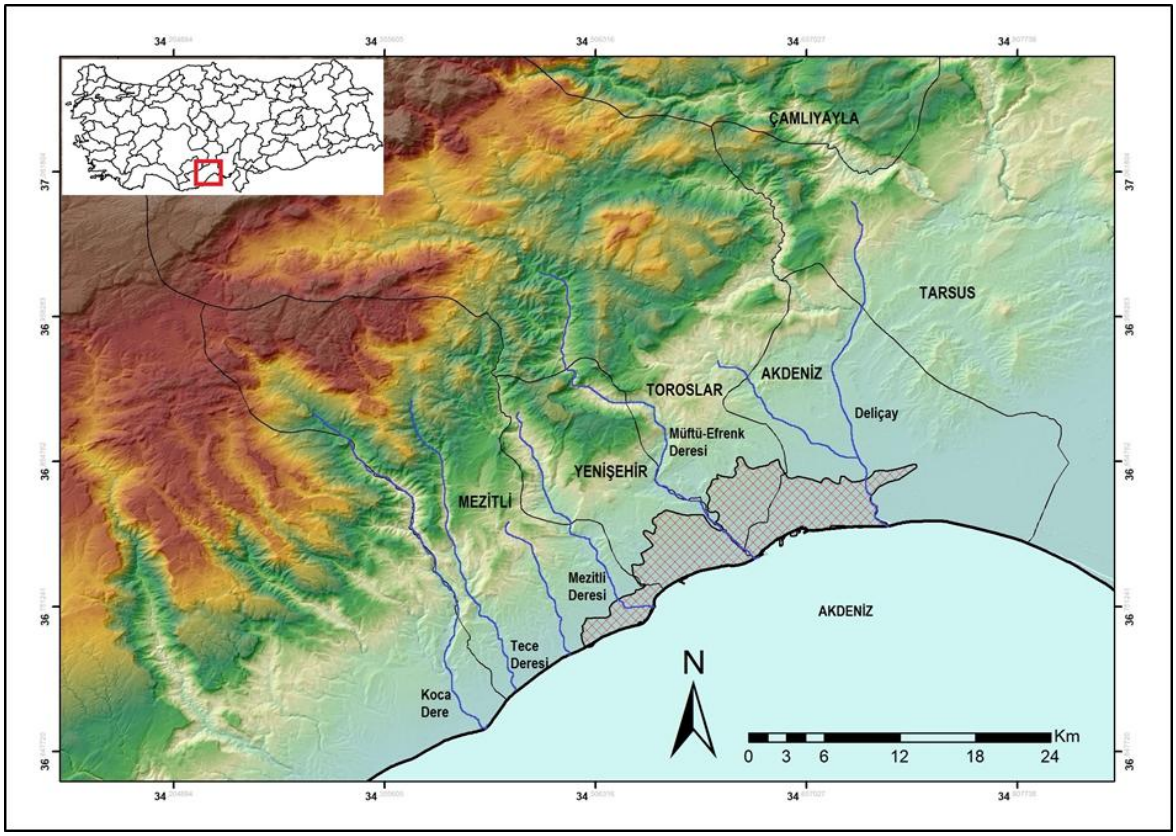
Çalışma alanını oluşturan Mersin, Doğu Akdeniz Havzası içinde yer almakta olup, küresel iklim değişikliğinin hidrolojik döngü üzerindeki olumsuz etkilerini en belirgin biçimde deneyimleyen bölgeler arasında gösterilmektedir (Karabulut vd., 2018). Bu bağlamda

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

araştırmanın temel amacı, Akdeniz Bölgesi'nin önemli metropollerinden biri olan Mersin'e ait uzun dönemli yağış verilerini analiz ederek, yağışlı gün sayılarında meydana gelen değişimleri Yenilikçi Şen Metodu (ITA) çerçevesinde ortaya koymak ve söz konusu değişimlerin eğilim özelliklerini değerlendirmektir.

2. MATERYAL VE METOT

Mersin, Toros Dağları'nın sarp yamaçları ile Akdeniz'in geniş kıyı ovaları arasında, kısa mesafede keskin topografik ve iklimsel değişimlerin yaşandığı kompleks bir coğrafyaya sahiptir (Karabulut vd., 2018). Şehrin morfolojik yapısını şekillendiren Orta Toroslar, kıyı ile iç kesimler arasında klimatik bir bariyer oluştururken; Tarsus ve Göksu deltaları gibi alüvyal düzlükler tarımsal açıdan hayati önem taşımaktadır. Şehir içinden akan Müftü ve Mezitli dereleri gibi düzensiz rejime sahip dereler (Şekil 1), yağış rejimindeki sapmalarla birleşerek zaman zaman yıkıcı taşkınlara sebep olmaktadır. Bölgede baskın olan tipik Akdeniz iklimi, yükseltiye bağlı olarak belirgin mikroklimatik farklılıklar sunar (Tablo 1). Kıyıda maki ve kızılçam toplulukları yaygınken, yüksek kesimlerde sedir ve karaçam ormanları ekosistemin ana unsurlarıdır. Şehrin bulunduğu alanda tipik Akdeniz iklimi hakimdir. Ancak küresel iklim değişikliği, Akdeniz Havzası'nı bir iklim sıcak noktası haline getirerek hidrolojik döngüyü sadece ortalama değerler üzerinden değil, ekstrem olayların frekansı ve zamansal dağılımı üzerinden dönüştürmektedir (Karabulut vd., 2018). Mersin, Toroslar'ın orografik etkisi ve denizel nem transferinin kesişim noktasında yer alması nedeniyle bu dalgalanmalara karşı son derece hassastır. Yağışlı gün sayısının azalmamasına rağmen yağış şiddetinin artması, dar kıyı şeridinde ani sel riskini maksimize ederken (Topuz ve Karabulut, 2019b), uzayan kurak periyotlar (Topuz vd., 2018) toprak nemi rejimini bozarak ekolojik ve ekonomik sürdürülebilirliği tehdit etmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası.

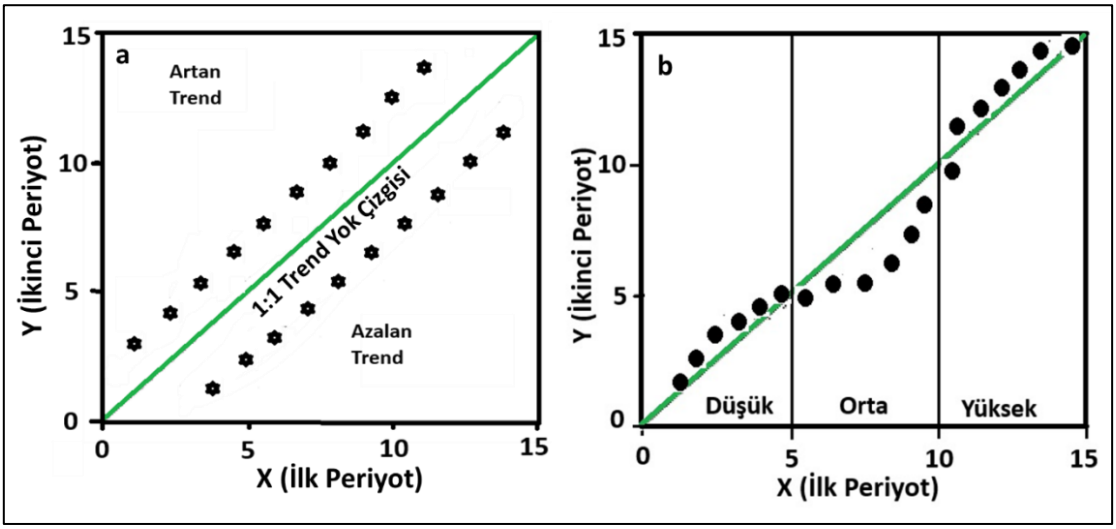
ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Tablo1. Mersin istasyonun özellikleri

Coğrafi Konum (Enlem, Boylam)	~36.86 °N, 34.68 °E
Yükselti (rakım)	~7–10 m
Köppen İklim Sınıfı	Csa – Akdeniz iklimi (sıcak, kurak yaz; ılık, yağışlı kış)
Yıllık Ortalama Sıcaklık	~19.9 °C
Yıllık Ortalama Yağış	~606–713 mm

Bu çalışmada, Doğu Akdeniz havzasında yer alan ve tarımsal/ekonomik açıdan stratejik öneme sahip olan Mersin'in yağış karakteristiği incelenmiştir. Analizlerde kullanılan 1970-2024 periyodunu kapsayan yağışlı gün sayıları, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM, 2024) veri tabanından temin edilmiştir.

Literatürde yaygın olarak kullanılan parametrik olmayan eğilim analiz yöntemleri, özellikle Mann–Kendall (MK) ve Sen'in Eğimi (Sen's Slope) testleri, zaman serisinin istatistiksel olarak bağımsız ve serisel korelasyon içermeyen bir yapıya sahip olduğu varsayımına dayanmaktadır (Karabulut, 2011; Nourani vd., 2018). Bu varsayımların sağlanmadığı durumlarda test istatistiklerinin güvenilirliği azalabilmektedir. Ayrıca söz konusu yöntemler, eğilimi tek bir özet parametre (medyan eğim ya da genel monoton trend) üzerinden değerlendirdiğinden, dağılımın alt ve üst kuyruklarında meydana gelen değişimleri ayrıştırma kapasitesi sınırlıdır. Bu durum özellikle hidroklimatolojik serilerde kurak (düşük) ve ekstrem (yüksek) değerlerin zamansal davranışını analiz etmede metodolojik bir kısıt oluşturmaktadır (Nourani vd., 2018). Bu sınırlılıkları gidermek amacıyla Şen (2012) tarafından geliştirilen Yenilikçi Şen Metodu (ITA), verinin herhangi bir dağılım varsayımına bağlı kalmaksızın eğilimin farklı büyüklük sınıflarındaki davranışını eş zamanlı olarak değerlendirmeye imkân tanımaktadır (Dabanlı vd., 2016; Nourani, 2018). ITA yaklaşımı, düşük, orta ve yüksek değerli gözlemlerdeki değişimlerin grafiksel olarak ayrıştırılmasını sağlayarak klasik monoton trend analizlerine kıyasla daha ayrıntılı bir eğilim yapısı sunmaktadır (Şekil 2; Aslanhan, 2018).



Şekil 2. ITA yönteminin grafiksel gösterimi: a) monotonik eğilim b) monotonik olmayan eğilim (Alashan, 2018).

Bu çalışmada İTA yöntemi aşağıdaki adımlar izlenerek uygulanmıştır: 1970–2024 dönemini kapsayan zaman serisi, 1970–1996 ve 1997–2024 olmak üzere iki eşit (veya yaklaşık eşit) alt döneme ayrılmıştır. Her bir alt seri kendi içinde artan düzende sıralanmış ve ilk alt seri X eksenine, ikinci alt seri Y eksenine yerleştirilerek bir saçılma diyagramı oluşturulmuştur.

Diyagram üzerine 1:1 doğrultusunda (45°) eğilim-yok referans doğrusu eklenmiştir. Veri noktalarının bu doğrunun üzerinde yoğunlaşması artan eğilime, altında yoğunlaşması azalan eğilime işaret etmektedir. Noktaların referans doğrusu üzerinde ya da simetrik biçimde dağılması ise anlamlı bir eğilimin bulunmadığı şeklinde yorumlanmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle yağış serilerinde ekstrem ve kuraklık koşullarının zamansal değişimini ayırt etmede güçlü bir görsel ve analitik çerçeve sunmaktadır.

ITA yöntemiyle hesaplanan trend eğimi (**s**) aşağıdaki formül ile ifade edilir (Şen, 2017):

$$\boldsymbol{s = \frac{2(\bar{y} - \bar{x})}{n}}$$

Burada $\bar{x}$ ve $\bar{y}$ sırasıyla birinci ve ikinci alt serilerin ortalamalarını, **n** ise toplam veri sayısını temsil eder. Trendin istatistiksel anlamlılığı için hesaplanan **s** değeri, standart hata (σ_s) ile karşılaştırılarak güven aralıkları (örn. %95) dahilinde test edilir.

Bu çalışmada ITA yönteminin tercih edilme sebebi, Mersin gibi yağış rejimi değişken olan bölgelerde, toplam yağışlı gün sayısındaki artış veya azalışın ekstrem (çok yağışlı) veya kurak (az yağışlı) günlerin hangisinden kaynaklandığını net bir şekilde ayırt edebilmesidir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

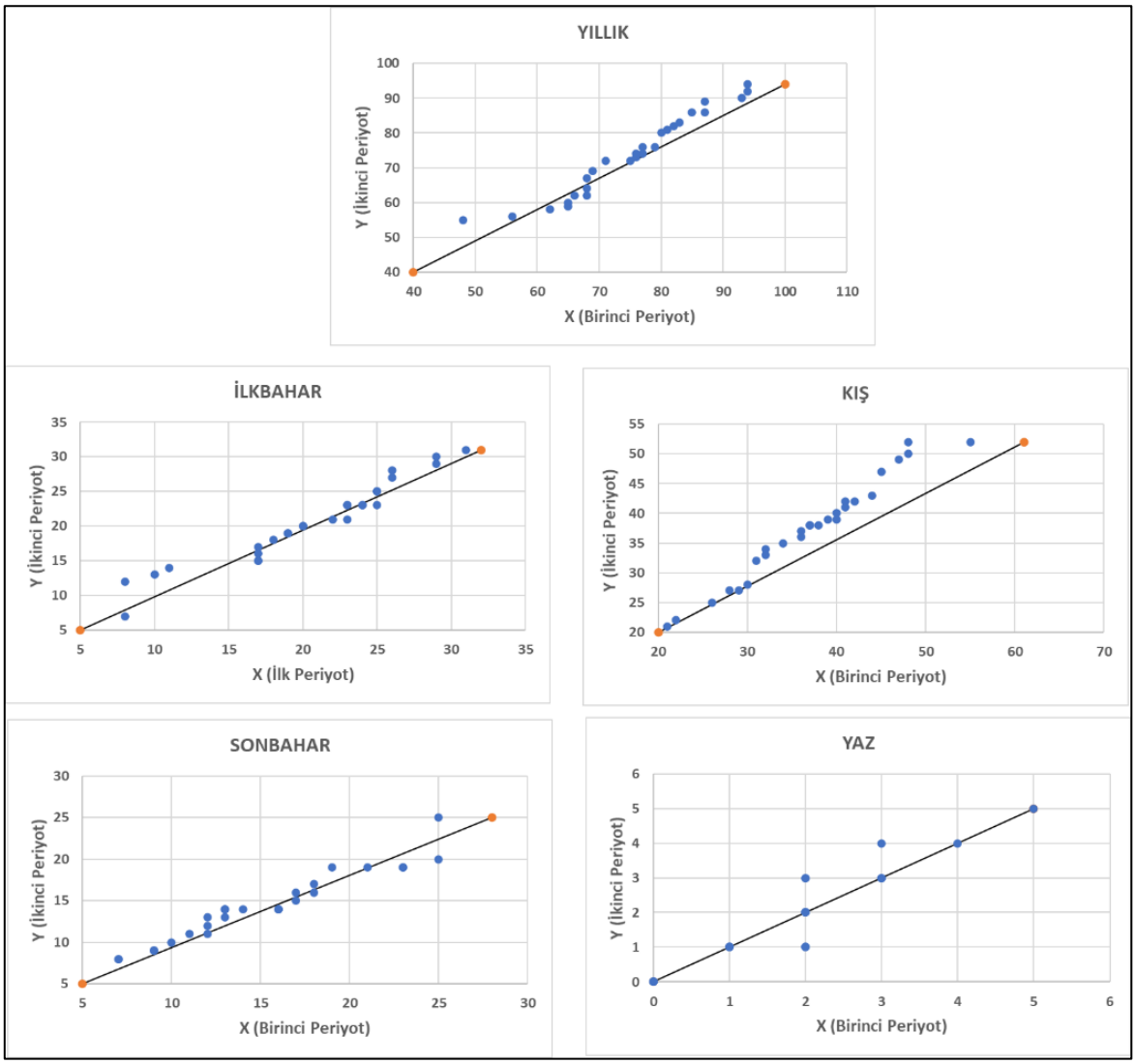
3.1 Yıllık ve Mevsimlik Değerlendirme

ITA yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 3'te sunulmuştur. Yıllık trendi gösteren grafik incelendiğinde, veri noktalarının önemli bir bölümünün 1:1 (45°) referans doğrusunun üzerinde kümelendiği görülmektedir. Bu durum, çalışma alanında yıllık ölçekte yağışlı gün sayısında artış yönlü bir eğilimin bulunduğuna işaret etmektedir. Özellikle 70–90 gün aralığındaki orta ve yüksek değerli gözlemlerde referans doğrusunun üzerine çıkma eğiliminin daha belirgin olması, yağışlı gün sayısının tarihsel ortalamalara kıyasla artma potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Bununla birlikte, 1970–2024 dönemini kapsayan analizde Mersin için hesaplanan Z değeri (-0.538), istatistiksel anlamlılık için kullanılan ±1.96 kritik sınırlarının içerisinde kalmaktadır. Bu sonuç, yıllık ölçekte gözlenen değişimin istatistiksel olarak anlamlı bir trend oluşturmadığını ($p = 0.59$) ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, uzun dönemli zaman serisi incelendiğinde yağışlı gün sayılarının yıllık ölçekte zamana bağlı olarak belirgin bir artış ya da azalış eğilimi göstermediği, genel olarak durağan bir karakter sergilediği anlaşılmaktadır.

Kış mevsimine ait grafik, incelenen tüm dönemler içerisinde en belirgin artış eğilimini ortaya koymaktadır. Grafik incelendiğinde, veri noktalarının büyük çoğunluğunun 1:1 (45°) doğrusunun üzerinde yer aldığı görülmektedir (Şekil 3). Bu durum, Mersin'de kış aylarında gözlenen yağışlı gün sayısının çalışma periyodu boyunca genel olarak artış eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Söz konusu eğilim, bölgedeki kış yağışlarının frekansında bir artış potansiyeline işaret etmektedir. Bununla birlikte, kış mevsimi için hesaplanan Z değeri (0.25) ve P değeri (0.802), istatistiksel anlamlılık düzeyinin altında kalmaktadır. Dolayısıyla gözlenen artış eğilimi istatistiksel açıdan anlamlı değildir. Özellikle yüksek frekanslı yağışlı gün aralığında (45–55 gün) yer alan veri noktalarının 1:1 doğrusu üzerinde veya yakınında kümelenmesi, kış yağışlarının frekansında sınırlı bir artış eğiliminin varlığını ortaya koymaktadır. Ancak bu eğilim, istatistiksel anlamlılık eşiğini aşacak düzeyde değildir. Grafikte gözlenen görsel artış eğilimi, büyük ölçüde iki alt dönem arasındaki aritmetik ortalamalar arasındaki küçük farktan ($\bar{y}>\bar{x}$) kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, söz konusu farkın büyüklüğü oldukça sınırlı olduğundan, bu değişim istatistiksel açıdan anlamlı bir trendden

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ziyade doğal iklim değişkenliğinin oluşturduğu tesadüfi dalgalanmalar kapsamında değerlendirilmelidir.



Şekil 3. Mersin'de yağışlı gün sayılarının yıllık ve mevsimsel değişimi

İlkbahar verileri daha dağınık bir yapı sergilemekle birlikte genel eğilim yine artış yönündedir. Düşük frekanslı yağışlı günlerde (5-15 gün arası) artış daha baskınken, yüksek frekanslı dönemlerde noktalar doğruya yaklaşmaktadır (Şekil 3). Bu da ilkbahar yağışlarının frekansında bir homojenleşme veya düşük yağışlı yılların iyileşmesi olarak yorumlanabilir. İlkbahar mevsimi yağışlı gün sayıları için $Z = -0.138$ ve $P = 0.890$ değerleri elde edilmiştir. Hesaplanan Z değerinin 1.96 kritik eşiğinin çok altında kalması ($P > 0.05$), İlkbahar aylarında yağışlı gün sayısında 1970-2024 yılları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir trendin bulunmadığını göstermektedir. Grafiklerde görülen küçük dalgalanmalar iklimsel bir eğilimden ziyade serinin doğal varyasyonu olarak değerlendirilmelidir. Düşük ve yüksek değerli yağışlı günlerin referans çizgisine oldukça yakın dağılması, mevsimsel geçişlerdeki yağış rejiminin korunduğunu göstermektedir.

Yaz grafiği, Mersin'in karakteristik Akdeniz iklimi gereği oldukça düşük değerlere (0-5 gün) sahiptir. Veri noktaları 45° çizgisinin etrafında ve üzerinde salınım yapmaktadır (Şekil 3). Yaz yağışları zaten nadir olduğu için buradaki değişimlerin toplam su bütçesine etkisi kısıtlıdır, ancak ekstrem düşük değerlerde (0-2 gün) bir artış eğilimi izlenmektedir. Yaz

mevsimi yağışlı gün sayılarında İTA analiz sonuçlarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir trend saptanmamıştır (Z = -0,080; P = 0,936 > 0,05). Yaz aylarındaki yağışlı gün sayısının oldukça düşük olması (ortalama ~1,6 gün) ve hesaplanan Z-skorunun sıfıra çok yakın olması, bu mevsimdeki yağış frekansının çalışma periyodu boyunca tam bir durağanlık sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu durum, yaz kuraklığının frekans bazında şiddetini koruduğunu ve anlamlı bir değişim geçirmediğini doğrulamaktadır.

Sonbahar grafiği, diğer mevsimlere oranla daha kararlı (stabil) veya hafif artış eğilimli bir yapı sunmaktadır (Şekil 3). Veri noktaları 1:1 doğrusuna oldukça yakın seyretmekte, ancak üst bölgede daha fazla yoğunlaşmaktadır. Bu durum, sonbahar yağışlı gün sayısında radikal bir değişimden ziyade, dengeli bir artışın söz konusu olduğunu ortaya koymaktadır. Sonbahar analizinde elde edilen Z = -0,126 ve P = 0,899 değerleri, mevsimsel bazda hafif bir negatif eğilime işaret etse de istatistiksel olarak durağanlığı temsil etmektedir. Veri noktaları 5-25 gün aralığında doğrusal bir yayılım göstermektedir. Bu durum, sonbahar yağış frekansının son 54 yılda oldukça kararlı bir yapı sergilediğini göstermektedir.

ITA grafikleri her ne kadar bazı veri noktalarında görsel kaymalar sunsa da Şen (2017) anlamlılık testi bu değişimlerin iklimsel bir trendden ziyade doğal değişkenlikten kaynaklandığını matematiksel olarak doğrular niteliktedir.

3.2 Aylık Değerlendirme

İTA yöntemi kullanılarak çalışma alanında aylık ölçekte yağışlı gün sayılarında meydana gelen değişim ve eğilimler incelenmiştir. Ancak yaz aylarında yağışlı gün frekanslarının oldukça düşük düzeylerde gerçekleşmesi ve veri dağılımının sınırlı varyasyon göstermesi nedeniyle, söz konusu aylara ilişkin eğilim analizleri anlamlı sonuçlar üretme potansiyeli taşımadığından değerlendirme kapsamı dışında bırakılmıştır.

3.2.1 Kış (OŞA)

Sonuçlar incelendiğinde, aylara göre heterojen bir dağılım söz konusudur. Ocak ayında noktaların büyük çoğunluğunun 1:1 çizgisinin üzerinde toplandığı görülmektedir (Şekil 4). Bu durum, Mersin'de ocak ayı yağışlı gün sayılarında belirgin bir artış trendi olduğunu göstermektedir. Özellikle yüksek değerlerdeki (yoğun yağışlı aylar) artış, kış yağışlarının frekansının arttığını ortaya koymaktadır. Grafiğin sağ üst kısmındaki (20-25 gün bandı) noktaların çizginin üzerinde olması, ocak aylarında çok yağışlı gün sayısı frekansının arttığını göstermektedir. Yağışlı gün sayısındaki bu artış, ocak ayında Mersin kıyı şeridinde ani sel ve drenaj sorunları riskinin yükseldiğinde işaret etmektedir. Son dönemlerde yaşanan sel felaketleri bu sonucu doğrular niteliktedir (Topuz ve Karabulut, 2019b)

Aralık ve şubat aylarında ise noktalar çizgi etrafında daha dengeli dağılmış olup, anlamlı bir artış veya azalıştan ziyade durağan bir seyir gözlemlenmektedir. Şubat ayı grafiğinde noktalar 1:1 çizgisinin her iki tarafına da dağılmış olsa da orta ve yüksek değerlerde bir kümelenme fark edilmektedir (Şekil 4). 8-12 gün bandındaki noktaların bir kısmının çizginin altında kalması, ortalama yağışlı gün sayısına sahip şubat aylarında hafif bir azalma eğilimi olduğunu göstermektedir. En uç noktaların (18-20 gün) çizgiye çok yakın olması, ekstrem yağışlı şubat aylarının karakterini koruduğunu ancak artış trendi içermediğinin delilini oluşturmaktadır. Şubat ayı, ocak ayındaki net artışın aksine daha kararsız bir yapı sergilemekte ve yer yer azalış sinyalleri vermektedir.

Aralık ayı verileri, genel olarak 1:1 doğrusuna paralel ve büyük oranda üstünde seyretmektedir. 5-15 gün bandındaki noktaların çizgi üzerinde yer alması, aralık aylarında yağışlı gün sayısının tarihsel olarak artış eğiliminde olduğunu doğrular niteliktedir. 20 gün ve

üzerindeki uç değerler çizginin üzerinde konumlanmış durumdadır, bu da ekstrem aralık aylarının frekansının stabil kaldığını göstermektedir.

3.2.2 İlkbahar (MNM)

Mart ayında düşük ve orta seviyeli yağışlı gün sayılarında bir artış gözlenirken, nisan ayında noktaların çoğunlukla çizginin altında kalması dikkat çekicidir (Şekil 4). Bu, nisan ayında yağışlı gün sayısında bir azalma eğilimi olduğunu kanıtlamaktadır. Mayıs ayında ise veriler çizgiye çok yakın seyretmekte, bu da trendin nötr olduğunu göstermektedir. Mart ayı grafiği incelendiğinde, noktaların büyük çoğunluğunun 1:1 çizgisinin üzerinde yer aldığı görülmektedir. Mart ayında yağışlı gün sayılarında belirgin bir artış söz konusudur. Yağışlı gün sayısının az olduğu yıllarda bile (0-10 gün arası), noktaların çizgi üzerinde olması, kurak mart aylarının frekansının azaldığına işaret etmektedir. 14-16 gün bandındaki uç değerlerin çizgi üzerinde olması, mart aylarının eskiye nazaran daha nemli ve yağışlı gün sayısının yüksek geçtiğini kanıtlamaktadır.

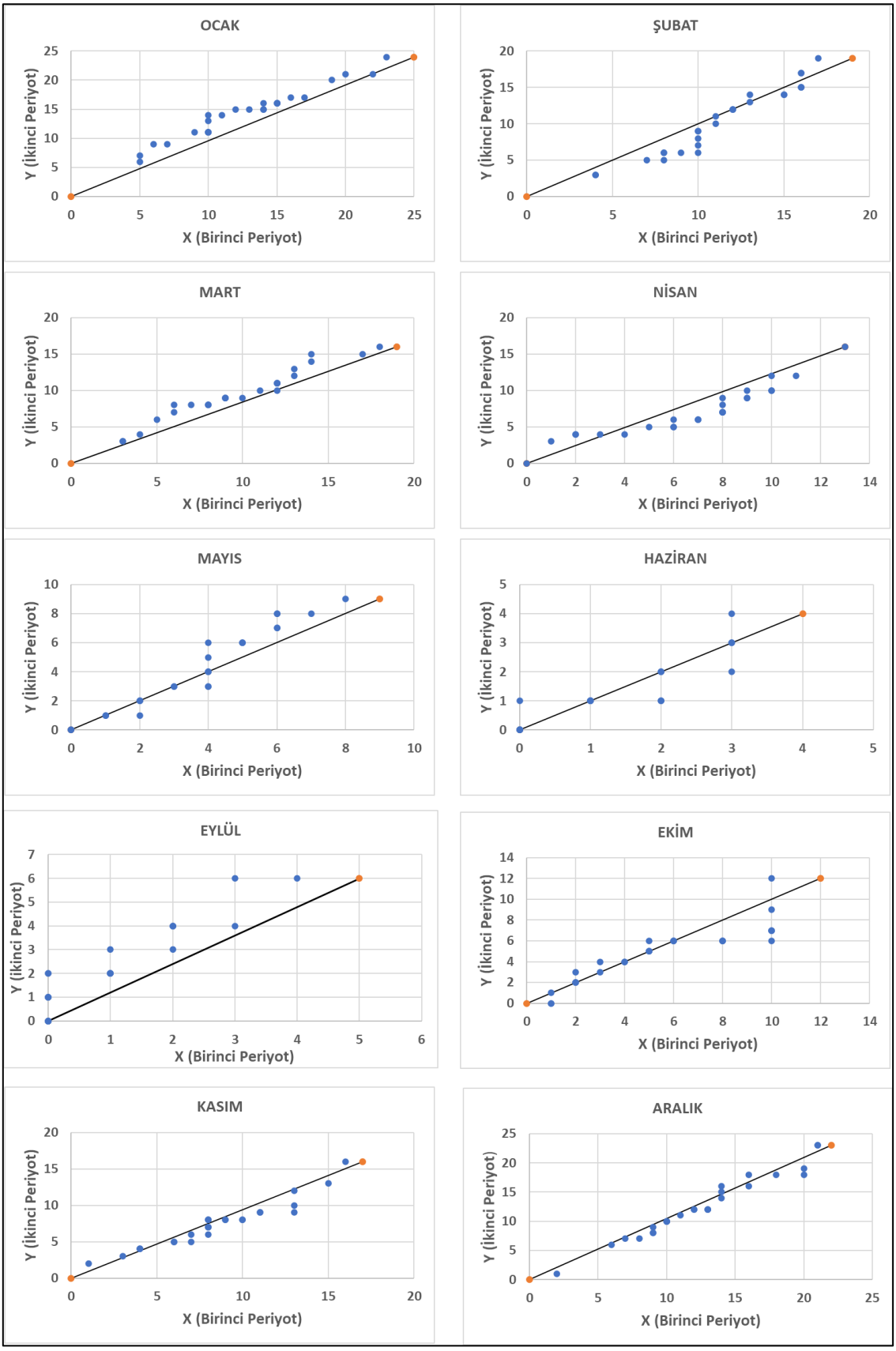
Nisan ayı grafiği, mart ayının tam aksine noktaların büyük oranda 1:1 çizgisinin altında kümelendiğini göstermektedir. Bu durum, Mersin'de nisan ayı yağışlı gün sayılarında ciddi bir azalma eğilimi olduğunu ortaya koymaktadır. Nisan ayı, tarımda sulama ihtiyacının başladığı kritik bir aydır. Sağ üst köşedeki yüksek yağışlı gün sayılarına sahip noktalar bile çizgiye çok yakın veya altında seyretmektedir; bu da yağışlı nisan aylarının artık nadirleştiğini gösterir niteliktedir. Mayıs ayı verileri incelendiğinde, noktaların 1:1 doğrusu etrafında oldukça sıkı ve dengeli bir dağılım sergilediği görülmektedir. Mayıs ayında yağışlı gün sayılarında uzun vadeli belirgin bir trend (artış veya azalış) gözlemlenmemektedir. Grafiğin sol tarafında (0-4 gün arası) hafif bir çizgi altı eğilim olsa da genel toplamda mayıs ayı yağış karakteristiği zamana karşı dirençli ve durağan bir seyir izlemektedir.

3.2.3 Sonbahar (EEK)

Eylül ayı grafiği, sonbaharın başlangıcında yağışlı gün sayılarında belirgin bir artış eğilimi sergilemektedir. Veri noktalarının büyük çoğunluğu 1:1 doğrusunun üzerinde kümelenmiştir (Şekil 4). Eylül ayında yağışlı gün sayısının tarihsel süreçte arttığı görülmektedir. Özellikle düşük ve orta seviyeli yağışlı gün sayılarındaki artış daha belirgindir. Bu durum, bölgede sonbahar yağışlarının erkene çekilmeye başladığının veya eylül ayının daha yağışlı karakterli bir hal aldığının göstergesi olabilir. Ekim ayı verileri, daha karmaşık ve eşik değerine bağlı bir yapı sunmaktadır. Düşük yağışlı gün sayılarında noktalar 1:1 çizgisi etrafında (nötr) seyrederken, yüksek frekanslı yağışlı gün sayılarında (grafiğin sağ üst kısmı) noktalar doğrunun altında kalmaktadır. Ekim ayında genel bir trendden ziyade, ekstrem yağışlı dönemlerde bir azalma eğilimi olduğu söylenebilir. Yani, ekim ayının çok yağışlı geçtiği yılların frekansında bir düşüş yaşanmaktadır. Kasım ayı grafiği, eylül ayının aksine net bir azalış trendi ortaya koymaktadır. Veri noktalarının neredeyse tamamı 1:1 doğrusunun altında konumlanmıştır. Mersin'de kasım ayı yağışlı gün sayılarında istatistiksel olarak belirgin bir azalma yaşanmaktadır. Kasım ayı geleneksel olarak Akdeniz ikliminde yağışların arttığı bir dönem olmasına rağmen, bu veriler sonbahar kuraklaşmasının kasım ayında kendini daha hissettirdiğini kanıtlamaktadır.

Mersin için sonbahar mevsimi trendleri bütüncül olarak ele alındığında şu sonuçlara varılabilir. Eylül ayındaki artış ve Kasım ayındaki belirgin azalış, yağış rejiminde bir zamansal kayma yaşandığına işaret etmektedir. Yağışlı günlerin Kasım'dan Eylül'e doğru bir miktar esnediği, ancak Kasım ayındaki kaybın daha baskın olduğu söylenebilir.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Şekil 4. Mersin'de yağışlı gün sayılarının aylık değişimi

. SONUÇ

Mersin ilinin 1970–2024 dönemine ait günlük yağış verileriyle yapılan analizler, küresel ısınmanın yerel hidro-klimatolojik etkilerini ortaya koymaktadır. Yıllık ve mevsimsel ölçekte hesaplanan Z-skorları ve p-değerleri, yağışlı gün sayısında istatistiksel olarak anlamlı bir uzun dönem trendi olmadığını, değişimlerin tarihsel varyasyon sınırları içinde kaldığını göstermektedir. Ancak aylık ölçekli değerlendirmeler, yağışın takvimsel dağılımında belirgin kaymalar yaşandığını ortaya koymaktadır. Ocak ve mart aylarında daha nemli bir periyoda girilirken, geleneksel olarak yağışlı kabul edilen kasım ayında azalış gözlenmesi, Akdeniz yağış rejiminde yapısal bir değişim sinyali vermektedir. Nisan ayındaki düşüş eğilimi, bitki gelişim döneminde toprak nemi üzerinde baskı oluşturma potansiyeline sahipken; eylül ayındaki artışlar hasat döneminde tarımsal riskleri artırabilecek niteliktedir. Ocak ayında yağışlı gün frekansındaki artış, Clausius-Clapeyron ilişkisi çerçevesinde değerlendirildiğinde, kent merkezi ve kıyı düzlüklerinde sel riskinin yalnızca toplam yağış miktarı üzerinden değil, yağış sıklığı üzerinden de ele alınması gerektiğini göstermektedir. Bu bağlamda kış aylarında artan yağış frekansına karşı kentsel drenaj kapasitesinin güçlendirilmesi önem taşımaktadır. Ayrıca gelecekte yapılacak çalışmalarda yağışlı gün sayısı ile günlük maksimum yağış şiddeti arasındaki korelasyonun incelenmesi, yağış rejimindeki seyrekleşme ve şiddetlenme dinamiklerinin daha kapsamlı anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak bu araştırma, Mersin'in iklim değişikliğinin yalnızca miktar temelli etkilerine değil, aynı zamanda yağışların zamansal dağılımı ve gerçekleşme sıklığındaki yapısal değişimlere de maruz kaldığını tespit etmiştir.

5. KAYNAKÇA

Allan, R. P., & Soden, B. J. (2008). Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes. *Science, 321*(5895), 1481–1484.

Allen, M. R., & Ingram, W. J. (2002). Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. *Nature, 419*(6903), 224–232.

Alashan, S. (2018). "An improved version of innovative trend analyses." Arabian Journal of Geosciences, 11(3), 50.

Dabanlı, İ., Şen, Z., Yeleğen, M. Ö., Şişman, E., Selek, B., and Güçlü, Y. S. (2016). "Trend Assessment by the Innovative-Şen Method." Water Resources Management.

Donat, M. G., Lowry, A. L., Alexander, L. V., O'Gorman, P. A., & Maher, N. (2016). More extreme precipitation in the world's dry and wet regions. *Nature Climate Change, 6*, 508–513.

Giorgi, F., & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change, 63*(2-3), 90-104.

Held, I. M., & Soden, B. J. (2006). Robust responses of the hydrological cycle to global warming. *Journal of Climate, 19*(21), 5686–5699.

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.

Karabulut, M, 2012, Doğu Akdeniz'de Ekstrem Maksimum ve Minimum Sıcaklıkların Trend Analizi, KSÜ Doğa Bil. Der., Özel Sayı, 2012.

Karabulut, M., Topuz, M. ve Aydın, K., 2018, Mersin'de Sıcaklıklar Artıyor mu? Küresel Isınma Bağlamında Bir Değerlendirme, I. Uluslararası Mersin Sempozyumu, 1-3 Kasım 2018.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM]. (2024). *Resmi istatistikler: Mersin ili iklim verileri*. https://www.mgm.gov.tr

Nourani, V., Danandeh Mehr, A. & Azad, N. (2018). Trend analysis of hydroclimatological variables in Urmia lake basin using hybrid wavelet Mann–Kendall and Şen tests. Environ Earth Sci 77, 207. https://doi.org/10.1007/s12665-018-7390-x

O'Gorman, P. A., & Schneider, T. (2009). The physical basis for increases in precipitation extremes in simulations of 21st-century climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 106*(35), 14773–14777.

Şen, Z. (2012). Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrologic Engineering, 17*(9), 1042-1046.

Şen, Z. (2014). Trend identification simulation and application. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3):635-642.

Şen, Z. (2017). Innovative trend significance test and application. *Theoretical and Applied Climatology, 127*(3-4), 723-731.

Topuz M., M. Karabulut ve İ., Doğan 2018, Mersinde Meteorolojik Kuraklık Üzerine Bir Değerlendirme, I. Uluslararası Mersin Sempozyumu, 1-3 Kasım 2018.

Topuz M., Karabulut, M., 2019a, Mersin'de Yağışlı Gün Sayısı Değişiyor Mu? 2. International Mersin Symposium, 10.10.2019.

Topuz M., Karabulut, M., 2019b, Mersin'de Meydana Gelen Seller: Sorunun Arkasındaki Karmaşık Beşeri Ve Doğal Faktörler, 2. International Mersin Symposium, 10.10.2019.

Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research, 47*, 123–138.

Türkeş, M., Koç, T., & Sarış, F. (2011). Türkiye'de yağışlı gün sayılarındaki değişimlerin ve eğilimlerin mekânsal ve zamansal analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, (24), 1-27.

World Meteorological Organization (WMO). (2018). *Guide to climatological practices (WMO-No. 100)*. Geneva: WMO.

Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G. C., Jones, P., Tank, A. K., Peterson, T. C., Trewin, B., & Zwiers, F. W. (2011). Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *WIREs Climate Change, 2*(6), 851–870.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

DOĞU AKDENİZ GEÇİŞ KUŞAĞINDA TROPİK GECE EĞİLİMLERİNİN MEKÂNSAL-ZAMANSAL ANALİZİ: GAZİANTEP, KİLİS VE İSLÂHİYE ÖRNEĞİ

Prof. Dr. Murat KARABULUT

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, mkarabulut@ksu.edu.tr - 0000-0002-1456-6908

Dr. Öğrencisi Hüsna KAZI

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, husnakazi35@gmail.com - 0000-0002-3742-7329

Özet

Sanayi Devrimi sonrasında atmosferde yoğunlaşan sera gazı birikimi, küresel iklim sisteminde ivme kazanan bir ısınma sürecini beraberinde getirmiştir. Günümüzde belirgin bir hal alan küresel ısınma olgusu, yalnızca ortalama yüzey sıcaklıklarındaki artışla sınırlı kalmayıp; ekstrem hava olaylarının frekans, süre ve şiddetinde de yapısal değişimlere yol açmaktadır. Bu çalışma, Doğu Akdeniz ile Güneydoğu Anadolu geçiş kuşağında yer alan Gaziantep, Kilis ve İslahiye istasyonlarında 1970–2020 dönemine ait tropik gece frekanslarındaki uzun dönemli eğilimleri ve değişkenliği incelemektedir. İklim değişikliğinin yerel etkilerini belirlemek amacıyla kullanılan Mann-Kendall testi ve Sen Slope trend sonuçlarına göre; her üç istasyonda da tropik gece sayılarında istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif bir artış eğilimi saptanmıştır. Analizler, en keskin artışın yıllık düzeyde Kilis ve Gaziantep'te gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Mevsimsel bazda, ısınma trendinin özellikle temmuz ve ağustos aylarında yoğunlaştığı, ancak Kilis örneğinde olduğu gibi bu eğilimin mayıs ayından ekim ayına kadar genişleyerek sıcak dönem süresini uzattığı gözlemlenmiştir. Varyans-Kovaryans ve Korelasyon matris sonuçları, yaz aylarındaki sıcaklık artışlarının sistematik bir süreklilik arz ettiğini ve yıllık toplam trendin temel belirleyicisinin yaz mevsimindeki değişimler olduğunu doğrulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tropik Gece, Trend analizi, Küresel ısınma, Gaziantep

Spatial–Temporal Analysis of Tropical Night Trends in the Eastern Mediterranean Transition Zone: The Case of Gaziantep, Kilis and Islahiye

Abstract

The accumulation of greenhouse gases in the atmosphere following the Industrial Revolution has accelerated a warming process within the global climate system. Today, the phenomenon of global warming has become increasingly evident and is not limited to increases in mean surface temperatures; it also leads to structural changes in the frequency, duration, and intensity of extreme weather events. This study examines the long-term trends and variability of tropical night frequencies for the period 1970–2020 at the Gaziantep, Kilis, and Islahiye stations located in the transition zone between the Eastern Mediterranean and Southeastern Anatolia. In order to determine the local impacts of climate change, Mann–Kendall and Sen's Slope trend analyses were applied. The results indicate statistically significant and positive increasing trends in the number of tropical nights at all three stations. The analyses reveal that the sharpest annual increases occur in Kilis and Gaziantep. On a seasonal basis, the warming trend is particularly concentrated in July and August; however, as observed in the case of Kilis, this trend extends from May to October, effectively prolonging the duration of the warm period. Variance–covariance and correlation matrix results further confirm that the temperature increases during the summer months exhibit a systematic persistence and that changes occurring in the summer season constitute the primary driver of the overall annual trend.

Keywords: Tropical Night, Trend Analysis, Global Warming, Gaziantep.

1. GİRİŞ

Küresel iklim sistemi, Sanayi Devrimi'nden itibaren atmosferde biriken sera gazlarının artışına bağlı olarak hızlanan ve günümüzde belirginleşen bir ısınma süreci yaşanmaktadır (IPCC, 2023). Küresel ısınma olarak tanımlanan bu süreç, yalnızca ortalama yüzey sıcaklıklarının yükselmesiyle sınırlı değildir; aynı zamanda ekstrem iklim olaylarının sıklığı, süresi ve şiddetinde kayda değer değişimlere yol açmaktadır. Bu bağlamda, gece minimum sıcaklığının 20°C'nin altına düşmediği günler olarak tanımlanan Tropik Geceler (TN), iklim değişikliğinin en hassas göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Tropik geceler, atmosferin gündüz boyunca biriktirdiği ısının gece saatlerinde yeterince kaybedilememesiyle ilişkili olup, artan sera etkisinin doğrudan bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Nitekim minimum sıcaklıkların (Tmin) maksimum sıcaklıklara (Tmax) kıyasla daha hızlı artış göstermesi, radyatif zorlamanın güçlendiğini ortaya koyan önemli bir iklimsel sinyal olarak kabul edilmektedir (Alexander vd., 2006).

Tropik geceler, Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) tarafından standartlaştırılmış ekstrem sıcaklık indisleri arasında yer almakta olup (WMO, 2009), iklim sisteminin ortalama değerlerden ziyade uç değerlere doğru kayma eğilimini ortaya koymaktadır (Aydın ve Karabulut, 2022). Gece sıcaklıklarının yüksek seyretmesi, yalnızca termal konforu azaltmakla kalmamakta; aynı zamanda insan sağlığı, enerji talebi ve tarımsal üretkenlik üzerinde doğrudan etkiler yaratmaktadır. Bir ısı dalgasının yıkıcı etkisi, gündüz ulaşılan maksimum sıcaklık kadar, gece boyunca yeterli soğumanın gerçekleşip gerçekleşmemesiyle de ilişkilidir (Karabulut ve Topuz, 2019). Tropik gecelerin ardışık biçimde yaşanması, ısı stresinin kümülatif olarak artmasına neden olmakta ve bu durum halk sağlığı risklerini belirginleştirmektedir (Kovats ve Hajat, 2008).

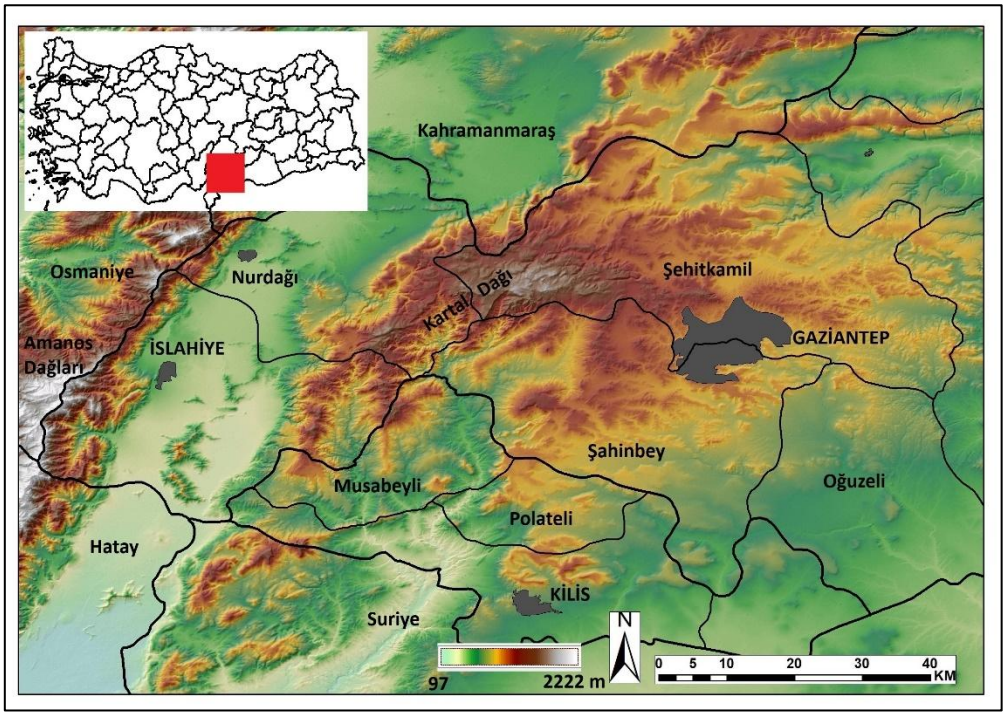
Küresel ölçekte değerlendirildiğinde, Akdeniz Havzası iklim değişikliğine duyarlı bir saha olarak tanımlanmakta ve küresel ortalamadan daha hızlı bir ısınma eğilimi sergilemektedir (Kızılelma vd., 2015; Lionello ve Scarascia, 2018). Bu havzanın doğu kesiminde yer alan Türkiye'de, topoğrafik çeşitlilik ve farklı iklim sistemlerinin etkileşimi nedeniyle ısınma eğilimleri bölgesel ölçekte farklılık göstermektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, Türkiye genelinde sıcak hava dalgaları ve yaz ekstremlerinde istatistiksel olarak anlamlı artışlar olduğunu ortaya koymaktadır (Türkeş vd., 2020).

Güneydoğu Anadolu ile Akdeniz iklim kuşağının geçiş sahasında yer alan Gaziantep, İslahiye ve Kilis, yarı kurak iklim özellikleri nedeniyle sıcaklık değişimlerine karşı hassas alanlardır. Bölge, tarımsal faaliyetlerin yoğunluğu ve hızlı şehirleşme süreçleri nedeniyle antropojenik etkilerin belirgin olduğu bir yapıya sahiptir. Bu çalışma, söz konusu istasyonlardan elde edilen uzun dönemli günlük minimum sıcaklık verilerini kullanarak tropik gece sayılarındaki zamansal değişimi ve eğilimleri analiz etmeyi amaçlamaktadır.

1.1. Çalışma Alanının Coğrafi Özellikleri

Çalışma alanı, Türkiye'nin güneyinde, Akdeniz Bölgesi ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin kesişim sahasında konumlanan Gaziantep (Merkez), İslahiye ve Kilis meteoroloji istasyonlarını kapsamaktadır (Şekil 1). Söz konusu saha, coğrafi konumu itibarıyla Akdeniz kökenli nemli hava kütleleri ile Güneydoğu Anadolu'nun karasal karakterli hava kütleleri arasında bir geçiş zonu niteliği taşımakta; bu özelliğiyle farklı iklimsel süreçlerin etkileşim alanını oluşturmaktadır (Türkeş, 2010).

ISBN NR: 978-625-5694-96-6



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan istasyonların özellikleri.

İstasyon	**Konum**	**Yükselti (m)**	**Coğrafi Bölge**	**Köppen-Geiger**	**Erinç**	**De Martonne**
Gaziantep	37.06° K 37.37° D	854 m	Güneydoğu Anadolu (Gaziantep Platosu)	Csa (Sıcak Yazlı Akdeniz)	Yarı Kurak	Yarı Kurak -Nemli Arası (11.72)
İslahiye	37.02° K 36.63° D	518 m	Akdeniz (Antakya-Kahramanmaraş Grabeni)	Csa (Sıcak Yazlı Akdeniz)	Yarı Nemli	Yarı Kurak -Nemli Arası (15.08)
Kilis	36.71° K 37.11° D	640 m	Güneydoğu Anadolu (Kilis Platosu)	Csa/BSh (Akdeniz-Step Geçiş)	Yarı Kurak	Yarı Kurak (8.84)

Çalışma alanının topografyası, batıda Nur (Amanos) Dağları'nın etkisiyle şekillenmektedir. Özellikle İslâhiye, Nur Dağları ile doğudaki platolar arasında kalan tektonik bir oluk (Graben) üzerinde yer alması nedeniyle, denizel etkilerin iç kesimlere geçmesine olanak tanıyan bir koridor görevi görmektedir. Buna karşın Gaziantep ve Kilis, deniz etkisinden uzaklaştıkça artan yükselti ve karasallık etkisiyle daha sert iklim koşullarına sahiptir. Ortalama yükselti Gaziantep çevresinde 850 m civarındayken, güneye doğru Kilis hattında 650 m seviyelerine inmektedir.

Çalışma sahası, Köppen–Geiger İklim Sınıflandırması'na göre genel olarak sıcak ve kurak yaz koşullarıyla karakterize edilen Akdeniz iklimi (Csa) ile yarı kurak step iklimi (BSh/BSk) arasında geçiş özelliği göstermektedir (Tablo 1). Yaz mevsiminde tropikal hava kütlelerinin kuzeye doğru genişlemesi ve Muson Alçak Basıncı'nın Basra Körfezi üzerinde derinleşmesi sonucu bölge güçlü sıcak ve kurak bir hava kütlesinin etkisi altına girmektedir

(Kızılelma vd., 2015; Türkeş, 2020). Söz konusu sinoptik dolaşım yapısı, inceleme alanında gözlenen tropik gün ve tropik gece frekanslarının oluşumunda belirleyici bir rol oynamaktadır.

Bölge, Türkiye'de tarımsal üretim açısından büyük önem taşıyan Güneydoğu Anadolu havzasının batı kesiminde yer almakta olup özellikle Antep fıstığı, zeytin, bağcılık ve tahıl üretimi gibi faaliyetlerin yoğunlaştığı önemli bir tarım alanını oluşturmaktadır. Bununla birlikte, sıcaklık ekstremlerindeki artış ve buna bağlı olarak güçlenen evapotranspirasyon süreçleri, bölgedeki su kaynakları ile bitki fenolojisi üzerinde önemli baskılar meydana getirmektedir (Erlat & Türkeş, 2017). Yarı kurak iklim özelliklerinin hâkim olduğu ve ekolojik açıdan kırılgan bir yapıya sahip olan bu saha, çölleşme süreçlerine duyarlılık bakımından Türkiye'nin en hassas alanları arasında değerlendirilmektedir (Şensoy vd., 2008).

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, 1970–2020 dönemini kapsayan günlük meteorolojik veriler kullanılmıştır. Veriler, Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) veri tabanından temin edilmiştir. Veri setinin sürekliliği ve kalitesi, eksik verilerin kontrolü ve homojenlik testleri ile doğrulanmıştır. Günlük veriler, aylık, yıllık ve mevsimsel ortalamalara dönüştürülerek analiz edilmiştir.

Zaman serilerindeki eğilimlerin belirlenmesi amacıyla parametrik olmayan istatistiksel yöntemler tercih edilmiştir. Parametrik olmayan testler, verilerin belirli bir dağılım varsayımını (özellikle normal dağılım) sağlamasını gerektirmemesi nedeniyle klimatolojik ve hidrolojik çalışmalarda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, tropik gece sayılarında meydana gelen eğilimlerin yönünü ve istatistiksel anlamlılığını belirlemek amacıyla parametrik olmayan Mann-Kendall Testi (MK) ve eğilim büyüklüğünün hesaplanmasında Sen Slope (SS) yöntemlerinden yararlanılmıştır (Mann, 1945; Kendall, 1975; Sen, 1968). MK testi, zaman serilerinde monotonik artış veya azalış şeklindeki eğilimlerin belirlenmesi için kullanılan güçlü ve güvenilir bir yöntemdir. Bu testin önemli avantajlarından biri, veri setinin normal dağılım gösterme zorunluluğunun bulunmaması ve uç değerlerden görece daha az etkilenmesidir. Bu özellikleri nedeniyle özellikle iklim ve hidroklimatolojik zaman serilerinin analizinde yaygın olarak tercih edilmektedir. n gözlem sayısını ifade etmek üzere, MK testinde kullanılan S test istatistiği aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\boldsymbol{s} = \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}-1} \sum_{\mathrm{J}=\mathrm{i}+1}^{\mathrm{n}} \operatorname{sgn}\left(x_j - x_i\right)$$

Burada x_i ve x_j, sırasıyla i ve j zamanlarındaki veri değerleridir. n > 10 olduğu durumlarda, S istatistiği yaklaşık olarak normal dağılım sergiler. Testin sonucunda elde edilen Z değeri, trendin yönünü ve gücünü ifade eder. Bu çalışmada anlamlılık düzeyi α = 0.05 (%95 güven aralığı) olarak belirlenmiştir.

Trendin büyüklüğünü (eğimini) tahmin etmek için Sen (1968) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem, veri setindeki tüm çiftler arasındaki medyan eğimi hesaplayarak uç değerlere karşı dirençli bir tahmin sunar:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \; için \; i = 1, \dots, N$$

Burada Q değeri, birim zamandaki (bu çalışmada "gün/yıl") değişim miktarını göstermektedir.

Trend analizlerinin güvenilirliği, zaman serilerindeki içsel bağımlılığa ve özellikle otokorelasyon yapısına duyarlıdır. Ardışık gözlemler arasındaki pozitif otokorelasyon,

parametrik olmayan eğilim testlerinde varyansı etkileyerek eğilimlerin olduğundan daha anlamlı görünmesine neden olabilir. Bu nedenle seri bağımlılığının dikkate alınması gerekmektedir (Hamed & Rao, 1998). Bu çalışmada, zaman serilerinin stokastik özelliklerini değerlendirmek amacıyla varyans–kovaryans ve korelasyon matrisleri analiz edilmiştir. Varyans–kovaryans matrisi S istatistiğinin varyansının daha güvenilir tahmin edilmesini sağlarken, korelasyon matrisi farklı zaman dilimleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak tropik gece sayılarındaki eğilimlerin zamansal eşgüdümünü ve tutarlılığını değerlendirmeye katkı sağlamaktadır (Hamed & Rao, 1998). Bu kapsamda elde edilen korelasyon matrisi, tropik gece sayılarındaki eğilimlerin farklı zaman dilimleri arasında ne ölçüde eşgüdümlü gerçekleştiğini ortaya koymakta ve eğilimlerin mekânsal ve zamansal tutarlılığının değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu yöntemsel yaklaşım sayesinde, zaman serilerinde belirlenen eğilimlerin yalnızca istatistiksel anlamlılığı değil, aynı zamanda serinin içsel bağımlılık yapısı dikkate alınarak daha güvenilir biçimde yorumlanması mümkün hale gelmiştir (Hamed & Rao, 1998).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Mann-Kendall Testi ve Sen Slope Tahmincisi kullanılarak analiz edilen zaman serilerine ait istatistiksel sonuçlar Tablo 2–4'te sunulmuştur. Elde edilen bulgular, incelenen üç istasyonun tamamında yıllık tropik gece sayılarında istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönlü bir eğilimin bulunduğunu göstermektedir ($p < 0.05$). Bu durum, çalışma döneminde tropik gece frekansının istasyonların tümünde artış eğilimi sergilediğine işaret etmektedir. Gaziantep en güçlü yıllık trende ($Z = 6.80$, $p=0,00$) sahip olan istasyondur. Sen eğimi değerine göre, tropik gece sayısı her yıl ortalama 1 gün artmaktadır. Bu durum, Gaziantep'teki kentsel ısı adası etkisi ve bölgesel ısınmanın birleşik sonucuna işaret etmektedir. Kilis yıllık artış hızı ($SS = 1.035$) en yüksek istasyondur. Bu, Kilis'in daha güneyde yer alması ve çölleşme riskine daha açık olmasıyla açıklanabilir. İslahiye diğer iki istasyona göre daha düşük ($SS = 0.257$) ancak yine de anlamlı bir artış sergilemektedir.

Aylık veriler incelendiğinde, ısınmanın özellikle yaz aylarında yoğunlaştığı görülmektedir. Üç istasyonda da en yüksek Z değerlerine temmuz ve ağustos aylarında rastlanmıştır. Gaziantep'te bu aylarda Sen Eğimi sırasıyla 0.25 ve 0.27'dir. Yani her 4 yılda bir, bu aylardaki tropik gece sayısı yaklaşık 1 gün artmaktadır. Kilis ve Gaziantep'te mayıs ayından itibaren anlamlı artışlar ($p < 0.05$) başlamaktadır. Bu, sıcak dönem süresinin uzadığına dair güçlü bir kanıttır. Ekim ayında Gaziantep ve İslahiye'de anlamlı bir trend bulunmazken, Kilis'te hala anlamlı bir artış ($Z = 2.355$) mevcuttur. Bu, Kilis'te yaz koşullarının sonbahara daha fazla sarktığını göstermektedir.

Tablo 2. Gaziantep İstasyonu Mann Kendall test istatistik sonuçları.

Gaziantep	**Mann Kendall**	**P Değeri**	**Sen Eğimi**
Mayıs	2,460	**0,013**	0,00
Haziran	4,484	**0,000**	0,166
Temmuz	5,239	**0,000**	0,25
Ağustos	5,235	**0,000**	0,27
Eylül	5,277	**0,000**	0,20
Ekim	0,751	0,452	0,00
Yıllık	6,803	**0,000**	1,00
İlkbahar	2,460	**0,013**	0,00
Yaz	6,392	**0,000**	0,714

Sonbahar	5,261	**0,000**	0,20

Tablo 3. İslâhiye İstasyonu Mann Kendall test istatistik sonuçları.

İslahiye	**Mann Kendall**	**P Değeri**	**Sen Eğimi**
Mayıs	1,526	0,126	0
Haziran	1,140	0,254	0,057
Temmuz	1,549	0,121	0,046
Ağustos	2,282	**0,022**	0,062
Eylül	0,694	0,487	0,021
Ekim	-1,055	0,291	0
Yıllık	2,083	**0,037**	0,257
İlkbahar	1,526	0,126	0
Yaz	1,806	0,07	0,235
Sonbahar	1,322	0,185	0,057

Tablo 4. Kilis İstasyonu Mann Kendall test istatistik sonuçları.

Kilis	**Mann Kendall**	**P Değeri**	**Sen Eğimi**
Nisan	1,452	0,146	0,0
Mayıs	2,251	**0,024**	0,037
Haziran	3,848	**0,000**	0,171
Temmuz	5,491	**0,000**	0,25
Ağustos	6,200	**0,000**	0,277
Eylül	3,836	**0,000**	0,235
Ekim	2,355	**0,018**	0,0
Yıllık	6,674	**0,000**	1,035
İlkbahar	2,536	**0,011**	0,043
Yaz	5,634	**0,000**	0,65
Sonbahar	3,687	**0,000**	0,25

Mevsimlik analizler, çalışmanın en çarpıcı sonuçlarını ortaya koymaktadır. Her üç istasyonda da en baskın trend yaz mevsimindedir. Gaziantep (Z = 6.39, SS = 0.714) ve Kilis (Z = 5.63, SS = 0.65) yazları ciddi bir termal stres artışı altındadır. Gaziantep ve Kilis'te hem ilkbahar hem sonbahar aylarında tropik gece sayılarında artış gözlenirken, İslahiye'de mevsimlik bazda (yıllık hariç) anlamlı bir artış saptanmamıştır.

Bu sonuçlar, Türkeş vd., (2002) ile Toros (2012) tarafından Türkiye genelinde yapılan ekstrem sıcaklık çalışmalarını destekler niteliktedir. Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki bu artış, Akdeniz'in tropikleşmesi süreciyle ilişkilendirilebilir. Gaziantep (1,00 gün/yıl) ve Kilis'teki (1,035 gün/yıl) mertebesindeki yıllık artış, IPCC (2021) 6. Değerlendirme Raporu'nda belirtilen, Akdeniz havzasının küresel ortalamadan %20 daha hızlı ısındığı gerçeğiyle tutarlıdır. Bu durum, tarımsal verimlilik üzerinde negatif etki yaratabileceği gibi, gece soğuma gerçekleşmediği için insan sağlığı üzerinde ciddi riskler oluşturmaktadır.

3.1. Mann-Kendall Test İstatistikleri Varyans-Kovaryans Matris ve korelasyon Analizi

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Varyans-kovaryans matrisinin diyagonal elemanları (örneğin Mayıs-Mayıs veya Haziran-Haziran kesişimleri), her bir zaman diliminin kendi varyansını göstermektedir (Tablo 5-7). Gaziantep'te Yıllık Toplam ve Yaz mevsimi varyans değerlerinin (örneğin Yıllık Top: 15137,00) yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum, istasyonlardaki yıllık ve yazlık tropik gece sayılarının zamansal dağılımında geniş bir değişkenliğe işaret etmektedir. Varyansın yüksek olması, Mann-Kendall Z değerinin hesaplanmasında kullanılan paydanın büyüklüğünü belirler. Yüksek varyansa rağmen elde edilen anlamlı p değerleri, gözlemlenen artış trendinin tesadüfi olmadığını ve fiziksel bir temele dayandığını destekler niteliktedir.

Diyagonal dışındaki diğer kovaryans değerleri ise farklı aylar arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü ortaya koymaktadır. Özellikle haziran, temmuz ve ağustos ayları arasında yüksek pozitif kovaryanslar (Örn: Gaziantep Temmuz-Ağustos: 8799,33) dikkat çekmektedir. Bu durum, sıcaklık sürekliliği olarak adlandırılır; yani temmuz ayındaki artış, ağustos ayında da benzer bir artış olasılığını istatistiksel olarak güçlendirmektedir. İlkbahar ve Sonbahar aylarındaki kovaryans değerlerinin yaz aylarına kıyasla düşük olması, geçiş mevsimlerinde tropik gece oluşumlarının daha düzensiz ve bağımsız değişkenlere bağlı olduğu izlenimi vermektedir.

Nadir negatif değerler (Örn: Gaziantep Mayıs-Ekim: -104,00 veya İslahiye Haziran-Ekim: -1851,67) ise zaman dilimleri arasında ters yönlü ilişki veya kopukluk olabileceğini işaret etmektedir. Mann-Kendall varyans-kovaryans matrisleri, yaz aylarındaki yüksek kovaryans ile tropik gece sayılarının aylar arasında güçlü pozitif korelasyon sergilediğini doğrulamaktadır ve otokorelasyon etkisinin trend analizinde dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Hamed ve Rao, 1998).

Tablo 5. Gaziantep İstasyonu Mann-Kendall İstatistiklerinin Varyans-Kovaryans Matrisi

Gaziantep	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Yıllık	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Mayıs	2499,6	1847,0	1256,3	1612,0	1884,3	-104,0	2145,0	2499,6	1878,3	1884,3
Haziran	1847,0	15040,0	8370,0	8474,3	4693,6	323,6	10969,0	1847,0	11920,3	4701,3
Temmuz	1256,3	8370,0	15063,0	8799,3	6632,6	-679,6	11431,3	1256,3	12712,6	6595,6
Ağustos	1612,0	8474,3	8799,33	15083,0	10897,6	862,3	13261,0	1612,0	12806,0	10890,3
Eylül	1884,3	4693,6	6632,6	10897,6	14936,3	1426,3	11643,6	1884,3	8974,0	14931,6
Ekim	-104,0	323,6	-679,67	862,33	1426,3	1699,6	927,00	-104,0	10,33	1495,6
Yıllık	2145,0	10969,0	11431,3	13261,0	11643,6	927,0	15137,0	2145,0	14171,0	11632,6
İlkbahar	2499,6	1847,0	1256,3	1612,0	1884,3	-104,0	2145,0	2499,6	1878,33	1884,3
Yaz	1878,3	11920,3	12712,6	12806,0	8974,0	10,333	14171,0	1878,3	15116,6	8957,0
Sonbahar	1884,3	4701,3	6595,6	10890,3	14931,6	1495,6	11632,6	1884,3	8957,0	14933,6

Tablo 6 İslahiye İstasyonu Mann-Kendall İstatistiklerinin Varyans-Kovaryans Matrisi

İslâhiye	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Yıllık	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Mayıs	10439,3	1393,7	155,0	866,7	-1,700	316,3	687,3	10439,3	178,0	710,3
Haziran	1393,7	15066,0	6676,0	6488,3	2228,3	-1851,7	9822,3	1393,7	11830,7	3201,7
Temmuz	155,0	6676,0	14880,3	6331,7	5164,3	-3539,0	10102,3	155,0	11569,3	4748,7
Ağustos	866,7	6488,3	6331,7	14840,7	7370,7	-1510,3	11797,3	866,7	10556,0	7560,0
Eylül	-1,7	2228,3	5164,3	7370,7	15000,3	2008,3	10345,7	-1,700	5658,7	13728,7
Ekim	316,3	-1851,7	-3539,0	-1510,3	2008,3	7759,7	-1116,7	316,3	-2921,0	1607,7
Yıllık	687,3	9822,3	10102,3	11797,3	10345,7	-1116,7	15103,3	687,3	13051,3	10482,7
İlkbahar	10439,3	1393,7	155,0	866,7	-1,700	316,3	687,3	10439,3	178,0	710,3
Yaz	178,0	11830,7	11569,3	10556,0	5658,7	-2921,0	13051,3	178,0	15102,7	4858,3
Sonbahar	710,3	3201,7	4748,7	7560,0	13728,7	1607,7	10482,7	710,3	4858,3	14999,3

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Tablo 7. Kilis İstasyonu Mann-Kendall İstatistiklerinin Varyans-Kovaryans Matrisi

Kilis	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Yıllık	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Nisan	3263,7	567,3	1115,3	1327,7	1164,7	50,7	-715,0	1243,7	1653,7	1396,7	-107,7
Mayıs	567,3	14487,0	2465,3	4396,0	4423,0	1426,3	2070,0	5374,7	14172,3	3512,0	1460,3
Haziran	1115,3	2465,3	15044,7	9190,7	8436,3	3782,0	-320,7	10110,0	3282,7	11526,0	2771,7
Temmuz	1327,7	4396,0	9190,7	14976,0	10828,0	4686,3	2032,7	12279,3	5009,7	13056,7	3734,7
Ağustos	1164,7	4423,0	8436,3	10828,0	15021,3	8988,0	768,0	13482,0	5181,0	13005,0	7691,0
Eylül	50,7	1426,3	3782,0	4686,3	8988,0	15071,7	3769,7	10208,3	2006,3	6648,0	13848,3
Ekim	-715,0	2070,0	-320,7	2032,7	768,0	3769,7	13134,0	3242,0	2049,0	407,3	6072,7
Yıllık	1243,7	5374,7	10110,0	12279,3	13482,0	10208,3	3242,0	15131,0	6213,7	13780,7	9240,3
İlkbahar	1653,7	14172,3	3282,7	5009,7	5181,0	2006,3	2049,0	6213,7	14548,0	4389,7	1999,3
Yaz	1396,7	3512,0	11526,0	13056,7	13005,0	6648,0	407,3	13780,7	4389,7	15129,0	4873,7
Sonbahar	-107,7	1460,3	2771,7	3734,7	7691,0	13848,3	6072,7	9240,3	1999,3	4873,7	15090,3

Gaziantep, İslahiye ve Kilis istasyonlarında hesaplanan test istatistikleri vektörü korelasyon matrisleri (Tablo 8-10), aylık ve mevsimlik trendlerin ne ölçüde eşgüdümlü olduğunu göstermektedir. Bu matrisler, Mann-Kendall test istatistiklerinin aylık ve mevsimlik değerleri arasındaki doğrusal ilişkiyi ortaya koymaktadır. +1'e yaklaşan korelasyon değerleri, iki değişkenin trend yönü ve şiddetinin paralel olduğunu göstermektedir. Üç istasyonda da Haziran, temmuz ve ağustos ayları arasında yüksek pozitif korelasyon dikkat çekmektedir. Gaziantep'te bu korelasyon 0.58 iken, Yaz mevsimi genelindeki ilişki 0.84'tür. Kilis'te temmuz ve ağustos arasındaki korelasyon 0.72 seviyesindedir. Bu durum, tropik gece artışının tekil aylardan ziyade tüm yazı kapsayan sistematik bir ısınma özelliği taşıdığını ortaya koymaktadır. Bölgesel atmosferik etkiler, örneğin Basra üzerinde güçlenen Muson Alçak Basıncı, bu sürekliliği desteklemektedir.

Yıllık tropik gece sayısı, özellikle Yaz mevsimi ile güçlü şekilde korele edilmiştir (Gaziantep: 0.93, Kilis: 0.91, İslahiye: 0.86). İlkbahar ve Sonbahar aylarının yıllık trende etkisi sınırlı kalmaktadır (0.30–0.40). Eylül ayı ile Sonbahar arasındaki korelasyon ise istasyonlarda 0.91–0.999 aralığında olup, sonbahar tropik gecelerinin büyük ölçüde eylül sıcaklıklarıyla belirlendiğini göstermektedir. İslahiye'de aylar arası korelasyonların düşük olması, topoğrafik ve yerel iklim farklılıklarına işaret ederken, Kilis'te mayıs ile İlkbahar mevsimi arasındaki 0.97 korelasyon, bahar artışının Mayıs'a bağlı olduğunu doğrular niteliktedir. Eylül'de yaz koşullarının sürmesi ve Kilis'te ekim ayında gözlemlenen anlamlı artış (Z=2.35), termal sınırların değiştiğini ve iklim sisteminin ısınma yönünde güçlü momentum kazandığını göstermektedir (Hamed, 2008).

Tablo 8. Gaziantep istasyonu Test istatistikleri vektörünün korelasyon matrisi

Gaziantep	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Yıllık	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Mayıs	1,000									
Haziran	0,301	1,000								
Temmuz	0,205	0,556	1,000							
Ağustos	0,263	0,563	0,584	1,000						
Eylül	0,308	0,313	0,442	**0,726**	1,000					
Ekim	-0,05	0,064	-0,13	0,17	0,283	1,000				
Yıllık	0,349	**0,727**	**0,757**	**0,878**	**0,774**	0,183	1,000			
İlkbahar	**1,000**	0,301	0,205	0,263	0,308	-0,05	0,349	1,000		
Yaz	0,306	**0,791**	**0,842**	**0,848**	0,597	0,002	**0,937**	0,306	1,000	
Sonbahar	0,308	0,314	0,44	**0,726**	**1,000**	0,297	**0,774**	0,308	0,596	1,000

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

Tablo 9. İslâhiye istasyonu Test istatistikleri vektörünün korelasyon matrisi

İslâhiye	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Yıllık	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Mayıs	1,000									
Haziran	0,111	1,000								
Temmuz	0,012	0,446	1,000							
Ağustos	0,070	0,434	0,426	1,000						
Eylül	0,000	0,148	0,346	0,494	1,000					
Ekim	0,035	-0,17	-0,320	-0,141	0,186	1,000	-0,10			
Yıllık	0,055	**0,651**	**0,674**	**0,788**	**0,687**	-0,10	1,000			
İlkbahar	1,000	0,111	0,012	0,070	0,000	0,035	0,055	1,000		
Yaz	0,014	**0,784**	**0,772**	**0,705**	0,376	-0,27	**0,864**	0,014	1,000	
Sonbahar	0,057	0,213	0,318	0,507	**0,915**	0,149	**0,696**	0,057	0,323	1,000

Tablo 10. Kilis istasyonu Test istatistikleri vektörünün korelasyon matrisi

Kilis	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Yıllık	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
Nisan	1,000										
Mayıs	0,083	1,000									
Haziran	0,159	0,167	1,000								
Temmuz	0,190	0,298	0,612	1,000							
Ağustos	0,166	0,300	0,561	**0,722**	1,000						
Eylül	0,007	0,097	0,251	0,312	0,597	1,000					
Ekim	-0,11	0,150	-0,023	0,145	0,055	0,268	1,000				
Yıllık	0,177	0,363	**0,670**	**0,816**	**0,894**	**0,676**	0,230	1,000			
İlkbahar	0,240	**0,976**	0,222	0,339	0,350	0,135	0,148	0,419	1,000		
Yaz	0,199	0,237	**0,764**	**0,867**	**0,863**	0,440	0,029	0,911	0,296	1,000	
Sonbahar	-0,02	0,099	0,184	0,248	0,511	**0,918**	0,431	**0,612**	0,135	0,323	1,00

4. SONUÇ

Bu çalışma, Türkiye'nin iklimsel açıdan hassas alanlarından biri olan Gaziantep–Kilis–İslahiye hattında 1970–2020 dönemine ait tropik gece frekanslarındaki değişimleri Mann-Kendall ve Sen Eğimi testleri kullanarak incelemektedir. Elde edilen sonuçlar, bölgenin termal rejiminde istatistiksel olarak anlamlı ve sistematik bir değişim meydana geldiğini göstermektedir. Analizler, üç istasyonda da tropik gece sayılarında belirgin bir artış eğilimi olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle Gaziantep ve Kilis istasyonlarında yıllık yaklaşık 1 gün civarında belirlenen artış hızı, bölgedeki ısınma eğiliminin Akdeniz Havzası'na yönelik küresel iklim projeksiyonlarıyla uyumlu olduğunu göstermektedir (Lionello ve Scarascia, 2018). Gaziantep istasyonunda hesaplanan yüksek Z değeri (6.80), kentleşmeye bağlı gelişen Kentsel Isı Adası etkisinin sera gazı kaynaklı küresel ısınmayla birlikte gece sıcaklıklarının düşmesini sınırlandırdığını düşündürmektedir (Oke, 1982). Korelasyon ve kovaryans analizleri, sıcaklık artışının yalnızca büyüklüğünde değil, zamansal sürekliliğinde de değişim yaşandığını göstermektedir. Temmuz ve ağustos ayları arasındaki yüksek korelasyon değerleri, ısınmanın süreklilik kazandığını ortaya koymaktadır. Ayrıca Kilis istasyonunda tropik gece eğiliminin eylül ve ekim aylarına uzaması, yaz koşullarının sonbahara doğru genişlediğine işaret etmektedir. Bu durum enerji talebinin artması, kentsel yaşam koşullarının zorlaşması ve tarımsal faaliyetlerin etkilenmesi gibi sonuçlar doğurabilir. Bulgular, bölgesel iklim uyum stratejilerinde gece sıcaklıklarındaki artışın da dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

5. KAYNAKÇA

Aydın K., Karabulut M., 2022, Konya'da Ekstrem Sıcaklık İndislerinde Gözlemlenen Eğilim ve Değişimlerin İncelenmesi, Int. J. Adv. Eng. Pure Sci. 2022, 34(4): 533-549.

Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., ... & Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *111*(D5).

Erlat, E., & Türkeş, M. (2017). Türkiye'de tropikal gece sayılarında gözlenen değişmeler ve eğilimler. Ege Coğrafya Dergisi, 26(2), 95–106.

Hamed, K. H., & Rao, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of Hydrology, 204(1-4), 182–196. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., et al. (eds.)]. Cambridge University Press.

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. Geneva, Switzerland: IPCC.

Karabulut, M., Topuz M, 2019, Adana'da Tropikal Ve Yaz Günü Sayılarındaki Değişim Ve Eğilimler, 2. International Mediterranean Symposium.

Kızılelma, Y., Karabulut, M., Çetinkaya, S., 2015. Antakya-Kahramanmaraş Grabeni Tropikal ve Yaz Günü Sayılarındaki Değişim ve Eğilimler, Türkiye Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi, 21-23 Mayıs 2015, Gazi Üniversitesi, Bildiriler Kitabı, s:175-183.

Kovats, R. S., & Hajat, S. (2008). Heat stress and public health: A critical review. *Annual Review of Public Health*, *29*, 41-55.

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *108*(455), 1-24.

Şensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, Y., & Balta, İ. (2008). Türkiye iklimi. Ankara: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü.

Toros, H. (2012). Spatio-temporal variation of daily extreme temperatures over Turkey. International Journal of Climatology, 32(7), 1047-1055. https://doi.org/10.1002/joc.2325

Türkeş, M., Sümer, U. M., & Demir, İ. (2002). Türkiye'nin günlük ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları ile sıcaklık genişliğindeki eğilimler ve değişiklikler. Prof. Dr. Sırrı Erinç Anısına Klimatoloji Çalıştayı 2002 Bildiriler Kitabı, 89–106. Ege Üniversitesi Coğrafya Bölümü, İzmir, Türkiye.

Türkeş, M. (2010). Klimatoloji ve Meteoroloji (1st ed.), Kriter Yayıncılık.

Türkeş, M. (2020). Climate and drought in Turkey. In N. B. Harmancıoğlu & D. Altınbilek (Eds.), Water resources of Turkey (Chap. 4, pp. 85–125). Springer, Cham.

WMO. (2009). Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing Climate in Support of Informed Decisions for Adaptation. WMO-No. 1071.

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIO-BASED POLYMER NANOCOMPOSITES FOR ENVIRONMENTAL APPLICATIONS

Prof. Dr. Arjun Mehta, Dr. Kavita Ramesh, Anil Verma
Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Delhi, India

Abstract

This study explores the synthesis and detailed characterization of bio-based polymer nanocomposites tailored for environmental purposes, such as pollutant removal and sustainable barrier materials. The research focuses on biodegradable polymer matrices integrated with naturally derived or eco-friendly nano-fillers through solution casting and melt blending techniques. Advanced characterization methods such as FTIR, SEM, and XRD reveal improved mechanical, thermal, and barrier properties compared to neat polymers. Environmental performance assessments show enhanced adsorption of heavy metals and organic contaminants, facilitating efficient water and soil remediation. The work also addresses key challenges in scaling up production, discussing cost, functionalization, and lifecycle impacts. Findings demonstrate that bio-based nanocomposites exhibit significant promise for replacing petroleum-based materials in environmental engineering and conservation applications. The paper encourages further multidisciplinary research to develop application-specific nanocomposite formulations that can be adopted globally.

Keywords: bio-based polymers, nanocomposites, environmental applications, sustainable materials, pollutant removal

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

INVESTIGATION OF CATALYTIC ACTIVITY IN TRANSITION METAL OXIDES FOR GREEN HYDROGEN PRODUCTION

Assoc. Prof. Dr. Priya Nair, Rajesh Menon, Prof. Dr. Harish Venkatesh, Dr. Sandeep Choudhary, Ryo Tanaka
Department of Chemistry, Kyushu University, Japan

Abstract
This paper investigates the catalytic performance of transition metal oxides in water-splitting reactions for green hydrogen production. The study explores various oxide catalysts including Fe, Co, Ni, and Mn oxides, deployed as thin films and powders, and evaluates their activity under solar-powered electrolysis and thermochemical conditions. The research combines experimental electrochemical measurements, surface analysis, and kinetic modeling to understand reaction pathways and identify structural factors influencing efficiency. Key findings reveal that certain doped oxides significantly lower activation energy and increase hydrogen evolution rates, especially under visible light irradiation. The environmental benefits of these materials are considered, particularly regarding energy efficiency and sustainability. The paper concludes with recommendations for further improving catalyst stability, cost-effectiveness, and scale-up potential, supporting broader adoption of green hydrogen technologies in energy transitions.

Keywords: catalytic activity, transition metal oxides, green hydrogen, water splitting, sustainable energy

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

DESIGN OF NOVEL ORGANOMETALLIC COMPLEXES AS EFFICIENT PHOTOCATALYSTS UNDER VISIBLE LIGHT

Dr. Neha Kapoor
Department of Materials Science, University of Tokyo, Japan

Abstract

This study presents the design, synthesis, and photophysical characterization of novel organometallic complexes aimed at efficient photocatalysis under visible light illumination. The research employs rational ligand design and metal center selection to optimize electronic transitions and catalytic properties. Characterization techniques such as UV-Vis spectroscopy, cyclic voltammetry, and photoreactivity assays are used to assess structure-function relationships. The complexes demonstrate enhanced decomposition of organic dyes and pollutants and facilitate oxidation-reduction reactions relevant to solar fuel production. Mechanistic studies indicate improved charge separation and light absorption compared to existing photocatalysts. Challenges in catalyst stability, scalability, and recyclability are addressed. The results show that these organometallic complexes offer a promising route for clean energy and environmental remediation technologies, especially in low-resource and solar-rich regions.

Keywords: organometallic complexes, photocatalysis, visible light, ligand design, environmental remediation

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ENHANCED SUPERCAPACITOR PERFORMANCE USING GRAPHENE-BASED HYBRID MATERIALS

Prof. Dr. Kenji Nakamura, Dr. Aiko Matsuda
Department of Materials Science, University of Tokyo, Japan

Abstract

The development of graphene-based hybrid materials has catalyzed major advances in supercapacitor technology. This study synthesizes and characterizes several graphene composites combined with conductive polymers, metal oxides, and carbon nanotubes. Electrochemical tests reveal significantly improved specific capacitance, energy density, and charge-discharge cycling stability. The research evaluates how nano-structural tuning and interface engineering maximize ions' mobility and storage capacity. Environmental impact analyses suggest that these hybrids can be manufactured with lower energy input and raw materials compared to conventional electrodes. The scalability, cost efficiency, and future integration with renewable energy systems are discussed. The findings position graphene-based hybrids as leading candidates for next-generation high-power energy storage solutions.

Keywords: supercapacitors, graphene hybrid materials, energy storage, nano-structural tuning, cycling stability

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CERIUM-DOPED OXIDE FILMS FOR SENSOR APPLICATIONS

Assoc. Prof. Dr. Haruto Yamashita, Ayaka Fujimoto, Takuya Morimoto
Department of Applied Chemistry, Kyoto University, Japan

Abstract

This work explores the electrochemical synthesis and properties of cerium-doped oxide thin films tailored for advanced sensor applications. The films are produced via pulsed electrodeposition, allowing precise control over dopant concentration and film thickness. Extensive characterization—including Raman spectroscopy, XPS, and electrical conductivity measurements—demonstrates high sensitivity towards gases such as hydrogen, ammonia, and NOx. The study details how cerium doping modifies the electronic structure, enhances surface reactivity, and improves sensor selectivity. Long-term stability and response times are compared under laboratory and simulated environmental conditions. The research underscores the potential of cerium-doped oxides for use in environmental monitoring, industrial safety, and healthcare diagnostics, especially as part of portable sensing technologies.

Keywords: cerium-doped oxides, thin films, sensor applications, electrochemical synthesis, gas sensitivity

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

DEVELOPMENT OF ADVANCED THERMALLY STABLE POLYIMIDES FOR SPACE MATERIALS

Dr. Naoki Sugahara, Prof. Dr. Emi Kobayashi, Hanae Watanabe
Institute of Space Materials Science, Osaka University, Japan

Abstract

This research develops novel polyimide materials with enhanced thermal stability and mechanical robustness specifically for space applications. The synthesis process involves incorporating aromatic and heterocyclic monomers to improve polymer backbone integrity. The polyimides demonstrate elevated glass transition temperatures, oxidation resistance, and resilience under extreme radiation conditions. Characterization by TGA, DMA, and high-altitude simulation chambers confirm superior property retention compared to standard aerospace polymers. The work addresses material compatibility for satellite structures, payload enclosures, and lightweight construction. Environmental sustainability and recyclability are considered to align with green space initiatives. Conclusions support further customization for commercial and scientific missions, paving the way for new generations of space-qualified polymeric materials.

Keywords: polyimides, thermal stability, space materials, polymer synthesis, radiation resistance

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

SPECTROSCOPIC ANALYSIS OF METAL-LIGAND INTERACTIONS IN RARE EARTH COMPLEXES

Assoc. Prof. Dr. Viktar Kuzniatsou, Dr. Hanna Barysava, Aliaksandr Ramanau
Department of Chemistry, Belarusian State University, Belarus

Abstract

This paper examines the structure and bonding dynamics in rare earth metal complexes via advanced spectroscopic techniques, including NMR, EPR, and X-ray absorption. The study investigates ligand field effects, electron transfer characteristics, and their implications for luminescent and catalytic properties. Results highlight significant variations in metal-ligand bonding with different chelating agents, offering insights into tailored molecular design for applications in optoelectronics and catalysis. The findings further elaborate on the role of solvation and temperature in modulating complex stability and reactivity. Methodological innovations are introduced for real-time spectroscopic monitoring. These discoveries contribute to the rational design of functional rare earth complexes for industrial and research utilization.

Keywords: rare earth complexes, metal-ligand interactions, spectroscopy, catalytic properties, molecular design

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

STRUCTURAL AND OPTICAL CHARACTERIZATION OF SILVER-DOPED ZINC OXIDE NANOPARTICLES

Dr. Maryia Karatkevich, Prof. Dr. Pavel Zhurko, Dzmitry Asanau
Department of Physics, Belarusian State University, Belarus

Abstract
This study details the synthesis and comprehensive characterization of silver-doped zinc oxide nanoparticles for potential optoelectronic and photonic applications. Chemical precipitation and sol-gel methods are used to incorporate silver ions precisely, and the resulting nanoparticles are characterized by XRD, TEM, UV-Vis, and PL spectroscopy. The research reports on size distribution, morphological features, and optical bandgap modifications as a function of silver concentration. Enhanced photoluminescence, stability, and antimicrobial properties are observed, suggesting suitability for sensors, UV-blocking coatings, and transparent electronics. Environmental, biological, and scalability aspects are analyzed to optimize real-world implementation. The study calls for further investigation into doping mechanisms and surface functionalization to unlock broader application possibilities.

Keywords: silver-doped, zinc oxide, nanoparticles, optical characterization, photoluminescence

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

UNDERSTANDING THE MECHANICAL BEHAVIOR OF NOVEL COMPOSITE MATERIALS UNDER HIGH STRESS CONDITIONS

Prof. Dr. Karim Bensalem
Ahmed Ziane
Department of Materials Engineering, University of Algiers, Algeria

Abstract
This research explores the mechanical performance of newly developed composite materials when subjected to extreme stress conditions. The study comprehensively investigates the effects of fiber and matrix arrangements, interfacial bonding strength, and the influence of nano-fillers on enhancing durability. Using a combination of tensile, compressive, and impact testing, it examines failure modes and deformation mechanisms, offering insight into the structural integrity of these advanced composites. The work also employs finite element modeling to predict performance under various loading strategies. The analyses indicate the composites maintain superior mechanical resilience, making them promising candidates for automotive, aerospace, and civil engineering applications. The findings are vital for optimizing composite design, enabling targeted development for high-stress environments.

Keywords: composite materials, high stress, mechanical behavior, structural integrity, finite element modeling

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ADVANCES IN NANOSTRUCTURED CERAMIC COATINGS FOR HIGH-TEMPERATURE APPLICATIONS

Assoc. Prof. Dr. Samira Haddad
Department of Ceramic Engineering, University of Batna 1, Algeria

Dr. Mourad Belkacem
Department of Ceramic Engineering, University of Batna 1, Algeria

Leila Ould Amar
Department of Ceramic Engineering, University of Batna 1, Algeria

Abstract
This paper investigates the synthesis and properties of nanostructured ceramic coatings designed for high-temperature environments. The research details novel fabrication processes such as plasma spraying and sol-gel methods, optimizing coating thickness and microstructure for maximum thermal resistance. The thermomechanical analysis demonstrates significant improvements in oxidation resistance and adherence under cyclic heat exposure. Additionally, the study addresses the role of dopants and layered architectures in inhibiting crack formation and degradation. The coatings' performance is further validated in simulated industrial conditions, showcasing their suitability for turbine blades, heat shields, and energy conversion devices. The results support the implementation of these advanced ceramics in harsh thermal environments, while providing guidelines for further development.

Keywords: ceramic coatings, nanostructures, high-temperature, thermal stability, fabrication

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FOR MEDICAL USE

Noureddine Boukhalfa
Department of Biomedical Engineering, University of Milan, Italy

Prof. Dr. Farida Benamara
Department of Biomedical Engineering, University of Milan, Italy

Yuki Matsumoto
Department of Biomedical Engineering, University of Milan, Italy

Abstract
This research focuses on producing and characterizing biodegradable polymer blends tailored for medical applications, including drug delivery and tissue engineering. Through solvent casting and melt blending methods, various natural and synthetic polymers are combined and analyzed for cytocompatibility, mechanical strength, and degradation rates. The research employs spectroscopy, thermal analysis, and scanning electron microscopy for thorough material assessment, revealing excellent biocompatibility and customizable degradation profiles. The study highlights optimization strategies for target drug release kinetics and scaffold architectures to facilitate regenerative medicine. Results emphasize the potential of biodegradable blends for safe, effective biomedical devices, advancing clinical application prospects and sustainability in medical technology.

Keywords: biodegradable polymers, medical devices, characterization, tissue engineering, drug delivery

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ENHANCING THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF GRAPHENE-BASED COMPOSITES

Hiroshi Tanaka
Department of Physics, Kyoto University, Japan

Assoc. Prof. Dr. Keiko Sato
Department of Physics, Kyoto University, Japan

Abstract
The study investigates methods to enhance the electrical conductivity of graphene-based composites for electronic and energy storage applications. By varying graphene morphology and concentration within polymer matrices, the research evaluates electrical transport mechanisms via four-point probe and impedance spectrometry. The influence of interfacial engineering, dopants, and hybridization with metal nanoparticles is examined for conductivity optimization. Results demonstrate that tailored dispersion and surface functionalization markedly improve charge carrier mobility, thermal stability, and overall electrical performance. The findings have direct implications for flexible electronics, batteries, and sensors. Recommendations for scalable fabrication and further functional studies are provided to support commercial adoption.

Keywords: graphene composites, electrical conductivity, charge transport, doping, flexible electronics

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT METAL ALLOYS FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY

Dr. Akira Fujimoto
Department of Metallurgical Engineering, University of Tokyo, Japan

Abstract
This paper describes recent progress in the design and fabrication of lightweight metal alloys for use in automotive manufacturing. Experimental alloys comprising aluminum, magnesium, and titanium are synthesized using casting and powder metallurgy techniques, and their physical and mechanical properties are systematically tested. The research assesses tensile strength, ductility, and corrosion resistance, optimizing compositions for vehicle safety and fuel efficiency. Microstructural analysis via electron microscopy is included to correlate alloying elements with performance enhancements. The study identifies several promising alloy formulations suitable for chassis, engine, and structural components, contributing to weight reduction and sustainability initiatives.

Keywords: lightweight alloys, automotive industry, magnesium, aluminum, mechanical properties

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

OPTIMIZATION OF THERMOELECTRIC MATERIALS FOR ENERGY HARVESTING

Assoc. Prof. Dr. Yumi Kagawa
Department of Materials Science, Osaka University, Japan

Abstract
This study presents strategies to optimize thermoelectric materials for improved energy harvesting in sustainable technology systems. The research covers fabrication of nanostructured semiconductors, enhancement of Seebeck coefficient, and minimization of thermal conductivity using controlled doping techniques. Analytical models combine experimental data with simulation to predict conversion efficiency under varying temperature gradients. Performance testing under realistic operational conditions confirms elevated energy output and operational stability. Applications in wearable electronics, remote sensors, and renewable energy systems are discussed. The findings demonstrate significant progress toward efficient, cost-effective thermoelectric energy solutions.

Keywords: thermoelectric materials, energy harvesting, nanostructures, Seebeck coefficient, doping

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

CORROSION RESISTANCE IMPROVEMENT IN ADVANCED STEEL GRADES

Dr. Martijn de Vries
Department of Engineering Materials, Delft University of Technology, Netherlands

Lars van den Berg
Department of Engineering Materials, Delft University of Technology, Netherlands

Sander Visser
Department of Engineering Materials, Delft University of Technology, Netherlands

Femke de Groot
Department of Engineering Materials, Delft University of Technology, Netherlands

Abstract
This research evaluates corrosion resistance enhancements in advanced steel grades developed for marine and industrial uses. The effects of alloy composition, surface treatments, and environmental exposures are investigated through a combination of immersion experiments and electrochemical analysis. Results show that alloying with chromium, molybdenum, and nickel significantly improves resistance to pitting and uniform corrosion. Surface passivation and nano-coating techniques are also compared for long-term durability. The paper presents guidelines for optimal material selection, processing, and maintenance schedules to extend the service life of steel structures in aggressive environments.

Keywords: steel grades, corrosion resistance, alloying, surface treatments, durability

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

UNDERSTANDING THE IMPACT OF NURSING INTERVENTIONS ON PATIENT RECOVERY RATES

Prof. Dr. Ahsan Malik, Dr. Sana Qureshi, Ali Raza, Hamid Ali
Aga Khan University, Pakistan

Abstract
This study explores the relationship between specific nursing interventions and patient recovery rates across multiple hospital settings. The research employed a mixed-methods approach, utilizing quantitative data from over 400 patient records sourced from post-surgical and medical inpatient units, complemented by in-depth interviews with frontline nurses. The analysis focused on the frequency, type, and adherence to evidence-based nursing interventions, such as early mobilization, patient education, wound care protocols, and psychosocial support, as well as their direct association with clinical recovery indicators including length of stay, incidence of complications, and patient-reported outcomes. Results revealed a statistically significant correlation between the structured implementation of critical nursing practices and enhanced recovery rates, particularly in reducing hospital-acquired infections, readmission, and recovery time after major procedures. The findings underscore the essential role of nurse-led initiatives in multidisciplinary care teams and highlight the value of ongoing professional development and policy support to optimize intervention delivery. The study concludes that investment in nursing capacity-building and the integration of standardized care pathways can substantially advance patient outcomes, recommending further multicenter research to standardize best practices in diverse healthcare settings.

Keywords: nursing interventions, patient recovery, evidence-based practice, clinical outcomes, hospital care

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF COMMUNITY HEALTH NURSING PROGRAMS IN RURAL AREAS

Assoc. Prof. Dr. Farah Naz
Allama Iqbal Open University, Pakistan

Abstract
This research assesses the performance of community health nursing programs implemented in rural districts, focusing on maternal and child health, vaccination coverage, and chronic disease management. Employing program evaluation methodologies, the study triangulated health outcome statistics, nurse field reports, and surveys of beneficiaries to generate a comprehensive impact profile. The results demonstrate increased immunization rates, improved prenatal visit adherence, and a reduction in unmanaged hypertension and diabetes cases. Notably, community nursing interventions also fostered health literacy, empowered women in family health decision-making, and expanded access to preventive services. Yet, significant barriers related to resource allocation, nurse workload, and outreach in remote regions persisted. The conclusion affirms that community health nursing programs are integral to rural healthcare improvement and calls for policy interventions to address staffing and infrastructure gaps, reinforcing the importance of community engagement in sustainable rural health development.

Keywords: community nursing, rural health, program evaluation, public health, healthcare access

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

NURSES' ROLE IN PROMOTING MENTAL HEALTH AWARENESS AMONG ADOLESCENTS

Dr. Maria Lopez
Universidad de los Andes, Colombia

Catalina Rojas
Universidad de los Andes, Colombia

Sofia Alvarez
Universidad de los Andes, Colombia

Abstract
This paper investigates the proactive roles nurses play in advancing mental health awareness and early intervention among adolescent populations. Through focus groups with secondary school nurses and a cross-sectional survey involving over 500 high school students, the research identifies nursing-led strategies, such as psychoeducation workshops, peer-support initiatives, and early symptom screening, that contribute to destigmatizing mental illness and increasing help-seeking behaviors. Data analysis reveals that students exposed to regular nurse-facilitated education sessions displayed significantly higher mental health literacy and willingness to access school-based health resources. The study highlights the necessity of cross-sector collaboration between health and education sectors, suggesting the integration of mental health promotion into standard school curricula and emphasizing ongoing training in youth mental health for school nurses. Ultimately, strengthening the school nursing infrastructure offers substantial potential for addressing unmet adolescent mental health needs at the community level.

Keywords: mental health, adolescents, health education, school nursing, awareness

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ASSESSING THE QUALITY OF CARE IN INTENSIVE CARE UNITS THROUGH NURSING AUDITS

Claudia Herrera, Prof. Dr. Ignacio Soto
Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile

Abstract
This study examines the effectiveness of nursing audit methodologies in evaluating and enhancing quality of care in intensive care units (ICUs). Using a multi-institutional case study approach involving four tertiary care hospitals, the research systematically audited nursing records, adherence to care bundles, and incident reporting over a twelve-month period. Quantitative outcomes demonstrated that regular audits facilitated improvements in infection control, medication management, and compliance with ICU protocols. Qualitative feedback from staff revealed that audit practices not only heightened accountability but also promoted a culture of collective problem-solving and professional growth. The implementation of audit findings was linked to a marked reduction in adverse patient events and improved satisfaction among both staff and patients' families. The study concludes by recommending the institutionalization of nursing audits as a continuous quality improvement strategy in critical care environments and the provision of targeted audit training for nurse leaders.

Keywords: intensive care, nursing audit, quality of care, patient safety, continuous improvement

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

THE INFLUENCE OF CONTINUOUS PROFESSIONAL DEVELOPMENT ON NURSING PERFORMANCE

Isabel Vargas
Dr. Felipe Molina
Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile

Abstract
This research explores the impact of continuous professional development (CPD) programs on the clinical competencies and performance of hospital nurses. Through structured observations, competency assessments, and semi-structured interviews with CPD participants, the study found that targeted educational interventions—including simulation training, workshops, and interdisciplinary collaboration—significantly enhanced nurses' technical skills, communication abilities, and confidence in patient care settings. The findings reveal a positive association between CPD engagement and improved patient care metrics, including reduced error rates and higher patient satisfaction scores. The study also discusses organizational facilitators and barriers to CPD participation, highlighting leadership support and protected learning time as critical enablers. In conclusion, the authors advocate for the formal integration of CPD into institutional policy and resource planning, emphasizing its centrality to workforce retention, adaptation to evolving medical standards, and sustained improvement in care quality.

Keywords: nursing education, professional development, workforce training, performance, competency

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

EXPLORING PATIENT SATISFACTION LEVELS IN HOSPITAL NURSING SERVICES

Marie Santos
Assoc. Prof. Dr. Juan dela Cruz
University of the Philippines, Philippines

Abstract
This study evaluates patient satisfaction with nursing services in a major metropolitan hospital. Using validated patient satisfaction questionnaires, the researchers collected and analyzed data from over 600 recently discharged patients, focusing on key service dimensions such as nurse-patient communication, responsiveness, empathy, and professionalism. The results indicate that clear communication and compassionate bedside care are the most influential factors in overall satisfaction, while areas related to nurse availability and wait times require further improvement. Demographic variables such as age and education also affect satisfaction ratings. The findings underscore the importance of patient-centered care approaches, ongoing feedback collection, and regular staff training to enhance the patient experience. The study advocates that patient satisfaction metrics should be systematically integrated into hospital quality management practices.

Keywords: patient satisfaction, nursing services, hospital care, patient-centered care, service quality

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

NURSES' PERCEPTIONS OF TELEHEALTH IMPLEMENTATION DURING PANDEMIC TIMES

Dr. Angelica Reyes
Ramon Bautista
University of São Paulo, Brazil

Abstract
Focusing on the COVID-19 pandemic, this paper examines nurses' perceptions and experiences with telehealth adoption in both acute and primary care settings. Through qualitative interviews with front-line nurses, the study identifies perceived benefits of telehealth—including continuity of care, greater accessibility for vulnerable patients, and reduced infection risks—as well as challenges such as digital literacy barriers, technology fatigue, and the limitations of remote assessment for critical conditions. Nurses stress that successful telehealth integration depends heavily on institutional support, adequate training, and clear communication protocols. The findings offer strategic recommendations for designing telehealth programs that meet both provider and patient needs, emphasizing equity, data privacy, and professional collaboration to optimize remote healthcare delivery.

Keywords: telehealth, nursing, pandemic, digital health, COVID-19

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

PHARMACEUTICAL NANOPARTICLE DELIVERY SYSTEMS FOR TARGETED CANCER THERAPY

Prof. Dr. Adeel Khan
Dr. Maria Iqbal
Assis. Prof. Dr. Salman Ahmed
Department of Pharmacy, Aga Khan University, Pakistan

Abstract
This study presents advanced pharmaceutical nanoparticle delivery systems engineered for targeted cancer therapy, addressing limitations of conventional treatments such as off-target toxicity and limited drug bioavailability. The research focuses on nanoparticle formulations including liposomes, dendrimers, and polymeric micelles designed to enhance drug solubility, stability, and tumor site specificity. Experiments utilize surface modifications with targeting ligands (e.g., antibodies, peptides) to improve selectivity and cellular uptake in tumor cells, verified by in vitro and in vivo analyses. Safety profiles, pharmacokinetics, and therapeutic efficacy are assessed with comparative studies showing increased tumor suppression and reduced systemic side effects. The paper discusses translation challenges, regulatory considerations, and strategies for scaling up nanoparticle drug production. Emphasis is placed on multidisciplinary approaches integrating nanotechnology, pharmacology, and oncology to optimize personalized cancer treatments. These findings demonstrate that nanoparticle-based delivery offers significant potential to transform the future landscape of cancer therapy.

Keywords: nanomedicine, targeted delivery, cancer therapy, nanoparticles, drug bioavailability

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ADVANCES IN HERBAL MEDICINE FORMULATIONS AND THEIR PHARMACOLOGICAL EFFECTS

Dr. Hina Shah
Assoc. Prof. Dr. Farhan Ali
Department of Pharmacognosy, University of Karachi, Pakistan

Abstract
This research explores advances in herbal medicine formulations, focusing on novel extraction, standardization, and blending methods that maximize pharmacological efficacy and safety. The study reviews a spectrum of phytochemicals isolated from plants with anti-inflammatory, antioxidant, and antimicrobial properties, and assesses their bioactivity through cell-based and animal models. Innovative delivery vehicles such as encapsulation and controlled-release systems are trialed to improve stability and bioavailability of active plant ingredients. Comparative clinical evaluations highlight reduced side effects, improved patient compliance, and synergistic efficacy with conventional therapies. The research highlights advances in molecular-level understanding of mechanisms, quality control standards, and the regulatory landscape required for pharmaceutical integration. Conclusions advocate for continued development of scientifically validated herbal medicines and their application in integrative medicine.

Keywords: herbal medicine, phytochemistry, pharmacological effects, formulation, integration

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

NOVEL SYNTHETIC ROUTES FOR ANTI-DIABETIC DRUGS AND THEIR BIOAVAILABILITY

Prof. Dr. Rizwan Qureshi
Dr. Sana Tariq
Dr. Imran Bashir
Department of Pharmaceutical Chemistry, University of Hyderabad, India

Abstract
The study details innovative synthetic pathways for the development of anti-diabetic drugs designed to improve molecular stability, selectivity, and absorption profiles. A variety of strategies involving green chemistry principles, catalytic methodologies, and high-throughput screening are employed to synthesize novel compounds with optimal pharmacokinetic characteristics. Bioavailability is quantified through in vitro permeability assays and in vivo pharmacokinetic tests, demonstrating improved absorption and extended half-life compared to existing therapies. The work examines glycemic control effects, metabolic safety, and side-effect profiles, with particular attention on formulation optimization for oral delivery. The research underlines challenges like cost-effectiveness, scalability, and regulatory hurdles. The study suggests future research directions in personalized anti-diabetic therapy, highlighting the growing role of innovative synthetic chemistry in combating diabetes worldwide.

Keywords: anti-diabetic, synthesis, bioavailability, pharmacokinetics, drug design

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

APPLICATION OF LIPOSOMAL CARRIERS IN ANTIVIRAL THERAPY

Dr. Mei-Ling Chen
Assis. Prof. Dr. Wei-Hao Lin
Department of Pharmaceutical Sciences, National Taiwan University, Taiwan

Abstract
This research examines the use of liposomal carriers as a platform for effective antiviral drug delivery, focusing on improving drug targeting, uptake, and retention in infected tissues. Experimental liposomal formulations encapsulate a variety of antiviral agents, enhancing their stability and prolonging systemic circulation. Methods include characterization of particle size, surface charge, and encapsulation efficiency using imaging and analytical techniques. Preclinical and clinical data show increased antiviral activity, minimized toxicity, and improved patient compliance. Mechanisms such as immune modulation and fusion with cellular membranes are investigated, supporting robust drug delivery in challenging viral infections. The study reviews manufacturing processes, regulatory issues, and advances in personalized liposomal therapy. Liposomal carriers are positioned as a promising frontier for both current and future antiviral strategies.

Keywords: liposomes, antiviral therapy, drug delivery, nanocarriers, clinical efficacy

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

PHARMACOKINETIC MODELING OF NEW ANTI-INFLAMMATORY COMPOUNDS

Prof. Dr. Chun-Yi Huang
Department of Pharmacology, National University of Singapore, Singapore

Abstract
The paper presents comprehensive pharmacokinetic modeling and simulation of newly synthesized anti-inflammatory compounds to optimize dosage regimens and predict clinical performance. Utilized models include compartmental analysis, nonlinear mixed-effects modeling, and physiologically-based pharmacokinetic models validated with experimental absorption, distribution, metabolism, and excretion data. Results reveal significant differences in compound bioavailability and clearance rates, suggesting tailored dosing for special populations. The simulations are correlated with efficacy and safety profiles to support rational clinical trial design. The study emphasizes the synergy between experimental pharmacokinetics and computational modeling, underscoring its value in early-phase drug development. Policy implications include regulatory support for modeling and simulation in pharmaceutical approval processes.

Keywords: pharmacokinetics, anti-inflammatory, drug modeling, dosage regimen, simulation

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

EVALUATION OF DRUG INTERACTIONS IN POLYPHARMACY AMONG ELDERLY PATIENTS

Dr. Salim Al-Mahri
Department of Clinical Pharmacy, Sultan Qaboos University, Oman

Abstract
This study analyzes the prevalence and clinical consequences of drug-drug interactions among elderly patients experiencing polypharmacy in hospital and primary care settings. Data are collected via electronic medical records, structured patient interviews, and automated drug interaction screening tools. The analysis identifies common interaction patterns, risk factors, and associated adverse drug events, highlighting the complexity of managing multifaceted medication regimens in older adults. Clinical guidelines for medication reconciliation, patient education, and pharmacist intervention are proposed to minimize risks and improve safety. The study draws attention to the need for multidisciplinary approaches and continuous monitoring in elderly patient care, offering a knowledge base for policy development and clinical practice optimization.

Keywords: polypharmacy, drug interactions, elderly, clinical pharmacy, medication safety

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

INNOVATIVE STRUCTURAL DESIGN APPROACHES FOR EARTHQUAKE-RESISTANT BUILDINGS USING ADVANCED SIMULATION TOOLS

Prof. Dr. Nurzat Sadykova
Department of Civil Engineering, Kyrgyz Technical University, Kyrgyzstan

Assoc. Prof. Dr. Bakytbek Tursunov
Department of Civil Engineering, Kyrgyz Technical University, Kyrgyzstan

Aizada Kalykova
Department of Civil Engineering, Kyrgyz Technical University, Kyrgyzstan

Abstract
Recent advancements in earthquake-resistant building design have leveraged sophisticated simulation tools to enhance structural resilience. This paper systematically reviews innovative design methodologies incorporating finite element analysis (FEA), computational fluid dynamics (CFD), and performance-based design to optimize structural response under seismic loads. Emphasis is placed on integrating shear walls, cross-bracing, and base isolation techniques for energy dissipation and torsional stability. The utility of Building Information Modeling (BIM) and structural health monitoring (SHM) technologies is explored concerning risk assessment and real-time damage prediction. Challenges related to material costs, implementation complexity, and code compliance in developing nations are discussed. Through case studies and simulation data, the study highlights improvements in safety margins for critical infrastructure including hospitals and emergency facilities. It proposes a framework for interdisciplinary collaboration among engineers, architects, and computational scientists aiming to produce cost-effective, sustainable earthquake-resistant designs adaptable to diverse geotechnical conditions. Finally, policy implications for advancing seismic safety regulations with simulation-driven evidence are considered.

Keywords: earthquake-resistant design, structural simulation, finite element analysis, seismic energy dissipation, building information modeling

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

OPTIMIZATION OF HYDROPOWER TURBINE BLADES THROUGH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANALYSIS

Dr. Ulan Bekturov
Nursultan Tashiev
Zhypargul Aitmatova
Department of Mechanical Engineering, Kyrgyz National University, Kyrgyzstan

Abstract
Hydropower remains a pivotal renewable energy source, wherein turbine blade design critically influences system efficiency and reliability. This study employs computational fluid dynamics (CFD) to optimize turbine blade geometries for enhanced hydrodynamic performance and reduced cavitation. CFD simulations explore variables such as blade curvature, angle of attack, and surface roughness, assessing their effects on fluid flow, pressure distribution, and turbulent wake formation. The research integrates multi-objective optimization algorithms targeting maximized power output and durability in variable flow conditions. Results demonstrate significant efficiency gains through refined blade shapes, offering potential for extending turbine lifespan and decreasing maintenance costs. Application considerations for integration into existing hydropower facilities in Kyrgyzstan's topographically challenging regions are discussed. This work contributes valuable insights guiding the next generation of hydropower technology toward sustainable and efficient energy production.

Keywords: hydropower, turbine blade, computational fluid dynamics, blade optimization, renewable energy

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

SMART SENSOR INTEGRATION FOR IMPROVED ROAD SAFETY IN AUTONOMOUS VEHICLE SYSTEMS

Assoc. Prof. Dr. Aibek Mamatov , Tilek Kudaibergenov, Asel Zhantoro
Department of Electrical Engineering, Asmara University, Eritrea

Abstract

The integration of smart sensor networks into autonomous vehicle systems plays a critical role in enhancing road safety and operational efficiency. This paper investigates the deployment of multi-modal sensors including LiDAR, radar, and ultrasonic devices, and their algorithmic fusion to improve object detection, environmental perception, and decision-making processes. Utilizing simulation models and field tests conducted in Eritrean traffic environments, the study analyzes sensor accuracy, latency, and reliability under diverse weather and lighting conditions. Outcomes indicate substantial improvements in collision avoidance and pedestrian safety when applying advanced sensor fusion algorithms. The research addresses limitations in sensor coverage and the need for real-time data processing capabilities to ensure fail-safe operation. The paper advocates for policy frameworks encouraging sensor technology standardization and infrastructure upgrades to support autonomous vehicle adoption in developing countries. These findings underscore the future potential of sensor-enhanced autonomous transport systems for safer urban mobility.

Keywords: autonomous vehicles, smart sensors, road safety, sensor fusion, traffic management

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

DEVELOPMENT OF LOW-COST SOLAR WATER HEATING SYSTEMS FOR RURAL COMMUNITIES

Prof. Dr. Mekdes Abebe
Abel Getachew
Fikirte Degu
Department of Renewable Energy Engineering, Asmara College of Health Sciences, Eritrea

Abstract
Energy access remains a significant challenge in rural communities, where solar water heating systems offer sustainable solutions to meet domestic and agricultural needs. This research presents the design, prototyping, and field testing of affordable and locally manufacturable solar water heaters tailored to Eritrea's climate and socio-economic context. The system features optimized collector designs, insulation materials, and storage tanks to maximize thermal efficiency while minimizing costs. Thermodynamic modeling and energy performance simulations guide iterative enhancements under seasonal variability. Field data demonstrate substantial reductions in fuelwood consumption and indoor air pollution, contributing to health and environmental benefits. Social acceptance and maintenance practices are assessed through user surveys. Findings suggest that widespread adoption can significantly improve living standards and promote renewable energy uptake. The paper concludes with recommendations for scaling production, government incentives, and community training programs to foster sustainable energy independence.

Keywords: solar water heating, rural energy, renewable energy, energy efficiency, Eritrea

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ENHANCED BIOMASS GASIFICATION TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE ENERGY PRODUCTION

Dr. Tesfaye Alemu
Assoc. Prof. Dr. Mulugeta Fikadu
Sara Kidane
Department of Mechanical Engineering, Addis Ababa University, Ethiopia

Abstract

Biomass gasification offers a promising pathway for sustainable energy generation, converting agricultural and forest residues into clean syngas fuel. This study evaluates recent technological advancements improving gasifier design, feedstock preparation, and system control to enhance energy efficiency and gas quality. Experimental setups and computational models analyze the impact of operating parameters such as temperature, pressure, and gasifying agents. The research highlights the integration of catalytic tar reforming and novel reactor geometries to reduce tar and particulate emissions. Applications for decentralized power generation in rural Ethiopian communities are explored, emphasizing socio-economic and environmental benefits. Challenges regarding cost, maintenance, and feedstock logistics are discussed with potential solutions. The paper advocates policies supporting biomass energy infrastructure development as a component of Ethiopia's renewable energy portfolio aiming at rural electrification and climate mitigation.

Keywords: biomass gasification, renewable energy, sustainable energy, syngas, environmental technology

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

STRUCTURAL OPTIMIZATION OF BAMBOO-BASED COMPOSITE MATERIALS FOR GREEN CONSTRUCTION

Hanna Girma ,Dr. Yonas Tilahun ,Prof. Dr. Lemlem Tadesse
Department of Civil Engineering, Addis Ababa University, Ethiopia

Abstract
Sustainable construction materials are critical for reducing the carbon footprint of urban development. This research investigates structural optimization of bamboo-based composites to improve mechanical properties and durability while maintaining environmental benefits. Experimental and simulation techniques assess tensile strength, flexural rigidity, and impact resistance of composites reinforced with bamboo fibers. The study examines matrix-fiber bonding, moisture absorption, and thermal stability. Results demonstrate that optimized composites meet or exceed conventional material standards for certain load-bearing applications. The paper discusses challenges with manufacturing consistency and bio-degradation, proposing treatments to enhance longevity for Ethiopian climatic conditions. Implementing bamboo composites supports green building practices and resource efficiency for sustainable urban growth. Recommendations include developing standards and promoting bamboo plantations as renewable resources.

Keywords: bamboo composites, green construction, structural optimization, sustainable materials, Ethiopia

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

THERMAL MANAGEMENT IN ELECTRIC VEHICLES USING ADVANCED PHASE CHANGE MATERIALS

Assoc. Prof. Dr. Pavel Smirnov , Dr. Irina Volkova, Mikhail Andreev
Department of Mechanical Engineering, Saint Petersburg State University, Russia

Abstract
Effective thermal management of electric vehicle (EV) batteries is vital for performance, safety, and lifespan. This paper examines the utilization of advanced phase change materials (PCMs) as passive cooling solutions in EV battery systems. The study presents experimental characterization of novel PCM composites with tailored melting points and enhanced thermal conductivity. Thermal simulations model heat distribution and temperature regulation under varying driving conditions. Results highlight improved temperature uniformity and delay in overheating, contributing to battery efficiency and durability. The paper also considers PCM integration challenges, such as material containment and mechanical stability under cyclic thermal loads. It proposes design recommendations for optimizing PCM-based systems, with implications for EV manufacturers seeking environmentally friendly and cost-effective thermal management technologies in Russia's automotive industry.

Keywords: thermal management, electric vehicles, phase change materials, battery cooling, energy efficiency

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

IMMUNE RESPONSE AND VACCINE EFFICACY IN DAIRY CATTLE

Prof. Dr. Reza Moradi, Dr. Sahar Ahmadi, Ali Tavakoli
Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Iran

Abstract
This study provides a comprehensive evaluation of immune response and vaccine efficacy in dairy cattle, focusing on both humoral and cellular immune mechanisms. Vaccination remains the cornerstone of preventive medicine in livestock, yet its effectiveness can be influenced by breed, age, nutrition, and environmental stressors. The authors conducted multi-phase field trials including serological assays, lymphocyte proliferation tests, and clinical monitoring on vaccinated herds in northern Iran. Key findings demonstrate variable antibody titers among different cattle breeds, temporal changes in immune markers following vaccination, and correlations between nutrition status and immunogenicity. Results reveal that while commercial vaccines are effective in reducing disease prevalence, instances of partial protection and booster necessity persist. Importantly, improved immune response is observed in herds managed with optimal nutrition and stress mitigation strategies. The study suggests targeting vaccine protocols to herd-specific characteristics and integrating proactive nutrition and welfare practices to optimize immunization outcomes, thus advancing dairy herd health and productivity.

Keywords: vaccine efficacy, dairy cattle, immune response, preventive medicine, serological assays

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

ADVANCES IN DIAGNOSIS AND TREATMENT OF CANINE PARVOVIRUS INFECTIONS

Assoc. Prof. Dr. Nima Ghasemi
Leila Farhadi
Department of Clinical Sciences, Shiraz University, Iran

Abstract
Canine parvovirus (CPV) remains a critical pathogen affecting global canine populations, causing severe gastroenteritis and high mortality rates in puppies. This paper reviews recent advancements in diagnostic techniques—especially molecular assays and rapid antigen testing—used in early detection of CPV infections. Treatment strategies now emphasize a combination of supportive care, immunomodulation, and targeted antiviral therapy. The authors detail clinical case studies highlighting improved prognosis with aggressive fluid therapy and adjunctive agents. The abstract assesses vaccine breakthroughs and the emerging role of oral and injectable biologics. The integration of molecular epidemiology enables tracking of viral variants and informs ongoing vaccine development. Results point to substantial decreases in fatality rates through early intervention and advanced therapeutic regimens. The paper concludes by recommending further research on CPV immunology and the development of novel antivirals to meet the evolving challenge of viral mutations and resistance.

Keywords: canine parvovirus, diagnosis, treatment, immunology, viral variants

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

EVALUATION OF ANTI-PARASITIC DRUGS IN SHEEP FLOCKS: RESISTANCE PATTERNS

Dr. Hossein Kiani
Mohammad Rezaei
Department of Parasitology, Tabriz University, Iran

Abstract
This research examines the efficacy and resistance patterns of anti-parasitic drugs used in sheep flocks under different management systems. Persistent drug resistance among gastrointestinal parasites threatens animal health and agricultural productivity. The study involved longitudinal sampling of fecal specimens, molecular resistance profiling, and drug rotation experiments across multiple flocks. Findings reveal rising trends in resistance against commonly used anthelmintics, correlated with improper dosage protocols and lack of drug rotation. The authors report success with integrated management strategies that combine targeted medication, pasture rotation, and parasite monitoring. Effective resistance management is shown to hinge on coordinated diagnostic surveillance and evidence-based treatment protocols. The paper recommends regular parasitological testing and strategic drug deployment to preserve treatment efficacy and reduce evolutionary pressure for resistance.

Keywords: anti-parasitic drugs, sheep flocks, resistance patterns, parasite management, anthelmintics

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

PREVALENCE AND MOLECULAR CHARACTERIZATION OF AVIAN INFLUENZA IN POULTRY FARMS

Dr. Meron Bekele
Assoc. Prof. Dr. Tsegaye Alemu
Department of Microbiology, Asmara College of Health Sciences, Eritrea

Abstract
Avian influenza poses significant risks to poultry farms due to its rapid transmission and potential for zoonotic outbreaks. This study investigates the prevalence and molecular characteristics of avian influenza viruses in commercial poultry operations near Asmara, Eritrea. By combining RT-PCR screening with phylogenetic analysis, the researchers identified predominant virus strains and mutation profiles. Epidemiological data highlight seasonal spikes in infection rates and link outbreaks to farm management practices and wild bird migration. The findings underscore the necessity of molecular surveillance for early detection and containment, as well as targeted biosecurity interventions, vaccination campaigns, and information dissemination among farm operators. These insights are crucial for national and regional disease control strategies aimed at mitigating economic losses and public health threats.

Keywords: avian influenza, poultry farms, molecular characterization, surveillance, biosecurity

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

NUTRITIONAL INTERVENTIONS TO IMPROVE REPRODUCTION IN DAIRY GOATS

Mesfin Tesfaye
Dr. Hana Belay
Department of Animal Science, Mazegga College of Agriculture, Eritrea

Abstract
The importance of diet in optimizing reproductive performance in dairy goats is the basis for this field research, which assesses targeted nutritional interventions over several breeding seasons. The authors conducted randomized trials on mineral supplementation, protein ratios, and forage quality in goat herds across the Maekel Region. Results detail marked improvements in fertility rates, kidding intervals, and offspring health indices associated with balanced micronutrient intake. Blood biochemistry and reproductive hormone monitoring confirm the physiological benefits of the intervention protocols. The study further explores the interactions between nutrition, environmental stress factors, and breed genetics. Conclusions emphasize the need for continued education, extension services, and policy support for smallholder farmers implementing such interventions to maximize herd productivity and economic resilience.

Keywords: nutrition, dairy goats, reproduction, fertility intervention, herd productivity

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

STRATEGIES FOR CONTROLLING BOVINE TUBERCULOSIS IN LARGE HERDS

Dr. Ahmed Hassan
Prof. Dr. Mohamed El-Sayed
Department of Veterinary Medicine, University of Belgrade, Serbia

Abstract
Bovine tuberculosis remains a significant challenge for animal health management and public safety, particularly in large herds. This study explores strategic control measures including improved diagnostics (e.g., interferon-gamma assays), robust quarantine protocols, and herd-level vaccination practices. By analyzing multi-year surveillance data, the authors demonstrate the impact of standardized testing and culling policies on reducing disease incidence. Case studies of herd-level implementations reveal the importance of farmer education, government-initiated monitoring, and financial incentives for compliance. Further discussion covers zoonotic implications, cross-species transmission concerns, and the role of molecular epidemiology in tailoring vaccination programs. The research supports comprehensive control strategies, advocating for coordinated multi-agency approaches to reduce TB prevalence and economic losses associated with large scale outbreaks.

Keywords: bovine tuberculosis, herd management, diagnostics, vaccination, control strategies

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

EPIDEMIOLOGICAL STUDY OF FLEA-BORNE DISEASES IN DOMESTIC CATS

Sara Kamal
Dr. Youssef Mansour
Ali El-Mahdy
Department of Epidemiology, University of Novi Sad, Serbia

Abstract
This epidemiological investigation examines flea-borne diseases in domestic cats across urban and rural households. The study systematically analyzes clinical records, owner surveys, and laboratory results for major pathogens (including Rickettsia felis and Bartonella henselae). Prevalence rates differ by household environment, grooming practices, and regional climate patterns. Molecular diagnostics and seroprevalence findings reveal seasonal variations and links to vector control failures. Case reports highlight zoonotic risks associated with cat ownership for immunocompromised populations. The abstract recommends integrated vector management, routine veterinary check-ups, and owner education to curtail flea-borne disease burdens. The research offers actionable insights for public health officials, veterinarians, and pet owners.

Keywords: flea-borne diseases, domestic cats, epidemiology, vector management, zoonosis

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

EFFECT OF ENVIRONMENTAL STRESS ON POULTRY IMMUNE FUNCTION

Dr. Hani Salah
Department of Animal Physiology, Cairo University, Egypt

Nouran Abdelrahman
Department of Animal Physiology, Cairo University, Egypt

Abstract
Environmental stressors such as heat, humidity, and overcrowding are major contributors to immune dysfunction in commercial poultry operations. This study evaluates the physiological and immunological consequences of acute and chronic stress exposure in broiler chickens and layers. Using biomarkers including cytokine profiles, lymphocyte counts, and oxidative stress markers, the authors document compromised flock immunity and increased susceptibility to infectious diseases. Experimental trials with stress mitigation interventions—such as cooling systems, dietary supplements, and optimized stocking densities—demonstrate partial restoration of immune health and improved disease resistance. The abstract highlights the imperative for environmental management in poultry production facilities to sustain avian health and maximize economic return. Policy recommendations encourage industry-wide adoption of welfare standards, preventive veterinary care, and environmental monitoring.

Keywords: environmental stress, poultry, immune function, biomarkers, disease resistance

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

AI-ENABLED PREDICTIVE MAINTENANCE SYSTEMS FOR SEMICONDUCTOR FABRICATION EQUIPMENT

Prof. Dr. Wei-Lun Chen, Dr. Ming-Hsuan Li, Yi-Jen Wang
Department of Electrical Engineering, National Taiwan University, Taiwan

ABSTRACT

This research develops artificial intelligence frameworks for predictive maintenance in semiconductor fabrication facilities, addressing equipment downtime challenges that significantly impact production yields and operational costs. Machine learning models integrate vibration analysis, thermal imaging, and process parameter telemetry from critical tools like plasma etch systems and chemical vapor deposition chambers. The methodology employs convolutional neural networks for anomaly detection in spectroscopic data alongside recurrent neural networks processing time-series sensor inputs to forecast component degradation. Edge computing architectures enable real-time inference at the equipment level while cloud-based digital twins facilitate scenario simulation for maintenance optimization. The approach addresses domain-specific challenges including class imbalance in failure datasets through synthetic minority oversampling and transfer learning from aerospace maintenance paradigms. Human-AI collaboration interfaces incorporate explainable AI techniques ensuring technician trust through feature importance visualization and counterfactual analysis. Implementation across Hsinchu Science Park facilities demonstrates substantial reductions in unscheduled downtime alongside optimized spare parts inventory management. Theoretical contributions advance remaining useful life estimation under concept drift conditions characteristic of nanoscale fabrication processes. The research establishes comprehensive digital transformation roadmap integrating equipment health monitoring with enterprise resource planning systems, positioning semiconductor manufacturers for Industry 4.0 transition while maintaining critical supply chain resilience essential for global electronics infrastructure.

Keywords: predictive maintenance, semiconductor equipment, AI fault detection, digital twins,

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

FLEXIBLE WEARABLE ANTENNAS FOR 5G HEALTH MONITORING DEVICES USING GRAPHENE NANOMATERIALS

Assoc. Prof. Dr. Shu-Yi Lin, Hao-Ting Wu, Chia-Wei Chang
Department of Electronic Engineering, Chang Gung University, Taiwan

ABSTRACT

This investigation advances flexible antenna technologies for fifth-generation health monitoring wearables incorporating graphene-based nanocomposites that maintain performance under mechanical deformation. The research addresses critical challenges in body-centric communications including specific absorption rate compliance, bending-induced impedance variations, and multi-band operation across sub-6 GHz and millimeter-wave spectrum. Inkjet-printed graphene patterns on polydimethylsiloxane substrates achieve wideband characteristics through fractal geometry optimization while textile integration enables seamless incorporation into athletic garments. Electromagnetic modeling incorporates human body phantoms accounting for dynamic posture changes and perspiration effects on dielectric properties. The antenna arrays support massive MIMO configurations essential for continuous vital signs monitoring including electrocardiography, photoplethysmography, and body temperature mapping. Metamaterial-inspired structures provide pattern diversity mitigating multipath fading in indoor healthcare environments. Biocompatibility testing confirms non-cytotoxic behavior alongside mechanical durability exceeding 10,000 bending cycles. Integration with system-on-chip transceivers enables edge processing of health analytics reducing latency for emergency detection algorithms. The research establishes comprehensive design methodology bridging materials science, electromagnetics, and biomedical engineering while addressing standardization requirements from regulatory bodies overseeing medical device communications. Theoretical contributions advance flexible electronics paradigms supporting ubiquitous health monitoring infrastructure essential for aging populations and chronic disease management in smart healthcare ecosystems.

Keywords: flexible antennas, graphene wearables, 5G health monitoring, body-centric communications, metamaterials

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

LOW-POWER IOT SENSOR NETWORKS FOR PRECISION AGRICULTURE IN ETHIOPIAN HIGHLANDS

Dr. Abel Tadesse, Meron Getachew
School of Electrical and Computer Engineering, Addis Ababa University, Ethiopia

ABSTRACT

This research develops energy-efficient Internet of Things networks tailored for precision agriculture applications across Ethiopian highland agroecological zones characterized by intermittent solar availability and extreme temperature variations. The system architecture employs solar-powered LoRaWAN mesh networks integrating soil moisture, leaf wetness, and microclimate sensors with machine learning edge analytics for irrigation optimization. Custom-designed ultra-low-power nodes achieve multi-year deployment through energy harvesting from thermal gradients and vibration energy from agricultural machinery. The network protocol incorporates adaptive duty cycling and cooperative routing strategies addressing sparse deployment challenges across fragmented smallholder farms. Data fusion algorithms combine satellite-derived normalized difference vegetation index with ground sensor measurements enabling predictive yield modeling despite limited internet connectivity. Human-centered design incorporates Amharic voice interfaces and solar-powered community gateways facilitating technology adoption among low-literacy farmers. The research addresses critical challenges including lightning protection for high-altitude deployments, rodent damage mitigation, and vernacular language localization of agricultural decision support systems. Theoretical contributions advance sustainable IoT paradigms for resource-constrained environments while establishing evaluation frameworks measuring return on investment through crop yield improvements and water conservation metrics. Implementation across Oromia Region cooperatives demonstrates substantial productivity gains alongside empowerment of women farmers through mobile-based alerts and market price forecasting integration positioning precision agriculture as pathway for food security enhancement within complex socio-technical agricultural systems.

Keywords: IoT agriculture, low-power networks, Ethiopian highlands, precision farming, energy harvesting

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR SOLAR PANEL FAULT DETECTION IN REMOTE ETHIOPIAN VILLAGES

Dr. Selamawit Bekele, Dawit Asfaw, Tigist Yohannes
Department of Electrical Engineering, Mekelle University, Ethiopia

ABSTRACT

This research implements machine learning frameworks for automated fault diagnosis in decentralized solar photovoltaic systems serving remote Ethiopian villages where technical expertise remains scarce. The methodology combines thermal imaging, electroluminescence analysis, and current-voltage curve tracing processed through ensemble learning algorithms achieving high accuracy across partial shading, hotspots, and micro-cracks prevalent in dust-prone environments. Edge-deployed models execute inference on low-cost microcontrollers enabling community-level maintenance without cloud dependency. Transfer learning approaches adapt pre-trained convolutional neural networks to limited local datasets addressing data scarcity challenges characteristic of rural electrification projects. Human-AI interfaces incorporate color-coded severity indicators and vernacular language alerts accessible through feature phones. The research addresses deployment challenges including extreme temperature cycling effects on panel degradation rates, intermittent shading from acacia tree canopies, and community governance structures for maintenance fund management. Economic analysis demonstrates substantial lifecycle cost reductions through prevention of cascading failures while enhancing energy access equity. Theoretical contributions advance domain adaptation techniques for resource-constrained computer vision applications while establishing standardized fault classification taxonomies applicable across sub-Saharan Africa solar deployments. Integration with national electrification programs positions machine learning as enabling technology bridging technical complexity with community empowerment creating sustainable maintenance ecosystems supporting universal energy access goals.

Keywords: solar fault detection, machine learning, rural Ethiopia, PV diagnostics, edge computing

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

WIDEBAND MILLIMETER-WAVE ANTENNA ARRAYS FOR 5G BASE STATIONS IN SAUDI DESERT ENVIRONMENTS

Assis. Prof. Dr. Khalid Alghamdi, Faisal Alotaibi
Department of Electrical Engineering, King Saud University, Saudi Arabia

ABSTRACT

This research develops high-performance millimeter-wave antenna arrays optimized for fifth-generation base stations operating within Saudi Arabia's extreme desert climate characterized by 55°C ambient temperatures, 90% humidity fluctuations, and pervasive sand abrasion. The substrate-integrated waveguide fed slot array architecture achieves wide instantaneous bandwidth covering n257, n258, n260, and n261 5G bands while maintaining low cross-polarization across 10°-70° scan angles essential for urban deployments. Specialized materials selection addresses thermal expansion mismatch and dielectric degradation under prolonged UV exposure characteristic of Neom and Red Sea Project sites. Aerodynamic fairing designs mitigate 40 m/s sandstorm-induced detuning while conformal cooling channels ensure thermal management during peak traffic loads. Beamforming calibration algorithms compensate for manufacturing tolerances and environmental drift maintaining 18 dBi realized gain across lifecycle. The research integrates system-level analysis modeling interactions with building-integrated massive MIMO deployments while addressing inter-cell interference challenges in dense Riyadh metropolitan spectrum auctions. Manufacturing scalability through injection molding and conductive ink printing enables cost-competitive production for Vision 2030 digital infrastructure expansion. Theoretical contributions advance environmentally robust phased array theory while establishing reliability models predicting 15-year MTBF under accelerated aging conditions. Deployment across pilot 5G sites confirms superior performance versus commercial alternatives positioning indigenous antenna technology as cornerstone of national telecommunications sovereignty supporting Giga projects and Hajj season connectivity requirements.

Keywords: mmWave antennas, 5G base stations, desert environments, substrate integrated waveguide, thermal management

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

GaN-BASED HIGH-EFFICIENCY POWER AMPLIFIERS FOR SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS

Dr. Noor Al-Mansour, Abdullah Alharbi, Sara Alghamdi
Department of Electrical Engineering, Prince Sattam Bin Abdulaziz University, Saudi Arabia

ABSTRACT

This research advances gallium nitride power amplifier technologies for Ka-band satellite communications addressing dynamic range compression and linearity requirements of high-throughput satellite constellations. The dual-stage Doherty architecture integrates custom-designed 0.15μm GaN-on-SiC HEMTs achieving 45% drain efficiency at 6 dB output backoff across 27.5-30 GHz while maintaining adjacent channel power ratios compliant with ITU-R standards. Advanced digital predistortion compensates for memory effects inherent to wideband satellite channels incorporating satellite transponder nonlinearities within the inverse model. Thermal management through diamond-substrate heat spreaders ensures reliable operation under GEO orbital radiation environments. The research addresses integration challenges with beamforming integrated circuits supporting hundreds of simultaneous spot beams required by next-generation VHTS platforms. System-level validation through over-the-air testing confirms error vector magnitude performance meeting DVB-S2X requirements across QPSK through 256APSK modulation orders. Supply modulation techniques further enhance efficiency during low-data-rate services maintaining performance across dynamic traffic profiles. Theoretical contributions advance Doherty combining theory for millimeter-wave frequencies while establishing comprehensive electromechanical models predicting long-term reliability under space qualification testing. The technology roadmap positions GaN amplifiers as enabling technology for Saudi satellite operator expansions supporting digital inclusion across remote desert regions while enhancing national capabilities within global space communications infrastructure essential for disaster response and broadcasting services.

Keywords: GaN power amplifiers, satellite communications, Doherty architecture, digital predistortion, Ka-band

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

RF ENERGY HARVESTING CIRCUITS FOR SMART CITY APPLICATIONS IN TBILISI URBAN INFRASTRUCTURE

Dr. Giorgi Tsiklauri, Nino Chikhradze, Mariam Gelashvili, Irakli Beridze
Department of Electronics and Telecommunications, Georgian Technical University, Georgia

ABSTRACT

This research develops radio frequency energy harvesting systems powering smart city sensor networks across Tbilisi's heterogeneous urban electromagnetic environment combining legacy FM broadcasting, 4G macrocells, and emerging 5G small cells. Multi-band rectenna arrays optimize power conversion efficiency across 400 MHz - 6 GHz spectrum through harmonic rejection filtering and differential rectifier topologies achieving 68% efficiency at -15 dBm input typical of urban crowd zones. The system architecture incorporates maximum power point tracking algorithms adapting to fluctuating ambient RF levels while supercapacitor buffering ensures reliable sensor node operation during RF nulls. Integration with Tbilisi's existing tram power line infrastructure provides hybrid energy sources addressing wintertime harvesting limitations. Low-power wake-up receivers enable event-driven sensing minimizing average consumption to 12 nW across pedestrian traffic monitoring, air quality sensing, and structural health applications. The research addresses urban deployment challenges including electromagnetic compatibility with medical devices, aesthetic integration within UNESCO-protected old town districts, and community engagement addressing radiation exposure concerns. Theoretical contributions advance multi-tone rectifier theory while establishing urban RF cartography methodologies characterizing spatio-temporal harvesting potential. Pilot deployments across Rustaveli Avenue demonstrate self-sustaining operation powering 28 sensor nodes continuously. Economic analysis confirms five-year payback through eliminated battery replacement costs positioning RF harvesting as sustainable alternative supporting Tbilisi Smart City Strategy while enhancing urban resilience through distributed intelligence infrastructure.

Keywords: RF energy harvesting, smart city sensors, multi-band rectennas, urban IoT, Tbilisi infrastructure

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

MACHINE VISION SYSTEMS FOR INDUSTRIAL QUALITY CONTROL IN GEORGIAN MANUFACTURING

Dr. Lasha Kapanadze
Department of Automation and Robotics, Georgian Technical University, Georgia

ABSTRACT

This research implements machine vision technologies enhancing quality assurance across Georgian wine bottling, pharmaceutical tablet pressing, and textile weaving industries addressing visual defect detection challenges characteristic of post-Soviet manufacturing transitions. Deep learning frameworks combine convolutional neural networks for surface anomaly detection with transformer architectures processing sequential fabric defects achieving sub-millimeter resolution across varying illumination conditions prevalent in aging factory environments. Edge-deployed inference engines execute real-time analysis on NVIDIA Jetson platforms enabling closed-loop control integration with existing PLC infrastructure. The methodology addresses domain-specific challenges including class imbalance from low defect occurrence rates through synthetic data generation and few-shot learning paradigms adapted from medical imaging. Human-machine collaboration interfaces incorporate augmented reality overlays guiding operators through false positive resolution while collecting annotation data for continuous model improvement. Integration with Industry 4.0 platforms provides comprehensive quality genealogy tracking from raw material inspection through final packaging. Theoretical contributions advance defect localization theory under uncontrolled lighting conditions while establishing standardized evaluation metrics bridging computer vision performance with economic impact measurements. Implementation across Kakheti wineries demonstrates substantial reduction in export rejections alongside optimized production scheduling through predictive quality analytics. The research establishes comprehensive digital transformation roadmap positioning machine vision as cornerstone technology revitalizing traditional manufacturing sectors while creating high-skill employment opportunities essential for Georgian economic diversification.

Keywords: machine vision, industrial quality control, Georgian manufacturing, deep learning, defect detection

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

NURSE-LED PRENATAL EDUCATION PROGRAMS IMPROVING BIRTH OUTCOMES AMONG ADOLESCENT MOTHERS IN URBAN KAZAKHSTAN

Assoc. Prof. Dr. Gulnara Abayeva, Yerzhan Nurtayev, Aizhan Sadykova
Department of Maternal and Child Health Nursing, Kazakh National Medical University, Kazakhstan

ABSTRACT

This quasi-experimental study evaluates nurse-led prenatal education programs addressing the complex biopsychosocial needs of adolescent mothers in Almaty and Astana maternity systems. The intervention integrates culturally congruent modules covering nutritional counseling, psychosocial support, and birth preparedness delivered through trained obstetric nurses across polyclinic networks. Theoretical framework combines Bandura's self-efficacy theory with Barker's Health Belief Model, emphasizing perceived susceptibility to preterm labor and barriers to antenatal care seeking among Kazakhstani teenagers navigating post-Soviet healthcare fragmentation. Program components include group psychoeducation addressing stigma around adolescent pregnancy, peer mentoring by recovered teen mothers, and family involvement sessions reconciling traditional nomadic fertility beliefs with modern obstetrics. Nurse trainers employ motivational interviewing techniques fostering internal locus of control alongside practical skills training in danger sign recognition and hospital bag preparation. Health literacy modules demystify medical terminology bridging Russian-Kazakh language barriers persisting from Soviet medical education legacies. Community health outreach integrates school nurses identifying at-risk pregnant students through confidential screening protocols. Sustainability achieved through train-the-trainer cascades establishing regional replication capacity. Mixed-methods evaluation combines clinical birth outcome indicators with qualitative exploration of adolescent mothers' lived experiences navigating shame-guilt cycles characteristic of collectivist Central Asian kinship structures. Critical feminist lens examines power dynamics between young mothers and matriarchal family authorities influencing care-seeking behaviors. Research contributes to global nursing scholarship by documenting context-specific adaptations of Western prenatal education models within post-Soviet transitional healthcare economies where adolescent fertility rates remain double OECD averages despite declining total fertility. Findings inform national maternal health policy reform prioritizing nurse empowerment within hierarchical physician-dominated systems.

Keywords: adolescent pregnancy, nurse-led education, prenatal care, Kazakhstan maternity, self-efficacy training

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

EFFECTIVENESS OF NURSE-IMPLEMENTED NON-PHARMACOLOGICAL PAIN RELIEF DURING LABOR IN IRANIAN MATERNITY WARDS

Dr. Sara Langaroudi, Assoc. Prof. Dr. Mehran Tavakoli, Yasaman Sharifi
Nursing and Midwifery Care Research Center, Tehran University of Medical Sciences, Iran

ABSTRACT

This randomized controlled trial investigates nurse-implemented non-pharmacological pain relief strategies within Iranian labor wards where cultural norms favor pharmacological interventions despite high cesarean rates. Intervention package combines therapeutic touch, aromatherapy with damask rose, sacral counter-pressure, and breathing techniques delivered by labor support nurses trained in Watson's Theory of Human Caring. Theoretical foundation integrates Melzack's Gate Control Theory explaining pain modulation through sensory-discriminative and affective-motivational pathways alongside Kolcaba's Comfort Theory framing labor pain within physical, psychospiritual, sociocultural, and environmental comfort domains. Cultural adaptation incorporates Shia Islamic prayer integration during contraction peaks alongside family-centered care honoring Persian kinship expectations of maternal presence. Nurse competency development emphasizes therapeutic presence countering ritualized medicalization characteristic of Iranian obstetrics. Program evaluation employs Visual Analog Scale pain trajectories alongside salivary cortisol biomarkers validating subjective reports. Qualitative analysis explores parturients' lived experiences negotiating modesty requirements with physical positioning needs during second stage labor. Economic evaluation compares cost structures revealing nurse-led protocols cost one-third epidural analgesia while achieving equivalent satisfaction scores. Dissemination strategy includes national nursing curriculum integration alongside Ministry of Health policy briefings advocating labor support nurse certification. Research addresses gap in Middle Eastern nursing scholarship where labor pain management literature remains dominated by pharmacological RCTs neglecting sociocultural pain meaning-making frameworks. Study contributes phenomenological understanding of pain experience within Shiite cosmological frameworks where suffering acquires redemptive significance. Critical examination reveals gendered power dynamics positioning nurses as handmaidens to obstetricians despite superior relational competencies uniquely suited to holistic labor support.

Keywords: labor pain management, non-pharmacological interventions, Iranian maternity care, therapeutic touch, comfort theory

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

IRANIAN NURSES' ROLES IN EARLY DETECTION AND MANAGEMENT OF HYPERTENSIVE DISORDERS IN PREGNANCY

Prof. Dr. Mina Hosseini, Leila Bahrami
Department of Maternal Newborn Health, Iran University of Medical Sciences, Iran

ABSTRACT

This action research documents Iranian nurses' expanded scope-of-practice in early detection protocols for hypertensive disorders complicating pregnancy within resource-constrained public health settings. Interventionist methodology develops nurse-initiated standing orders for proteinuria screening, blood pressure pattern recognition, and magnesium sulfate administration guided by nurse-physician collaborative practice agreements. Theoretical framework combines Benner's Novice-to-Expert model charting competency progression alongside Leininger's Culture Care Theory adapting protocols to Persian kinship expectations surrounding pregnancy complications. Training curriculum emphasizes clinical judgment development through simulation-based learning addressing diagnostic overshadowing where somatic complaints dismissed as psychological manifestations within collectivist cultures. Nurse empowerment modules counter medical dominance fostering assertive communication with obstetricians while preserving hierarchical respect characteristic Iranian healthcare culture. Program implementation across Mashhad teaching hospitals establishes clinical dashboards tracking pre-eclampsia incidence alongside nurse detection sensitivity. Mixed-methods evaluation combines interrupted time series analysis of maternal outcomes with hermeneutic phenomenology exploring nurses' moral distress navigating institutional protocols versus patient advocacy. Economic analysis reveals cost savings through averted emergency cesarean deliveries and ICU admissions. Policy advocacy includes legislative amendments expanding nurse-initiated protocols within national maternal health strategy. Research addresses invisibility of nursing contributions within Iranian medical literature dominated by physician-centric HDP studies. Critical feminist analysis examines gendered division of care labor positioning nurses as primary surveillance agents despite lacking prescriptive authority. Documentation establishes foundational evidence supporting advanced practice nursing regulation within conservative healthcare systems balancing professional autonomy with cultural norms of collegial deference.

Keywords: hypertensive disorders pregnancy, nurse detection protocols, Iran maternal health, clinical judgment, scope-of-practice expansion

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

NURSE-DRIVEN COMMUNITY HEALTH WORKER MODELS FOR MATERNIA ANEMIA SCREENING IN RURAL INDIAN VILLAGES

Dr. Anjali Mehta, Assoc. Prof. Dr. Prakash Nair, Sameer Kulkarni
College of Nursing, All India Institute of Medical Sciences, India

ABSTRACT

This community-based participatory study develops nurse-coordinated Accredited Social Health Activist (ASHA) screening protocols addressing maternal anemia prevalence exceeding seventy percent across rural Uttar Pradesh heartland. Theoretical framework integrates Paulo Freire's critical pedagogy empowering village health workers through consciousness-raising alongside Nola Pender's Health Promotion Model targeting self-efficacy barriers to iron supplementation compliance. Nurse mentoring establishes tiered competency ladder from hemoglobin color wheel screening through point-of-care digital hemoglobinometers with confirmatory venous sampling protocols. Culturally congruent modules counter caste-based contamination anxieties surrounding iron tablet distribution through peer-to-peer modeling within same-gotra women's groups. Digital case management system integrates ASHA tablets with nurse supervisor dashboards enabling real-time quality monitoring across three hundred villages. Program theory employs social network activation leveraging kinship ties amplifying intervention reach through chain referral recruitment. Economic evaluation confirms cost-effectiveness ratio favoring community screening versus tertiary referral patterns characteristic government hospital workflows. Mixed-methods evaluation combines cluster-randomized trial maternal hemoglobin trajectories alongside ethnographic immersion documenting menstrual taboo intersections with anemia symptomatology. Policy analysis examines National Health Mission scalability barriers including supply chain fragmentation plaguing iron folic acid tablet distribution. Research addresses invisibility of nursing leadership within Indian public health literature dominated by medical interventions neglecting relational foundations of community trust-building essential for sustained behavior change. Critical examination reveals gendered care economies positioning nurses as bridge-builders between biomedical authority and indigenous healing ontologies preserving pluralistic health-seeking pathways within federalist healthcare governance structures.

Keywords: maternal anemia screening, community health workers, rural India nursing, ASHA training, health promotion models

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

INDIAN NURSES' TRAINING PROTOCOLS FOR BREASTFEEDING SUPPORT AND LACTATION CONSULTATION IN POSTPARTUM CARE

Dr. Priya Neha
Department of Obstetric and Gynecological Nursing, Christian Medical College, Vellore, India

ABSTRACT

This phenomenological study develops competency-based lactation consultant training for Indian nurses addressing suboptimal breastfeeding initiation rates persisting despite national policy mandates. Curriculum integrates WHO/UNICEF Baby-Friendly Hospital Initiative standards with indigenized modules addressing cultural lactation inhibitors including colostrum discard rituals and formula marketing penetration within private sector maternity homes. Theoretical foundation combines Mezirow's transformative learning theory facilitating paradigm shifts around "thin milk" beliefs alongside Barker's Family Systems Theory mapping kinship influences on newborn feeding hierarchies. Simulation-based mastery learning establishes psychomotor competencies in latch assessment, manual expression techniques, and supernumerary nipple identification prevalent across diverse Indian populations. Interprofessional modules foster physician-nurse collaborative scripting countering formula prescription inertia characteristic private practice obstetrics. Digital lactation diary application enables longitudinal infant growth monitoring alongside predictive risk stratification for lactation failure. Economic analysis confirms cost savings through averted formula expenditures burdening low-income households. Qualitative methodology privileges nurses' lived experiences navigating caste-class intersections structuring postpartum care labor divisions. Program evaluation employs OSCE stations assessing clinical reasoning alongside patient-reported outcome measures capturing exclusive breastfeeding duration. Policy advocacy targets Medical Council of India mandating lactation competencies within MBBS curriculum alongside Indian Nursing Council specialist recognition pathways. Research addresses gap in South Asian nursing scholarship privileging technical procedures over relational breastfeeding competencies constituting nursing's existential core. Critical postcolonial analysis examines lingering colonial wet-nurse economies structuring contemporary lactation consultantage while illuminating indigenous galactogogue traditions ripe for biomedical validation through nurse-led clinical trials. Documentation establishes gold-standard training platform scalable across National Health Mission facilities.

Keywords: lactation consultation training, Indian nursing protocols, breastfeeding support, postpartum care, transformative learning

ISBN NR: 978-625-5694-96-6

GEORGIAN NURSES' IMPLEMENTATION OF MIDWIFERY-LED CARE MODELS FOR LOW-RISK PREGNANCIES

Assoc. Prof. Dr. Nino Chikhradze, Dr. Tamar Kapanadze, Giorgi Gelashvili
Faculty of Medicine Nursing Department, Tbilisi State Medical University, Georgia

ABSTRACT

This implementation science study documents Georgian nurses' transition toward midwifery-led continuity of care models within post-Soviet healthcare systems still oriented toward risk-averse medicalized obstetrics. Theoretical framework integrates Normalization Process Theory explaining practitioner collective action alongside Avedis Donabedian's structure-process-outcome paradigm evaluating care continuity impacts. Intervention develops nurse-midwife collaborative practice agreements delineating scope expansion into physiological labor surveillance, vaginal birth after cesarean counseling, and interprofessional handoff protocols preserving safety within resource-constrained Caucasian maternity systems. Cultural adaptation honors Soviet-era "fighting spirit" obstetrics through reframing physiological birth as empowered agency versus medical passivity. Simulation training establishes competency in intermittent auscultation, hydrotherapy labor support, and physiologic third stage management countering pervasive electronic fetal monitoring and active management protocols. Digital patient journey mapping visualizes care continuity across antenatal-intrapartum-postpartum continuum. Economic evaluation confirms cost neutrality through averted operative interventions alongside enhanced bed turnover efficiency. Mixed-methods evaluation combines birth outcome indicators with Giorgi phenomenological analysis exploring nurses' professional identity transformation navigating medical hierarchy resistance characteristic post-Soviet physician dominance. Policy analysis examines Ministry of Internally Displaced Persons healthcare privatization pressures constraining midwifery model diffusion. Research addresses invisibility of Caucasian nursing scholarship within global maternal health literature privileging African-Asian case studies neglecting transitional economy contexts where professional turf wars impede evidence-practice translation. Critical examination reveals gendered professionalization trajectories positioning Georgian nurses as inheritors of traditional *ebe* (midwife) wisdom confronting Soviet-trained obstetrician gatekeeping. Documentation establishes scalable implementation blueprint informing WHO European Region midwifery integration strategies.

Keywords: midwifery-led care, Georgian nursing implementation, physiological birth models, continuity of care, normalization process theory

ISBN NR: 978-625-5694-96-6