

CONFERENCE BOOK



ÇANAKKALE
27 - 28 ŞUBAT 2026

TROIA

3. ULUSLARARASI FEN ve UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



TROIA 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

FEBRUARY 27 – 28, 2026

CANAKKALE

ISBN: 978-625-5694-84-3

Published by : Academy Global Publishing House





**TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
FEBRUARY 27 – 28, 2026
CANAKKALE**

Edited By
ASSOC. PROF. DR. MEHMET FIRAT BARAN

Issued: 15.03.2026
ISBN: 978-625-5694-84-3

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :

In the conference 31 papers have been presented by Turkish participants and 47 papers by international participants.

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

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

Web: www.abantkongresi.org

Contact: abantkongresi@gmail.com

CONFERENCE ID

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES**DATE – PLACE****FEBRUARY 27 – 28, 2026****CANAKKALE****ORGANIZATION****ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS****EVALUATION PROCESS****All applications have undergone a double-blind peer review process.****PARTICIPATING COUNTRIES****Turkey –India- Kazakhstan – Malaysia- Italy – Nigeria – Iran – Kenya – China- Romania -
Brazil- Pakistan- Egypt – Tanzania- Hungary – Morocco- Tunisia-****PRESENTATION****Oral presentation**

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

Academy Global–2026©

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Head of Conference : Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Üniversitesi

Prof. Dr. Ali Bilgili - Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Naile Bilgili - Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Başak Hanedan - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Hajar Huseynova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Dwi Sulisworo - Ahmad Dahlan University

Prof. Zain Musa - Royal Academy of Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain - NICMAR University

Prof Yakup Babayev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Suyatno - Ahmad Dahlan University

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

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

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Belkıs Özkara - Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna - Zarmed University

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

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

Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - Ataturk Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Munzur Üniversitesi

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

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

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

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Dicle Üniversitesi

Assoc. Prof. Dody Hartanto - Ahmad Dahlan University

- Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn - Ahmad Dahlan University
- Assoc. Prof. Nazile Abdullazade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi
- Assoc Prof. Dr. Feran Aşur - Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
- Assoc Prof. Dr. Erkan EFİLTİ - Kırgızistan-Türkiye Manas University
- Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti - Ahmad Dahlan University
- Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - New Bulgarian Üniversitesi
- Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari - Tebriz Üniversitesi
- Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş - Gazi Üniversitesi
- Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi
- Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi
- Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi
- Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi
- Assoc. Prof. Dr. Sevrə Fırıncıoğulları
- Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia
- Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi
- Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi
- Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi
- Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi
- Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi
- Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi
- Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –
- Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Üniversitesi
- Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi
- Dr. Gültekin Gürçay
- Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

- Prof. Dr. Hülya Çiçek – Türkiye
Prof. Dr. Emine Koca – Türkiye
Prof. Dr. Fatma Koç – Türkiye
Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye
Prof. Dr. Ali Bilgili - Türkiye
Prof. Dr. Naile Bilgili - Türkiye
Prof. Dr. Başak Hanedan – Türkiye
Prof. Dr. Aysel Güven - Türkiye
Prof. Dr. Bülent Kurtişoğlu – Türkiye
Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan
Prof. Dr. Dwi Sulisworo – Indonesia
Prof. Dr. Natalia Latygina – Ukraina
Prof. Dr. Yunir Abdrahimov – Russia
Prof. Muntazir Mehdi – Pakistan
Prof. Dr. T.Venkat Narayana Rao – India
Prof. Dr. İzzet Gümüş – Türkiye
Prof. Dr. Mustafa Bayram – Türkiye
Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Türkiye
Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China
Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan
Prof. Dr. Suyatno – Indonesia
Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia
Prof. Dr. Sameer Jain – India
Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran
Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia
Prof. Dr. Guler Yenice – Türkiye
Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Türkiye
Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan
Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye

Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye

Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Türkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Türkiye

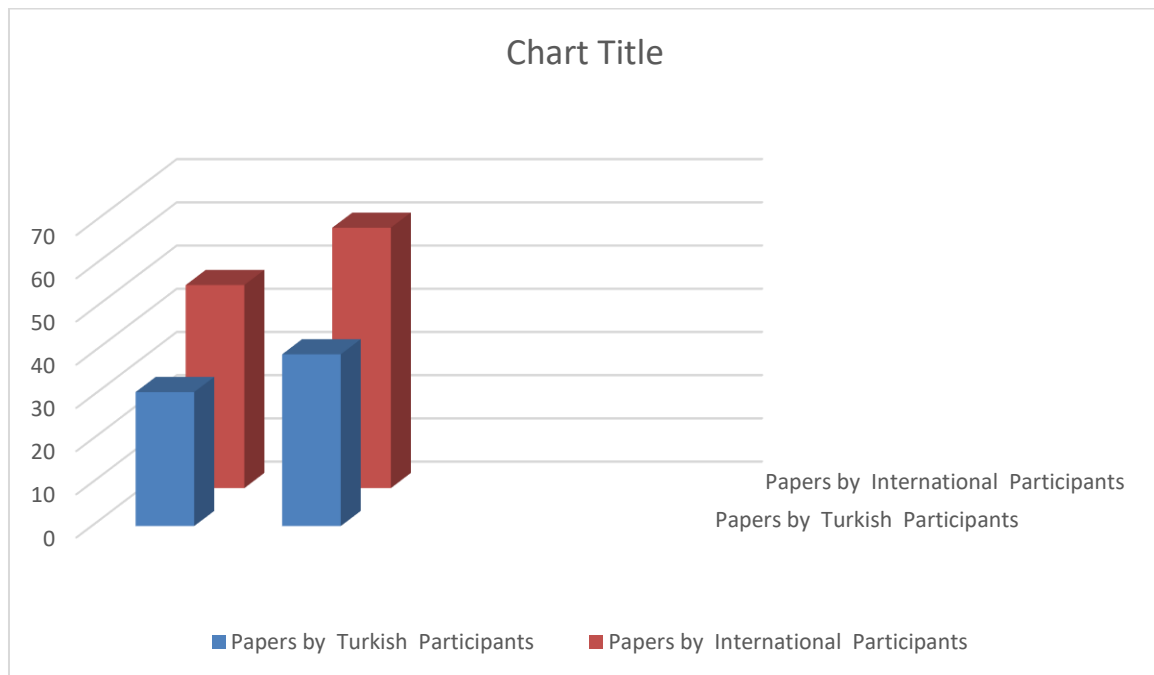
Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Türkiye

- Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan
- Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaijan
- Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azerbaijan
- Assoc. Prof. Dr. Ali Vandshoari – İran
- Assoc. Prof. Dr. Dinara Fardeeva – Rusya
- Assoc. Prof. Dr. Göksel Ulay – Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizistan
- Assist. Prof. K. R. Padma – India
- Assist. Prof. Dr. Omid Afghani - 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 İmangaliev - 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 Tursunaliyeva - 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 Büyükkaracıgan – Turkiye
- Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines
- Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam
- Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Turkiye
- Dr. Mehmet Nuri Ödük – Turkiye
- Dr. Ayşe Baran - Turkiye
- Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan
- Dr. Sonali Malhotra – India
- Dr. Amaneh Manafidizaji – Iran

	<i>Number of paper</i>	<i>%</i>
<i>Papers by Turkish Participants</i>	31	39,74
<i>Papers by International Participants</i>	47	60,26





T.C.
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Tıp Fakültesi



Sayı : E-98102723-903.07-475454
Konu : Görevlendirme Talebi

REKTÖRLÜK MAKAMINA

İlgi : 27.03.2024 tarihli ve E--903.07-474236 sayılı yazı

Fakültemiz Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı'nda görevli öğretim üyesi Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK'in Yükseköğretim Genel Kurulunun 15.06.2023 tarihli, 10 sayılı oturumunda alınan 2023.10.183 sayılı kararı gereğince Doçentlik Başvuru Şartlarında bulunan ve doçent olacak adaylardan istenen "Diğer uluslararası/ ulusal bilimsel toplantının düzenleme komitesinde resmi olarak görevlendirilmiş üniversite akademisyen temsilcisi bulunması zorunludur." maddesi gereğince, Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz ve yevmiyesiz olarak görevlendirilme talebi ile ilgili dilekçesi ekte gönderilmiştir

Adı geçen öğretim üyesinin Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz, yevmiyesiz olarak görevlendirilmesinde Dekanlığımızca bir sakınca bulunmamaktadır.

Onaylarınıza arz ederim

Prof.Dr. Şevki Hakan EREN
Dekan

OLUR

Prof.Dr. Arif ÖZAYDIN
Rektör

Ek:İlgi Dilekçe (1 Adet)

Dağıtım:

Gereği:

Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı Başkanlığı

Bilgi:

Sayın Prof.Dr. Hülya ÇİÇEK

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : *BSFN3RR3CF* Pin Kodu : 27962

Belge Takip Adresi : <https://turkiye.gov.tr/gaziantep-universitesi-ebys>

Adres : Gaziantep Üniversitesi Kampus Alanı, Tıp Fakültesi Dekanlığı, Şehitkamil - 27310 -

GAZİANTEP

Telefon : 0 (342) 360 60 60 Faks:0 (342) 360 16 17

e-Posta : tipfaksekg@gmail.com Web : www.gantep.edu.tr/~tipdekanlik/bilgipaketi

Kep Adresi : gauntipdek@hs01.kep.tr

Bilgi için : Hüseyin Temel

Unvanı : Bilgisayar İşletmeni V.



TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
TROIA 3RD INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
February 27 – 28, 2026
CANAKKALE

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

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

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224



ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

- ZOOM bağlantısı için yukarıda verilen bağlantıyı veya yine yukarıda verilen giriş bilgilerini kullanabilirsiniz.
- **Oturum içerisinde en KIDEMLİ olan moderatör olarak seçilir. Moderatörün oturum düzenini gözetmesi, akademisyen adaylarını yönlendirmesi beklenmektedir.**
- Oturuma bağlanmadan önce Salon numaranızı adınızın önüne aşağıdaki gibi ekleyiniz. Bu sayede kongre açılışında beklemeden oturumlarınıza gönderilebileceksiniz. Ör. 5 Ahmet Ahmetoglu
- **Sunum süresi 10 dakikadır. Bu sürenin aşılmasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilir.**
- Kameralar, oturum süresince toplam % 70 oranında açık olmak zorundadır.
- **Sunum yapan katılımcının kamerası açık olmak zorundadır.**
- Sunum yapmak zorunludur. **Herhangi bir nedenle sunum yapmamış olan katılımcıya sertifika verilmesi ve çalışmasının yayınlanması 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,

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Asst. Prof. Ersin ERTAN	1	MODA MARKALARININ GÖRSEL KİMLİĞİNDE KÜLTÜREL VE TASARIMSAL KODLAR: TÜRK VE FRANZIZ LOGOLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	Doç. Dr. Özlem KUM Dr. Öğr. Gör., Havva Sinem İNNAP
		2	A STUDY ON LIGHT AND SHADOW IN RENAISSANCE, BAROQUE, AND NEOCLASSICAL PAINTING (CREATING VOLUME, DRAMATIZING NARRATIVE, AND MORAL CLARITY)	Master's Student Aslınur KOÇ Assoc. Prof. Dr. Hüda SAYIN YÜCEL
		3	A COMPARATIVE STUDY OF ABANDONED, RUINED, AND DESOLATE SPACES IN THE PAINTINGS OF C. D. FRIEDRICH, V. HAMMERSHØI, G. DE CHIRICO, AND E. AKYAVAŞ	Graduate Student Gözde ŞENGÖZ Assoc. Prof. Hüda SAYIN YÜCEL
		4	ART AS A THERAPEUTIC MODE OF EXPRESSION: THE EXAMPLE OF LOUISE BOURGEOIS	Arş. Gör. Mustafa AKIN Prof. Dr. Neslihan KIYAR
		5	METAVERSE ÜZERİNDE MODA DENEYİMİ, FİZİKSELİN ÖTESİNDE STİL	Yüksek Lisans Öğrencisi, Emre Can PORSUK Dr. Öğr. Üyesi Nursen GEYİK DEĞERLİ
		6	ITERATIVE DESIGN THINKING AND GAMIFICATION IN VISUAL EFFECTS PEDAGOGY	Asst. Prof. Ersin ERTAN
		7	VISUAL NARRATIVE PRACTICES IN INTERIOR ARCHITECTURE EDUCATION: A LEARNING EXPERIENCE THROUGH FIGURE, PHOTOGRAPHY, AND STORYTELLING	Dr. Öğr. Üyesi, Turgut KALAY
		8	HAYAT AĞACI SEMBOLÜNÜN ÇAĞDAŞ SERAMİK SANATINA YANSIMASI	Dr. Öğr. Üyesi Fulya SAVAŞ
		9	GİYSİ TASARIMINDA HİKAYE PANOSU GELİŞTİRME SÜRECİ	Öğr. Görevlisi Sayara YERGESHOVA

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Prof. Dr. Ali Osman ÖZTÜRK	1	FOLK BELIEFS IN THE DIVAN OF MUIDI OF KALKANDELEN	Dr. Oğuz YILDIRIM
		2	AN IDENTITY OUTSIDE THE SPIRIT OF THE AGE AND TIMES: OBLOMOV, AN ANALYSIS OF GONCHAROV'S WORK OBLOMOV	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI
		3	JÜRGEN HABERMAS'S BASIC CONCEPTS and MODERN SOCIETY	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI
		4	LINGUISTIC AND CULTURAL LEARNING SPACES: STUDENT REFLECTIONS ON GERMAN LANGUAGE DAY IN A UNIVERSITY CONTEXT	Prof. Dr. Ali Osman ÖZTÜRK
		5	INDIVIDUAL PATHS TO LANGUAGE SUCCESS: AN ANALYSIS OF STUDENT LEARNING APPROACHES IN GERMAN AS A FOREIGN LANGUAGE	Prof. Dr. Ali Osman ÖZTÜRK
		6	LEXICAL ACCESS AND THE EFFECT OF CONTEXT IN PRODUCTION	Dr. Öğr. Üyesi, Taylan AKAL
		7	ÖLÜM VE YAŞAM ARASINDA KAHRAMANLIK: TRUVA SAVAŞI ANLATISINDA AŞİL VE ODYSSEUS	Dr. Zeliha Kuruducu

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Doç. Dr. Cumhur ŞAHİN	1	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN SEKTÖREL TERCİHLERİ VE GİRİŞİMCİLİK NİYETİ	Fikri Uğur Yetkil Doç. Dr. Ali Kahramanoğlu
		2	ONE TYPE OF PERSONAL CREDIT SCORING: FICO	Doç. Dr. Cumhur ŞAHİN
		3	ULUSLARARASI TİCARETTE KARBON TEMELLİ DÖNÜŞÜM: YEŞİL MUTABAKAT, SKDM VE YENİ REGÜLASYONLARIN ETKİLERİ	Prof. Dr. Taner AKÇACI Pınar KARAOĞLAN
		4	KÜRESEL JEOPOLİTİK GERİLİMLERİN TEDARİK ZİNCİRLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: ERKEN UYARI SİNYALLERİ VE LOJİSTİK RİSKLER	Prof. Dr. Taner AKÇACI Pınar KARAOĞLAN
		5	AN ANALYSIS OF FOOD CONSUMPTION HABITS IN THE PROVINCE OF ŞANLIURFA FROM A SUSTAINABILITY PERSPECTIVE	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet CANÇELİK Doç. Dr. Mehmet Reşit SEVİNÇ
		6	KURUMSAL İLETİŞİMDE SÜRDÜRÜLEBİLİR MARKA DEĞERİ OLUŞTURMA: REDBULL ÖRNEĞİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME	Doç. Dr., Yeliz KUŞAY

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 27 – 28, 2026 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 28 Şubat / Feb 28, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Asst. Prof. Güler ÇAVUŞOĞLU	1	EMPHASIS AND INFORMATION FOCUS IN ENGLISH CLEFT CONSTRUCTIONS	Sashka Jovanovska Marija Talevska Marija Tashkoska
		2	AN EXAMINATION OF MIDDLE SCHOOL PRE-SERVICE MATHEMATICS TEACHERS' AWARENESS OF MATHEMATICAL MISCONCEPTIONS	Asst. Prof. Güler ÇAVUŞOĞLU
		3	THE IMPACT of THE FAMILY INSTITUTION on SCHOOL DISCIPLINE POLİCİES: AN EXAMİNATION BASED on SCHOOL ADMINİSTRATORS' PERSPECTİVES	Dr, Yasin DEMİRCİ
		4	THE IMPACT OF DIGITAL TRANSFORMATION ON SCHOOL CULTURE: A FIELD STUDY FROM THE PERSPECTIVE OF SCHOOL ADMINISTRATORS	Dr, Yasin DEMİRCİ
		5	EĞİTSEL OYUNLARIN TÜRKÇE DERSİNE ETKİSİ ÜZERİNE ÖĞRETMEN ADAYI GÖRÜŞLERİ	Dr. Ali UZUN Prof. Dr. Oğuzhan SEVİM
		6	THE INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN TIME MANAGEMENT AND SCHOOL ENGAGEMENT AS PREDICTORS OF ACADEMIC SUCCESS	Sebiha Karagül Çavuşlu Prof. Dr. Mustafa Yüksel ERDOĞDU

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 27 – 28, 2026 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 28 Şubat / Feb 28, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Doç. Dr. Mesut DÜZCE	1	THE PROBLEM OF THE FORMALİZATION OF RATIONALITY: AN EVALUATION OF THE COMPUTATIONAL CONCEPTION OF RATIONALITY	R.A. Dr. Ömer Faruk KARAKÖSE
		2	LAIKLIK AND RELIGIOUS NORM EXPECTATIONS IN TÜRKİYE: MAPPING PUBLIC ATTITUDES WITH TGSS 2024 DATA	Doç. Dr. Mesut DÜZCE
		3	RELIGIOSITY, TRUST, AND SOCIAL CAPITAL IN TURKEY: A SOCIOLOGICAL ANALYSIS USING TGSS 2024 DATA	Doç. Dr. Mesut DÜZCE
		4	“MÂ YUDRİKE” İFADESİNİN KUR’ÂN’DAKİ KULLANIM ALANLARI	Doç. Dr. Mehmet Zeki DOĞAN
		5	KUR’ÂN’DA ÖNLEYİCİ YASAKLAMA: “LÂ TAKRABÛ” ÖRNEĞİ	Doç. Dr. Mehmet Zeki DOĞAN
		6	THE STATUS OF THE ‘ULAMÂ’ IN BAGHDAD AFTER THE MONGOL INVASION: A CASE STUDY ON HADITH SCHOLARS	Res. Asst., Muhammed ASLAN
		7	CITY DESCRIPTION IN MESİHİ’S EDİRNE SAHRENGİZ	Bilim Uzmanı Yasemin Şanlı

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Doç. Dr. Yener Lütfü MERT	1	İTİBARIN PANOPTİK DÖNÜŞÜMÜ: ALGORİTMİK GÖZETİM VE VERİ SÖMÜRGEÇİLİĞİ ÜZERİNE ELEŞTİREL BİR ANALİZ	Doç. Dr. Yener Lütfü MERT
		2	DİJİTAL ORTAMDA AFET İLETİŞİMİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ ÜZERİNE ELEŞTİREL VE KURAMSAL BİR DEĞERLENDİRME	Doç. Dr. Yener Lütfü MERT
		3	AN ANALYSIS OF THE FILM SHREK IN THE CONTEXT OF THE HERO'S JOURNEY	Yüksek Lisans Öğrencisi, Hüseyin Önder Demirtaş
		4	KÜLTÜREL MİRASIN AKTARIMINDA MÜZE EĞİTİMİNİN İŞLEVİ	PELİN ERKALE TANCAN
		5	IDENTITY POLITICS IN GASTRONOMY: A CONCEPTUAL ASSESSMENT OF GASTRONATİONALISM, GASTRONATİVISM, AND GASTROREGIONALISM	Dr. Öğr. Üyesi Merve ONUR
		6	THE EFFECT OF PARTICIPATION IN RECREATIONAL ACTIVITIES ON HAPPINESS AND QUALITY OF LIFE AMONG UNIVERSITY STUDENTS.	Nida BULUT Prof. Dr. Abdurrahman KIRTEPE

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Doç. Dr. Muhammet Nasih ECE	1	EVRENİN İŞLEYİŞİ ÜZERİNE FELSEFİ BİR SORUŞTURMA	Dr., Süleyman ALTIN
		2	KAVRAMI ANLAMAYA YÖNELİK BİR ÇÖZÜMLEME	Doç. Dr. Muhammet Nasih ECE
		3	YÜKLEMİ TÜMLEYEREK ÖNERMELERİ OLUMSUZLAMANIN GEREKTİRME VE ÖTELEME AÇISINDAN ÇIKARIMLARI	Doç. Dr. Muhammet Nasih ECE
		4	TOPLUMSAL CİNSİYET ROLLERİ PERSPEKTİFİNDEN “SARIKIZ EFSANESİ”	Yeliz ELPE
		5	A QUALITATIVE ANALYSIS OF THE COGNITIVE PERCEPTIONS OF FEMALE POLITICIANS IS CONDUCTED WITHIN THE FRAMEWORK OF MASCULINE POLITICS AND GENDER THEORY IN ZONGULDAK/MERKEZ	Yüksek Lisans Öğrencisi DEVRİM DOĞA KARATAŞ Dr. Öğretim Üyesi BANU AÇIKGÖZ
		6	TÜTÜN KULLANIMI SADECE BİR BAĞIMLILIK MI YOKSA SÖZSÜZ BİR MESAJ MI?: ANLATI İNCELEMESİ	Funda Yeşilatalı Prof. Dr. Görkem Yazarbaş Öğr. Gör. Dr. İnci Derya Yücel

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Farshad Zandavi	1	DECODING COGNITIVE PATHWAYS: EXPLORING THE INTRINSIC PROBLEM-SOLVING MECHANICS OF THE HUMAN MIND	Dr. Leila Niyazi
		2	UTOMATED GENERATION OF SCREEN-RECORDED VIDEOS: AN ALGORITHMIC FRAMEWORK FOR DIGITAL CONTENT CREATION	Dr. Farshad Zandavi
		3	ONTOLOGICAL FRAMEWORKS FOR INTELLIGENT MUSIC EDUCATION SYSTEMS: ENHANCING KNOWLEDGE REPRESENTATION AND UTILIZATION	Prof. Dr. Andreas Papadakis, Dr. Nikolaos Chatzis
		4	ENHANCING ENGINEERING EDUCATION IN LABORATORIES USING ACTIVE LEARNING: A COMPREHENSIVE APPROACH FOR STUDENT SKILL DEVELOPMENT	Jun Li, Ying Zhang, Hui Chen
		5	AUTONOMOUS AGENT LEARNING THROUGH CONSTRUCTIVIST PRINCIPLES: A SEQUENTIAL BOTTOM-UP LEARNING FRAMEWORK AND TOOL (CON-LEARN)	Carlos Hernández, Martín López, Sofia Márquez
		6	REVOLUTIONIZING MANUFACTURING LINES WITH DEEP LEARNING: A NEW ERA IN PRODUCT IDENTIFICATION	Assoc. Prof. Dr. Amina Bouzid
		7	ASSESSING THE ECONOMIC IMPACT OF ARTS AND EDUCATION PROGRAMS IN PUBLIC UNIVERSITIES OF KWARA STATE, NIGERIA: A HUMAN CAPITAL APPROACH	Adetunji Ayodele
		8		

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Adebayo Adekunle	1	EMBRACING INDUSTRY 4.0 WITH AI: OPTIMIZING ASSEMBLY LINE EFFICIENCY USING DEEP LEARNING-BASED PRODUCT IDENTIFICATION	Oluwaseun Adebayo
		2	EVALUATING THE ECONOMIC IMPACT OF HUMANITIES AND EDUCATION PROGRAMS IN PUBLIC UNIVERSITIES OF OSUN STATE: A DISCIPLINE-BASED ASSESSMENT	Adebayo Adekunle Chinonso Okafor
		3	A NEW APPROACH TO E-LEARNING: AN EXAMINATION OF STUDENT ENGAGEMENT WITH VARIOUS DIGITAL LEARNING TOOLS	Assoc. Prof. Dr. John Smith Dr. Emily Brown Dr. William Davis University of Canada
		4	UNVEILING THE HIDDEN STRUGGLE: A QUANTITATIVE EXPLORATION OF ANXIETY PREVALENCE AMONG DYSLEXIC STUDENTS IN HIGHER EDUCATION	C. Barzen Annika Victoria
		5	NAVIGATING THE CHALLENGES OF UNIVERSITY CURRICULUM POLICYMAKING IN BRAZIL: A CASE STUDY OF REFORM AND INNOVATION	Ana Silva Rafael Costa
		6	TRANSFORMATIVE IMPACT OF COLLABORATION: EMPOWERING MIDDLE GRADE EDUCATORS THROUGH A SHARED LEARNING CULTURE	Elena Georgiou, Andreas Papadopoulos, Dimitris Nikolaidis, Maria Vasilaki
		7	EXPLOITING CHATBOTS' POTENTIAL: A VISION FOR THEIR ROLE IN HIGHER EDUCATION	Eleni Papadopoulou, Nikos Georgiou,
		8		

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 27 – 28, 2026 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 28 Şubat / Feb 28, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Assoc. Prof. Kyoko Tominaga	1	COPYRIGHT SYSTEMS MODELS: STRIKING A BALANCE BETWEEN RIGHTS, INNOVATION, AND ACCESS	O. N. Ivanov
		2	MODERN CHALLENGES IN RUSSIAN SPORTS LAW	Dr. Ivanov Dmitry
		3	ENHANCING THE MODERNIZATION OF THE EUROPEAN COMPETITION NETWORK (ECN)	Dr. Anna Kowalska
		4	WOMEN'S RIGHTS AND CULTURAL AUTONOMY: CHALLENGES IN BALANCING CULTURAL ACCOMMODATION	Assist. Prof. Dr. Ayesha Siddiqui
		5	SOCIAL MOVEMENTS AND THE DIFFUSION OF TACTICS AND REPERTOIRES: ACTIVISTS' NETWORK IN ANTI-GLOBALISM MOVEMENT	Assoc. Prof. Kyoko Tominaga
		6	DISCRIMINATION IN CIVIL SERVICE HIRING: A THREAT TO MERITOCRATIC PRINCIPLES	Wang Hui, Zhang Ming
		7	DEPENDENCY THEORY AND THE UNITED STATES-MIDDLE EAST RELATIONSHIP: A CASE STUDY OF IRAN, SAUDI ARABIA, AND TURKEY	Assoc. Prof. Dr. Mahmoud El-Badawi
		8	SELECTION CRITERIA FOR NATIONAL TEAMS: THEORY AND APPLICATION	Ivan Petrov

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Assoc. Prof. Dr. Jihoon Park	1	THE DESIGN INFLUENCED BY THE ARCHITECTURAL AESTHETICS OF PHRA MAHA CHEDI AT WAT ARUN DURING THE RATTANAKOSIN ERA	Assoc. Prof. Dr. Kritchai Thammasan
		2	COMPARATIVE ANALYSIS OF RELIGIOUS FESTIVAL COSTUMES IN ASEAN COUNTRIES	Somchai Rattanakosin
		3	LOAN GUARANTEE SCHEMES: PUBLIC AND PRIVATE CASE STUDIES	Assoc. Prof. Dr. Simeon Petrov Maciej Kowalski
		4	THE USE OF RHIZOPHORA WOOD IN DESIGNING WALKING STICKS FOR SENIORS	Sanjay Verma Priya Reddy
		5	RHIZOPHORA CHARCOAL: AN ECO-FRIENDLY ALTERNATIVE FOR INNOVATIVE DESIGN APPLICATIONS	Nattawut Srisuk, Thanapong Phattharathit, Kritsana Suwanpichai
		6	FABRIC PRINTING DESIGN: INFLUENCES FROM KOREAN TRADITIONAL ART	Assoc. Prof. Dr. Jihoon Park
		7	"REVEALING THE ECOLOGICAL SPIRIT OF MUEANG THROUGH ENGLISH MATERIALS"	Dr. Nattapong Srisuk Assoc. Prof. Phatchara Chaiwit
		8		

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 27 – 28, 2026 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 28 Şubat / Feb 28, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Assoc. Prof. Tereza Dolečková	1	THE IMPACT OF ECONOMIC FACTORS ON NATIONAL INVESTMENT	Omar El-Mansouri Fatima Al-Hassan
		2	ASSESSMENT OF THE IMPACT OF RURAL WOMEN'S PARTICIPATION IN SUSTAINABLE WATER SUPPLY IN MALI	Fatoumata Sissoko, Aissatou Diakité, Mariam Coulibaly
		3	INTERNAL CONFLICT AND ARMED GROUPS: AN EXAMINATION OF THE ALGERIAN CONTEXT	Dr. Karim Benali, Dr. Nadia Belkacem
		4	LEADERSHIP STRATEGIES IN ADDRESSING EMPLOYEES' COUNTERPRODUCTIVE BEHAVIOR IN THE WORKPLACE	Ahmed Hassan, Sara El-Masry
		5	FINANCIAL STATEMENT FRAUD: THE NEED FOR A PARADIGM SHIFT TO FORENSIC ACCOUNTING	Ifedapo Francis Awolowo
		6	CUSTOMER ADOPTION AND ATTITUDES IN MOBILE BANKING IN SRI LANKA	Dr. Prasansha Kumari
		7	SERVICE EVALUATION OF MILITARY PERSONNEL IN THE ARMY OF POLAND IN RELATION TO BUDGETARY ALLOCATIONS	Assoc. Prof. Karolina Nowak Dr. Andrzej Kowalski
		8	PECULIARITIES OF IMPLEMENTATION OF BRANDING PRINCIPLES	Dr. Leila Kadir, Dr. Arif Turaev,

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 27 – 28, 2026 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 28 Şubat / Feb 28, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Assis. Prof. Saowapa Phaithayawat	1	A SIMILAR APPROACH: TO EMBRACE CLOUD COMPUTING OR STAY TRADITIONAL	Sofia Petrova Ivan Dimitrov
		2	THE IMPACT OF ZHOU ENLAI ON CHINA'S DIPLOMATIC STRATEGIES	Ibrahim C. Yildirim, Ayesha S. Kazmi, Qiang Z. Li
		3	FINGERPRINTS ON BALLISTIC MATERIALS AFTER GUNSHOT IMPACT	Somchai Phongtharuk Apinya Rattanawong
		4	THE EVOLUTION OF DIGITAL LEARNING PLATFORMS IN EDUCATIONAL INTEGRATION	Tanapat Kittipong Somchai Preechawong Apichart Phimphiwat
		5	DISCLOSURE IN THE SOCIAL SPHERE TO REDUCE CONFLICTS BETWEEN CITIZENS AND GOVERNMENTS: A STUDY OF THE MAHAKAN FORTRESS, BANGKOK	Dr. Nattapong Somwong Assoc. Prof. Kritsada Kittiwong
		6	THE POTENTIAL OF DIGITAL TOOLS IN JUNIOR SCHOOL ART LESSONS TO ENHANCE ARTISTIC ABILITY USING TAMAZIGHT FONTS	Dr. Khaled Ben Ali Prof. Amina El-Mansouri
		7	THE CREATIVE DESIGN OF CHILDREN'S PICTURE BOOKS INSPIRED BY AMPHAWA FIREFLIES LEGENDS	Dr. Somchai Rattanapong Prof. Ananya Chansiri Dr. Preecha Jirakosol
		8		

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Arş. Gör. Dr. DUYGU AK ÇETİN	1	STRENGTHENING SECURITY SECTOR GOVERNANCE: THE ROLE AND DUTIES OF THE POLICE	Nenad Jovanovski
		2	STRENGTHENING PROTECTED AREA MANAGEMENT: A GOVERNANCE ASSESSMENT AND PROPOSED ACTION PLAN FOR KALBARIO-PATAPAT NATURAL PARK (KPNP)	Gleshly Dee U. Castillo
		3	THE ROLE OF THE INTERNATIONAL CRIMINAL TRIBUNAL FOR THE FORMER YUGOSLAVIA (ICTY) IN SHAPING INTERNATIONAL CRIMINAL JUSTICE JURISPRUDENCE: ANALYSIS OF CASES AGAINST FORMER MEMBERS OF THE KOSOVO LIBERATION ARMY (KLA)	Msc. Juana Ballgini Ph.D.
		4	YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA İNSAN-MERKEZLİ, AKILLI VE DİRENÇLİ KENTLER: KAMU YÖNETİMİ PERSPEKTİFİNDEN BİR DEĞERLENDİRME	Arş. Gör. Dr. DUYGU AK ÇETİN

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 27 – 28, 2026 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 28 Şubat / Feb 28, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	HASAN KELEŞ	1	ANALYSIS OF BINARY AND THREE-VALUED LOGIC SYSTEMS AND CIRCUIT APPLICATIONS	HASAN KELEŞ
		2	EXTENDED RELATIONS BETWEEN Q-CIRCULANT MATRICES AND HYPER G-MATRIX PAIRS	HASAN KELEŞ
		3	THE RELATIONSHIP BETWEEN BIDAGONAL MATRICES AND HYPER G-MATRICES	HASAN KELEŞ
		4	LİNEER FARK DENKLEM SİSTEMLERİNİN FAZ DÜZLEM ANALİZİ ÜZERİNE	Yüksek Lisans Öğrencisi, Bilge SARI
		5	PARTICLE SWARM OPTIMIZATION BASED IMAGE SEGMENTATION FOR TARGET DETECTION IN THERMAL IMAGES: A DEFENSE INDUSTRY PERSPECTIVE	Emrah AKSU Asst. Prof. Dr. Züleyha YILMAZ ACAR Prof. Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ
		6	DENETİMLİ ÖĞRENME ALGORİTMALARI İLE ARIZA TAHMİNİ YAPILMASI	Öğr. Gör. İlyas Güvenç PİRGE
		7	VERİ BAĞLANTI KATMANINDA GÜVENLİK AÇIKLARI VE ÖNLEYİCİ MEKANİZMALAR: SİSTEMATİK BİR İNCELEME	Muhammet Esat KELEŞ Dr. Öğr. Üyesi FARUK AYATA
		8	GÖRÜNTÜ TABANLI SES ŞİFRELEME İÇİN YAPAY SİNİR AĞI DESTEKLİ HİBRİT KAOTİK SİSTEM	Öğr.Gör. , Nuri DÜRÜL Doç.Dr. Serhat KILIÇARSLAN Dr.Öğr.Üyesi Fahrettin Burak DEMİR

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 27 – 28, 2026 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 28 Şubat / Feb 28, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Doktora Öğrencisi, Zeynep Betül ÖZCAN	1	TELEREHABİLİTASYONUN ÇEVRESEL ETKİLERİ: KARBON AYAK İZİ AÇISINDAN BİR DEĞERLENDİRME	Doktora Öğrencisi, Zeynep Betül ÖZCAN
		2	KRONİK AKCİĞER HASTALIKLARDA TIMED UP AND GO TESTİ: FONKSİYONEL DEĞERLENDİRMENİN KLİNİK ROLÜ	Doktora Öğrencisi, Zeynep Betül ÖZCAN
		3	YENİDOĞAN YOĞUN BAKIM ÜNİTELERİNDE AĞRILI İŞLEMLER SIRASINDA KANGURU BAKIMININ ANALJEZİK ETKİSİ	Uzman Hemşire, Dilek Muslu Dr. Öğr. Üyesi, Alev Sivasslı
		4	ÇOCUKLARDA KİSTİK FİBROZİS: MULTİDİSİPLİNER BAKIM, AİLE EĞİTİMİ VE DESTEK MODELLERİ	Uzman Hemşire, Dilek Muslu Dr. Öğr. Üyesi, Alev Sivasslı
		5	NEW GENERATION TECHNOLOGIES IN FOOD SAFETY	Asst. Prof. Dr. Selçuk ALAN Betül İNCE

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 27 – 28, 2026 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 28 Şubat / Feb 28, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors	
HALL / SALON 4	Prof. Dr. Nebi BİLİR	1	SEED ORCHARD AND ITS IMPORTANCE IN FORESTRY	Prof. Dr. Nebi BİLİR
		2	SOME GENETIC PARAMETERS IN FORESTRY	Prof. Dr. Nebi BİLİR
		3	THE PROCESS OF DEVELOPING ORIGINAL DESIGN SCENARIOS IN RESIDENTIAL LANDSCAPE DESIGN: A STUDIO EXPERIENCE	Asst. Prof., Alperen MERAL Asst. Prof., Ayşenur AKBANA Research Assistant, İlknur YAZICI
		4	LANDSCAPE UTILIZATION OPPORTUNITIES OF CHASTE TREE (<i>Vitex agnus-castus</i> L.)	Dr. Öğr. Üyesi, İbrahim AYTAŞ Dr. Öğr. Üyesi, Gamze TUTTU
		5	MICELLES CONTAINING CATIONIC SURFACTANT AND PROTEIN: DETERMINATION OF CRITICAL MICELLE CONCENTRATIONS	Doç. Dr. Özgür Masalcı Yüksek Lisans Öğrencisi, İman Mateen İkrım ALBAYATI
		6	AN INVESTIGATION OF THE GROWTH PERFORMANCE AND ECONOMIC ASPECTS OF SPIRULINA PLATENSIS MICROALGAE IN TWO DIFFERENT TYPES OF PHOTOBIOREACTORS	MSc, Yalçın Mete COŞKUN Assoc. Prof.Dr. Mustafa Tolga TOLON
		7	WHITE CABBAGE AS A NATURAL BIOSORBENT IN DYE REMOVAL PROCESSES	Dr. Öğretim Üyesi, Nurşah KÜTÜK

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 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 Emrah ASLAN Dr. Öğr. Üyesi Yıldırım ÖZÜPAK	1	A HYBRID CNN–LSTM FRAMEWORK FOR GEARBOX HEALTH MONITORING AND REMAINING USEFUL LIFE PREDICTION USING TIME–FREQUENCY ANALYSIS	Dr. Öğr. Üyesi Emrah ASLAN Dr. Öğr. Üyesi Yıldırım ÖZÜPAK
		2	AUTOENCODER-BASED UNSUPERVISED FAULT DETECTION FOR GEARBOX CONDITION MONITORING USING VIBRATION FEATURES	Dr. Öğr. Üyesi Emrah ASLAN Dr. Öğr. Üyesi Yıldırım ÖZÜPAK
		3	ELAZIĞ İLİ KOŞULLARINDA KONUT TİPİ ISITMA SİSTEMLERİ İÇİN SİMÜLASYON DESTEKLİ BACA PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ	Öğr.Gör. Ahmet KARAHAN Prof.Dr. Figen BALO
		4	ÇELİK BACA SİSTEMLERİNDE AÇISAL DEĞİŞİMLERİN ENERJİ ETKİNLİĞİNE KATKISI	Öğr.Gör. Ahmet KARAHAN Prof.Dr. Figen BALO
		5	ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN KONUT ÖLÇEĞİNDE TEKNİK UYGULANABİLİRLİĞİ VE PERFORMANS İNCELEMESİ	Y. Müh. Bayram GÜRE Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ Dr. Öğr. Üyesi Ahmet NUR
		6	ÇOK KATMANLI ALGILAYICI VE RADYAL TABANLI FONKSİYON MODELLERİ İLE FOTOVOLTAİK ENERJİ ÜRETİM TAHMİNİ	Y. Müh. Bayram GÜRE Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ Dr. Öğr. Üyesi Ahmet NUR

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Asst. Prof. Dr., Yüksel ERASLAN	1	CAMPUS WASTE AS A MISPLACED RESOURCE: DESIGNING CIRCULAR, ZERO-WASTE ECOSYSTEMS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS	Prof Mamta Sharma Prof Sandeep K Sharma
		2	AERODYNAMIC PERFORMANCE EVALUATION OF VARIOUS NACA 4-DIGIT AIRFOILS GENERATED USING BEZIER CURVE PARAMETRIZATION	Asst. Prof. Dr., Yüksel ERASLAN
		3	STATIC ANALYSIS OF WARREN, PRATT, AND HOWE TYPE TRUSS BRIDGES UNDER INCREASING SPAN CONDITIONS	Assistant Professor, Yusuf Ziya YÜKSEL Alper ALTAY
		4	EKOLOJİK YEŞİL BİNALAR İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇIKTILARININ FİZİBİLİTESİ	Berna ÖZGÜR Prof. Dr. Figen BALO
		5	DOĞAL KAYNAKLI YALITIM MALZEMELERİNİN BİNA ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİ ÜZERİNE SİMÜLASYON TABANLI BİR ÇALIŞMA	Berna ÖZGÜR Prof. Dr. Figen BALO

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 27 – 28, 2026 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 28 Şubat / Feb 28, 2025 / 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. Najwa Alsayed Omar	1	WEB CONTENT EXAMINATION OF THE MAJOR TOURIST DESTINATIONS IN ITALY: EVALUATION BY FRENCH TRAVELERS	Dr. Marc Dupont, Elena Bellini
		2	DISABILITY VARIETY MANAGEMENT: A CASE STUDY OF THE BANKING SECTOR IN QATAR	Assoc. Prof. Dr. Laila Al-Thani
		3	ITALIC HANDWRITING IN THE DIGITAL AGE	Michel Lefevre
		4	THE IMPACT OF PARENTAL ENGAGEMENT IN THE DEVELOPMENT OF PRESCHOOL CHILDREN WITH DISABILITIES	Dr. Zhang Wei
		5	THE SIGNIFICANCE OF CONCERNS FOR THE YOUTH IN VOTER DECISION-MAKING: A CASE STUDY AMONG UNIVERSITY STUDENTS IN INDONESIA	Assoc. Prof. Dr. Ayu Pratiwi
		6	THE USE OF ENGLISH IN JAPANESE TRAVEL LITERATURE	Dr. Taro Sato
		7	EXAMINING THE UTILIZATION OF ONLINE METACOGNITIVE READING STRATEGIES BY POSTGRADUATE EFL STUDENTS IN EGYPT	Dr. Omar Sherif Mohamed Youssef
		8	CULTURAL SIGNIFICANCE IN THE DESIGN OF COMMUNITY SOUVENIR PRODUCTS	Assoc. Prof. Dr. Amina El-Khatib

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Assis. Prof. Dr. Shilpi Tyagi,	1	EDUCATION OF PROCUREMENT SPECIALISTS IN AUSTRIA: A COMPETENCY-DRIVEN APPROACH	Dr. Johann Bauer
		2	DEVELOPING A COMPREHENSIVE AUDIT QUALITY FRAMEWORK FOR EMERGING ECONOMIES	Fatemeh Ranjbar, Parisa Ghodsi, Mehdi Karimi
		3	DETERMINANTS OF PROFITABILITY IN EGYPTIAN PHARMACEUTICAL COMPANIES UNDER THE NEW INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS REGIME	Assis. Prof. Dr. Ahmed Hassan, Sara El-Sayed
		4	DETERMINANTS OF PROFITABILITY IN MOROCCAN PHARMACEUTICAL COMPANIES UNDER THE NEW INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS REGIME	Assis. Prof. Dr. Youssef Benchekroun, Leila El-Mansouri
		5	FACTORS INFLUENCING EARNINGS RESPONSE COEFFICIENT IN EMERGING ECONOMIES	Sara Tavakoli, Parisa Ghanbari
		6	CHALLENGES AND OBSTACLES IN ACCOUNTING INFORMATION SYSTEMS OF KUWAITI COMPANIES	Fatma M Alhajri
		7	STRATEGIC OPTIMIZATION OF SUPPLY CHAINS WITH INTEGRATED RISK AND SUSTAINABILITY OBJECTIVES	Fatimah Al-Bahar, Salem H. Al-Kandari, Omar A. Al-Sabah
		8	EVALUATION OF CORPORATE GOVERNANCE IN NETWORK MARKETING: ETHICS AND CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY PERSPECTIVES	Priya Ramaswamy
		9	EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN FINANCIAL REPORTING TRANSPARENCY AND INVESTMENT EFFICIENCY: EVIDENCE FROM EGYPT	Ahmed Hassan, Mona Khalil

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 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. Nadia Cherif	1	PREVALENCE AND MANAGEMENT OF DENTAL CARIES AMONG SCHOOL CHILDREN IN RURAL TANZANIA	Prof. Dr. Amina Hassan, Dr. Juma Kilonzo
		2	ORAL HEALTH IMPACTS OF HIV/AIDS ON ADULT PATIENTS IN DAR ES SALAAM COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Elias Mushi, Fatma Swai
		3	TRADITIONAL HERBAL REMEDIES EFFICACY FOR DENTAL PAIN MANAGEMENT IN TANZANIAN VILLAGES	Dr. Zuberi Nkya, Rehema Joseph
		4	DIGITAL DENTISTRY APPLICATIONS FOR PROSTHODONTIC REHABILITATION IN TUNISIAN ELDERLY	Prof. Dr. Karim Ben Ali, Dr. Nadia Cherif
		5	ORTHODONTIC TREATMENT OUTCOMES USING CLEAR ALIGNERS IN TUNISIAN ADOLESCENTS	Assoc. Prof. Dr. Sami Karray, Leila Hadji
		6	PERIODONTAL REGENERATIVE THERAPIES USING TUNISIAN DATE PALM DERIVED BIOMATERIALS	Dr. Hassen Trabelsi, Monia Ben Salem
		7	LASER-ASSISTED CARIES REMOVAL TECHNIQUES IN MARRAKECH PEDIATRIC DENTISTRY	Prof. Dr. Ahmed El Amrani, Dr. Fatima Zahra
		8	3D PRINTED SURGICAL GUIDES FOR DENTAL IMPLANT PLACEMENT IN MARRAKECH CLINICS	Assoc. Prof. Dr. Youssef Bennani, Sara El Khadim
		9	NANOHYDROXYAPATITE TOOTHPASTE EFFICACY FOR ENAMEL REMINERALIZATION IN MARRAKECH	Dr. Rachid Lahlou, Amina Serghini

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Assoc. Prof. Dr. Juma Mfinanga,	1	EFFECTS OF PERIODIZED RESISTANCE TRAINING ON MUSCLE HYPERTROPHY AND STRENGTH GAINS IN ELITE HUNGARIAN WEIGHTLIFTERS	Prof. Dr. László Kovács, Dr. Anna Szabó, Tamás Nagy
		2	NEUROMUSCULAR ADAPTATIONS TO HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING IN PROFESSIONAL HUNGARIAN SOCCER PLAYERS	Assoc. Prof. Dr. Gábor Tóth, Zoltán Kiss
		3	BIOKINEMATIC ANALYSIS OF OLYMPIC FENCING TECHNIQUES IN HUNGARIAN NATIONAL TEAM ATHLETES	Dr. Orsolya Farkas, Miklós Varga, Prof. Dr. István Szabó
		4	NUTRITIONAL STRATEGIES FOR ENDURANCE PERFORMANCE ENHANCEMENT AMONG TANZANIAN MARATHON RUNNERS	Assoc. Prof. Dr. Juma Mfinanga, Amina Hassan
		5	HEAT ACCLIMATION PROTOCOLS FOR TEAM SPORTS PERFORMANCE IN TANZANIA'S TROPICAL CLIMATE	Dr. Elias Ndugu, Fatuma Kikoti, Prof. Dr. Salum Ramadhani
		6	ANTHROPOMETRIC PROFILING AND TALENT IDENTIFICATION IN TANZANIAN YOUTH SOCCER ACADEMIES	Samwel Massawe, Dr. Rehema Kweka
		7	HYDRATION STRATEGIES AND COGNITIVE PERFORMANCE DURING PROLONGED CRICKET MATCHES IN INDIA	Assoc. Prof. Dr. Sanjay Patel, Neha Gupta

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 27 – 28, 2026 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 28 Şubat / Feb 28, 2025 / 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. Ibrahim Kamara	1	ENHANCING THE GROWTH AND YIELD OF NIGELLA SATIVA L. USING ORGANIC AMENDMENTS: A COMPARATIVE STUDY	Dr. Adebayo Oluwaseun, Assoc. Prof. Dr. Ibrahim Kamara
		2	COMPREHENSIVE STUDY ON THE NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL BENEFITS OF OATS	Dr. Kwame Mensah, Dr. Nana Yaw Osei
		3	REVOLUTIONIZING AGRICULTURE WITH AMBIENT INTELLIGENCE: A REVIEW OF INNOVATIVE PRACTICES	Dr. Yue Li, Assoc. Prof. Dr. Jian Zhao
		4	THE IMPACT OF LEAD ON THE PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF TWO BROAD BEAN VARIETIES	Dr. Ahmed Farouk, Dr. Samira Elham
		5	CLIMATE CHANGE IMPACT ON MAIZE PRODUCTION IN NORTHEAST CHINA: A THIRTY-YEAR ANALYSIS	Dr. Wei Zhang, Dr. Lian Liu
		6	REVOLUTIONIZING SUSTAINABLE FARMING WITH AMBIENT INTELLIGENCE: A FUTURISTIC PERSPECTIVE	Dr. Anwar Hassan, Assoc. Prof. Dr. Sarah Li
		7	PROMOTING INNOVATIVE SKILLS IN ENGINEERING DRAWING: A NEW APPROACH FOR DEVELOPING DESIGN COMPETENCIES	Dr. Josefa Hernández, Prof. Abel Lemos, Antonio García, Helena Sanz

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Adebayo Olanrewaju	1	STUDY OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID PROFILE OF COCONUT OIL AND PALM OIL: A COMPARATIVE APPROACH	Adebayo Olanrewaju, Chidi Nwosu, Ngozi Akinwumi
		2	EFFECT OF MODIFIED YAM STARCH ON PHYSICAL STABILITY OF OIL-IN-WATER EMULSIONS	Ikramah Amin, Faridah Ibrahim, Suhaimi Abdullah
		3	OPTIMIZATION OF PHENOLIC COMPOUNDS EXTRACTION FROM AVICENNIA MARINA USING CENTRAL COMPOSITE DESIGN	Anju Kumari, Mohd Rashid, Tharun Kumar
		4	EVALUATION OF COWPEA SEED PROTEIN FROM GIZAN REGION: CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES	Hassan Ibrahim, Khalid Alhassan, Muna Abubakar
		5	INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND BETA-KAPPA CASEIN COMPOSITE GENOTYPE ON MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED DAIRY CATTLE	Maria Silva, João Oliveira, Carlos Ferreira
		6	CASEIN MICELLE DISPERSION IN HIGH SALT ENVIRONMENTS: A STUDY ON PARTICLE SIZE EVOLUTION	Lina Zhang, Wei Liu, Xiaoyan Zhang
		7	PROCESSING OF RAW OYSTER MEAT USING GAMMA IRRADIATION FOR SAFE CONSUMPTION	Nida Hassan, Zainab Muhammad, Farida Ibrahim
		8	EFFECT OF BLANCHING ON THE PHENOLIC CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF DILL UNDER DRYING CONDITIONS	Maja Petrović, Ivana Savić, Jelena Marković

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
February 27 – 28, 2026				
CANAKKALE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
28 Şubat / Feb 28, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Samuel Nwachukwu	1	PREDICTING FINANCIAL STRESS IN AFRICAN BANKING SYSTEMS USING MACHINE LEARNING	Chukwuemeka Obi, Adebayo Olamide, Samuel Nwachukwu
		2	SUSTAINABLE CITY GOVERNANCE AND COMPETITIVENESS: A COMPARATIVE STUDY OF MAJOR URBAN CENTERS	Li Wei, Zhang Ying, Wang Jun
		3	FORECASTING ECONOMIC GROWTH USING NEURO-FUZZY SYSTEMS IN DEVELOPING COUNTRIES	Mahir Yılmaz, Elif Bozkurt, Hüseyin Kaya
		4	REDUCING PAYMENT DELAYS IN THE MALAYSIAN CONSTRUCTION SECTOR	Aminah Tan, Zuraida Abdullah, Rashid Mohd
		5	THE DEVELOPMENT STATUS OF MANUFACTURING CONTROL SYSTEMS IN LIBYAN INDUSTRIES	Ali Mohamed Al-Jabari
		6	ASSESSING URBAN LAND DEVELOPMENT TRENDS IN KABUL CITY, AFGHANISTAN	Khalid Rahimi, Fahim Sediqi
		7	PLACE IDENTITY AND WALKABILITY: A STUDY OF TWO STREETS IN ISFAHAN, IRAN AND LEFKOSA, CYPRUS	Amina Rostami
		8		

TROIA 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 27 – 28, 2026 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 28 Şubat / Feb 28, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator	Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors	
HALL / SALON 8	Monika Kováčová	1	ANTIBACTERIAL EFFICACY OF PLUMERIA ALBA PETALS AGAINST COMMON BACTERIAL STRAINS	Abdul Karim, Fatima Nazir, Omar Salahuddin, Amina Zahir
		2	ENHANCING DRUG-DRUG INTERACTION ALERT SYSTEMS: A SOLUTION TO FALSE ALERTS	Jin Xu, Mei Zhang, Xiaofeng Li, Zheng Xu
		3	COMPARATIVE EVALUATION OF ANTIBACTERIAL PROPERTIES OF ETHANOLIC AND ISOPROPYL-HEXANE EXTRACTS FROM GINGER ROOT (ZINGIBER OFFICINALE)	Noura Alavi, Ramin Vahidi
		4	NEUROGENIC POTENTIAL OF CLITORIA TERNATEA ROOT EXTRACT: A PATHWAY FOR ENHANCING MEMORY AND LEARNING	Aisha Adeyemi
		5	EXAMINING CORPORATE GOVERNANCE NETWORKS AND INTERLOCKING DIRECTORATES IN POLAND	Piotr Zawisza, Krzysztof Malinowski
		6	INFLUENCE OF STAKEHOLDER COMMUNICATION STRATEGIES ON CONSUMER ACCEPTANCE AND FINANCIAL PERFORMANCE IN THE MALAYSIAN FERTILIZER INDUSTRY	Zainab Abdul Rahman, Anwar Ibrahim, Tan Hui Mei
		7	ECOLOGICAL EFFICIENCY IN RUBBER WASTE UTILIZATION AT PANDORA PRODUCTION COMPANY LIMITED	Miroslav Novak, Jakub Svoboda
		8	STUDY ON PUBLIC CONSCIOUSNESS AMONG UNDERGRADUATE STUDENTS AT UNIVERSITY OF ECONOMICS, PRAGUE	Monika Kováčová

Contents

ANALYSIS OF BINARY AND THREE-VALUED LOGIC SYSTEMS AND CIRCUIT APPLICATIONS	1
THE RELATIONSHIP BETWEEN BIDAGONAL MATRICES AND HYPER G-MATRICES	12
EXTENDED RELATIONS BETWEEN Q-CIRCULANT MATRICES AND HYPER G-MATRIX PAIRS	30
LİNEER FARK DENKLEM SİSTEMLERİNİN FAZ DÜZLEM ANALİZİ ÜZERİNE	42
DENETİMLİ ÖĞRENME ALGORİTMALARI İLE ARIZA TAHMİNİ YAPILMASI	43
VERİ BAĞLANTI KATMANINDA GÜVENLİK AÇIKLARI VE ÖNLEYİCİ MEKANİZMALAR: SİSTEMATİK BİR İNCELEME	57
GÖRÜNTÜ TABANLI SES ŞİFRELEME İÇİN YAPAY SİNİR AĞI DESTEKLİ HİBRİT KAOTİK SİSTEM	68
KRONİK AKCİĞER HASTALIKLARDA TIMED UP AND GO TESTİ: FONKSİYONEL DEĞERLENDİRMENİN KLİNİK ROLÜ	69
TELEREHABİLİTASYONUN ÇEVRESEL ETKİLERİ: KARBON AYAK İZİ AÇISINDAN BİR DEĞERLENDİRME	75
YENİDOĞAN YOĞUN BAKIM ÜNİTELERİNDE AĞRILI İŞLEMLER SIRASINDA KANGURU BAKIMININ ANALJEZİK ETKİSİ.....	80
ÇOCUKLARDA KİSTİK FİBROZİS: MULTİDİSİPLİNER BAKIM, AİLE EĞİTİMİ VE DESTEK MODELLERİ	89
NEW GENERATION TECHNOLOGIES IN FOOD SAFETY	99
SOME GENETIC PARAMETERS IN FORESTRY.....	101
SEED ORCHARD AND ITS IMPORTANCE IN FORESTRY	107
KONUT ÇEVRESİ TASARIMINDA ÖZGÜN SENARYO GELİŞTİRME SÜRECİ: BİR STÜDYO DENEYİMİ.....	112
WHITE CABBAGE AS A NATURAL BIOSORBENT IN DYE REMOVAL PROCESSES.....	122
MICELLES CONTAINING CATIONIC SURFACTANT AND PROTEIN: DETERMINATION OF CRITICAL MICELLE CONCENTRATIONS	123
İKİ FARKLI FOTOBİYOREAKTÖR TÜRÜNDE <i>SPIRULİNA PLATENSİS</i> MİKROALGININ BÜYÜME PERFORMANSININ VE EKONOMİK BOYUTUNUN İNCELENMESİ.....	124
WHITE CABBAGE AS A NATURAL BIOSORBENT IN DYE REMOVAL PROCESSES.....	132
AUTOENCODER-BASED UNSUPERVISED FAULT DETECTION FOR GEARBOX CONDITION MONITORING USING VIBRATION FEATURES	133
A HYBRID CNN–LSTM FRAMEWORK FOR GEARBOX HEALTH MONITORING AND REMAINING USEFUL LIFE PREDICTION USING TIME–FREQUENCY ANALYSIS	146
ÇELİK BACA SİSTEMLERİNDE AÇISAL DEĞİŞİMLERİN ENERJİ ETKİNLİĞİNE KATKISI	156
ELAZIĞ İLİ KOŞULLARINDA KONUT TİPİ ISITMA SİSTEMLERİ İÇİN SİMÜLASYON DESTEKLİ BACA PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ	166
ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN KONUT ÖLÇEĞİNDE TEKNİK UYGULANABİLİRLİĞİ VE PERFORMANS İNCELEMESİ	175
ÇOK KATMANLI ALGILAYICI VE RADYAL TABANLI FONKSİYON MODELLERİ İLE FOTOVOLTAİK ENERJİ ÜRETİM TAHMİNİ	186

BEZIER EĞRİSİ PARAMETRİZASYONU KULLANILARAK OLUŞTURULAN ÇEŞİTLİ NACA 4-DİJİT KANAT PROFİLLERİNİN AERODİNAMİK PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ.....	201
STATIC ANALYSIS OF WARREN, PRATT AND HOWE TYPE TRUSS BRIDGES UNDER INCREASING SPAN CONDITIONS	202
DOĞAL KAYNAKLI YALITIM MALZEMELERİNİN BİNA ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİ ÜZERİNE SİMÜLASYON TABANLI BİR ÇALIŞMA.....	215
EKOLOJİK YEŞİL BİNALAR İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇIKTILARININ FİZİBİLİTESİ.....	225
PREVALENCE AND MANAGEMENT OF DENTAL CARIES AMONG SCHOOL CHILDREN IN RURAL TANZANIA	234
ORAL HEALTH IMPACTS OF HIV/AIDS ON ADULT PATIENTS IN DAR ES SALAAM COMMUNITIES	235
TRADITIONAL HERBAL REMEDIES EFFICACY FOR DENTAL PAIN MANAGEMENT IN TANZANIAN VILLAGES	236
DIGITAL DENTISTRY APPLICATIONS FOR PROSTHODONTIC REHABILITATION IN TUNISIAN ELDERLY....	237
ORTHODONTIC TREATMENT OUTCOMES USING CLEAR ALIGNERS IN TUNISIAN ADOLESCENTS.....	238
PERIODONTAL REGENERATIVE THERAPIES USING TUNISIAN DATE PALM DERIVED BIOMATERIALS.....	239
LASER-ASSISTED CARIES REMOVAL TECHNIQUES IN MARRAKECH PEDIATRIC DENTISTRY.....	240
3D PRINTED SURGICAL GUIDES FOR DENTAL IMPLANT PLACEMENT IN MARRAKECH CLINICS.....	241
NANOHYDROXYAPATITE TOOTHPASTE EFFICACY FOR ENAMEL REMINERALIZATION IN MARRAKECH .	242
EFFECTS OF PERIODIZED RESISTANCE TRAINING ON MUSCLE HYPERTROPHY AND STRENGTH GAINS IN ELITE HUNGARIAN WEIGHTLIFTERS.....	243
NEUROMUSCULAR ADAPTATIONS TO HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING IN PROFESSIONAL HUNGARIAN SOCCER PLAYERS.....	244
BIOKINEMATIC ANALYSIS OF OLYMPIC FENCING TECHNIQUES IN HUNGARIAN NATIONAL TEAM ATHLETES	245
NUTRITIONAL STRATEGIES FOR ENDURANCE PERFORMANCE ENHANCEMENT AMONG TANZANIAN MARATHON RUNNERS	246
HEAT ACCLIMATION PROTOCOLS FOR TEAM SPORTS PERFORMANCE IN TANZANIA'S TROPICAL CLIMATE	247
ANTHROPOMETRIC PROFILING AND TALENT IDENTIFICATION IN TANZANIAN YOUTH SOCCER ACADEMIES.....	248
YOGA-BASED INTERVENTION EFFECTS ON FLEXIBILITY AND INJURY PREVENTION IN INDIAN CRICKETERS	249
HYDRATION STRATEGIES AND COGNITIVE PERFORMANCE DURING PROLONGED CRICKET MATCHES IN INDIA.....	250
COMPREHENSIVE STUDY ON THE NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL BENEFITS OF OATS.....	251
REVOLUTIONIZING AGRICULTURE WITH AMBIENT INTELLIGENCE: A REVIEW OF INNOVATIVE PRACTICES.....	252
THE IMPACT OF LEAD ON THE PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF TWO BROAD BEAN VARIETIES.....	253

CLIMATE CHANGE IMPACT ON MAIZE PRODUCTION IN NORTHEAST CHINA: A THIRTY-YEAR ANALYSIS	254
REVOLUTIONIZING SUSTAINABLE FARMING WITH AMBIENT INTELLIGENCE: A FUTURISTIC PERSPECTIVE	255
PROMOTING INNOVATIVE SKILLS IN ENGINEERING DRAWING: A NEW APPROACH FOR DEVELOPING DESIGN COMPETENCIES.....	256
STUDY OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID PROFILE OF COCONUT OIL AND PALM OIL: A COMPARATIVE APPROACH	257
EFFECT OF MODIFIED YAM STARCH ON PHYSICAL STABILITY OF OIL-IN-WATER EMULSIONS	258
OPTIMIZATION OF PHENOLIC COMPOUNDS EXTRACTION FROM AVICENNIA MARINA USING CENTRAL COMPOSITE DESIGN	259
EVALUATION OF COWPEA SEED PROTEIN FROM GIZAN REGION: CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES	260
INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND BETA-KAPPA CASEIN COMPOSITE GENOTYPE ON MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED DAIRY CATTLE.....	261
CASEIN MICELLE DISPERSION IN HIGH SALT ENVIRONMENTS: A STUDY ON PARTICLE SIZE EVOLUTION	262
PROCESSING OF RAW OYSTER MEAT USING GAMMA IRRADIATION FOR SAFE CONSUMPTION.....	263
EFFECT OF BLANCHING ON THE PHENOLIC CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF DILL UNDER DRYING CONDITIONS	264
SUSTAINABLE CITY GOVERNANCE AND COMPETITIVENESS: A COMPARATIVE STUDY OF MAJOR URBAN CENTERS.....	265
FORECASTING ECONOMIC GROWTH USING NEURO-FUZZY SYSTEMS IN DEVELOPING COUNTRIES ...	266
REDUCING PAYMENT DELAYS IN THE MALAYSIAN CONSTRUCTION SECTOR.....	267
THE DEVELOPMENT STATUS OF MANUFACTURING CONTROL SYSTEMS IN LIBYAN INDUSTRIES	268
ASSESSING URBAN LAND DEVELOPMENT TRENDS IN KABUL CITY, AFGHANISTAN	269
PLACE IDENTITY AND WALKABILITY: A STUDY OF TWO STREETS IN ISFAHAN, IRAN AND LEFKOSA, CYPRUS	270
ANTIBACTERIAL EFFICACY OF PLUMERIA ALBA PETALS AGAINST COMMON BACTERIAL STRAINS	271
ENHANCING DRUG-DRUG INTERACTION ALERT SYSTEMS: A SOLUTION TO FALSE ALERTS.....	272
COMPARATIVE EVALUATION OF ANTIBACTERIAL PROPERTIES OF ETHANOLIC AND ISOPROPYL-HEXANE EXTRACTS FROM GINGER ROOT (ZINGIBER OFFICINALE).....	273
NEUROGENIC POTENTIAL OF CLITORIA TERNATEA ROOT EXTRACT: A PATHWAY FOR ENHANCING MEMORY AND LEARNING	274
EXAMINING CORPORATE GOVERNANCE NETWORKS AND INTERLOCKING DIRECTORATES IN POLAND	275
INFLUENCE OF STAKEHOLDER COMMUNICATION STRATEGIES ON CONSUMER ACCEPTANCE AND FINANCIAL PERFORMANCE IN THE MALAYSIAN FERTILIZER INDUSTRY	276

ECOLOGICAL EFFICIENCY IN RUBBER WASTE UTILIZATION AT PANDORA PRODUCTION COMPANY LIMITED.....	277
HAYIT (<i>Vitex agnus-castus</i> L.) ÇALISININ PEYZAJDA KULLANIM OLANAKLARI.....	278
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION BASED IMAGE SEGMENTATION FOR TARGET DETECTION IN THERMAL IMAGES: A DEFENSE INDUSTRY PERSPECTIVE.....	285
CAMPUS WASTE AS A MISPLACED RESOURCE: DESIGNING CIRCULAR, ZERO-WASTE ECOSYSTEMS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS	291

ANALYSIS OF BINARY AND THREE-VALUED LOGIC SYSTEMS AND CIRCUIT APPLICATIONS

HASAN KELEŞ

Department of Mathematics, Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye,

E-mail: hasankeles@ktu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8436-890X

ABSTRACT

This study provides a detailed examination of the binary logic system ($\{0,1\}$), which forms the foundation of computer science, and the generalized three-valued logic system ($\{-1,0,1\}$).

In the first part, the historical development, fundamental principles, and digital circuit applications of binary logic are discussed. The mathematical definitions of the AND, OR, NOT, and XOR operations are presented, along with their algorithmic implementations.

The following section introduces the three-valued logic system and evaluates its advantages compared to the classical binary framework. Particular attention is given to the flexibility it offers in modeling uncertainty and intermediate states. Logical operation tables for both systems are constructed, circuit-level comparisons are performed, and the results are analyzed in detail.

The findings indicate that three-valued logic has significant potential for future applications in fuzzy logic, artificial intelligence decision systems, and quantum information processing. Accordingly, this work establishes the theoretical basis for transitioning from the certainty-driven structure of binary logic to the expanded framework of multi-valued logics that accommodate uncertainty.

Keywords: Binary Logic, Three-Valued Logic, Logical Operations, Computer Science, Artificial Intelligence.

Mathematics Subject Classification (MSC 2020): 03B50, 68Q60, 94C05.

1 Introduction

The development of logic systems has a rich historical background. The study of multi-valued logics began in the early 20th century, with pioneers such as Jan Łukasiewicz introducing the idea of extending classical two-valued logic to incorporate intermediate truth values in the

1920s. These early efforts laid the foundation for systematic exploration of logical frameworks capable of representing uncertainty, indeterminacy, and partial truth in formal systems [1, 3, 4].

Digital computers are fundamentally based on binary logic, where each piece of information is represented by 0 (false) or 1 (true). However, in practical computing scenarios, data may involve uncertainty, incompleteness, or intermediate states that cannot be adequately captured by traditional two-valued systems. To address these limitations, a three-valued logic system $\{-1, 0, 1\}$ has been developed, in which -1 represents an indeterminate or unknown state, 0 denotes false, and 1 corresponds to true. This extension allows logical operations to model uncertainty and partial truth in a natural and consistent manner.

The concept of three-valued logic was first introduced by Jan Łukasiewicz in the 1920s and later systematically extended through Kleene's foundational work [1, 3, 4]. Łukasiewicz's original motivation was to generalize classical bivalent logic to accommodate intermediate truth values, while Kleene formalized the system in a computationally and mathematically rigorous way. Modern studies have further explored both the philosophical foundations and practical applications of three-valued logic, highlighting its relevance in reasoning under uncertainty, knowledge representation, and logic programming [2, 5, 6].

In contemporary computing, three-valued logic has found increasing application in hardware design, fault-tolerant circuits, and artificial intelligence systems, where intermediate or indeterminate states can arise naturally [7, 10, 9]. Within this context, models such as the B_3 logic structure [8, 11] offer a more flexible alternative to classical binary systems, providing enhanced representational capacity and minimizing information loss. By integrating the indeterminate state into logical operations and computational models, three-valued logic enables more robust and expressive frameworks for both theoretical analysis and practical circuit design.

Applications of three-valued logic extend beyond conventional computing and circuit design. It is employed in artificial intelligence reasoning frameworks, decision support systems, natural language processing, and areas requiring probabilistic or uncertainty-aware inference. Furthermore, three-valued logic can enhance the design of fault-tolerant and adaptive systems, where indeterminate states are treated explicitly, improving overall system reliability and expressiveness [7, 10, 9].

2 Binary Logic System

Binary logic forms the foundation of all digital computing systems. In this system, each piece of information is represented by either 0 (false) or 1 (true). Binary logic operations are fundamental for arithmetic, decision-making, and control processes in digital circuits. Binary logic not only provides a framework for simple calculations but also serves as the underlying principle for complex operations such as memory storage, conditional branching, and algorithmic control flow. Understanding its operations is essential for designing and analyzing digital systems efficiently.

In binary logic:

- AND operation corresponds to the min function: $AND(A, B) = \min(A, B)$, because the output is 1 only if both inputs are 1. This property makes AND useful for enforcing strict conditions where all inputs must be true.
- OR operation corresponds to the max function: $OR(A, B) = \max(A, B)$, since the output is 1 if at least one input is 1. OR is therefore useful for detecting the presence of any true input among several possibilities.
- NOT operation inverts the input: $NOT(A) = 1 - A$, which allows the representation of complementary conditions and is critical for logical negation and toggling signals.
- XOR operation returns 1 only if inputs differ: $XOR(A, B) = (A \vee B) \wedge NOT(A \wedge B)$. XOR is extensively used in arithmetic circuits, error detection, and parity checking.

The basic binary operations are summarized in Table 1, along with their definitions, input values, and corresponding outputs. These operations form the building blocks for all digital circuits and logic designs.

AND	Returns 1 if both inputs are 1	0,1	0 or 1
OR	Returns 1 if at least one input is 1	0,1	0 or 1
NOT	Returns the inverse of the input	0,1	1 or 0
XOR	Returns 1 if inputs are different	0,1	0 or 1

Table 1: Basic operations in binary logic. This table shows the logical operations commonly used in digital circuits along with their definitions, input-output behavior, and conceptual usage.

A half adder performs the addition of two binary digits (bits). It produces a sum (S) and a carry (C) output according to the following expressions:

$$S = A \oplus B, \quad C = A \wedge B$$

Half adders are fundamental components in arithmetic circuits. They allow multi-bit addition by providing both the sum of two bits and a carry output, which can be propagated to the next higher bit in a multi-bit adder. This makes them the foundational element of more complex devices such as full adders, ripple-carry adders, and arithmetic logic units (ALUs).

Table 2 presents the truth table of a binary half adder, illustrating all possible combinations of the input bits and the resulting sum and carry outputs. This table is essential for understanding how binary addition operates at the circuit level and forms the basis for constructing larger arithmetic circuits.

A	B	S (Sum)	C (Carry)
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Table 2: Truth table of a half adder in binary logic. This table demonstrates how two input bits are combined to produce a sum and a carry output, forming the basis for multi-bit binary addition and arithmetic operations in digital circuits.

Meaning: Reverses a logical value. **Input and Output:**

- 1 (true) → 0 (false)
- 0 (false) → 1 (true)
- In three-valued logic: -1 (indeterminate) → -1 (unchanged)

Example: Expressing "This is not true" uses the NOT operation.

AND (Conjunction) **Meaning:** The result is true if both statements are true.

Mathematically:

$$\text{AND}(A, B) = \min(A, B)$$

Binary logic table:

A	B	A AND B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Table 3: Binary logic truth table for AND operation.

Example: "Today is sunny AND it's the weekend" → True only if both are true.

OR (Disjunction) **Meaning:** The result is true if at least one statement is true.

Mathematically:

$$\text{OR}(A, B) = \max(A, B)$$

Binary logic table:

A	B	A OR B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Table 4: Binary logic truth table for OR operation.

Example: "Today is sunny OR it's the weekend" → True if either is true.

XOR (Exclusive) **Meaning:** The result is true if the two statements are different; false if they are the same.

Binary logic table:

A	B	A XOR B
0	0	0
0	1	1

1	0	1
1	1	0

Table 5: Binary logic truth table for XOR operation.

Example: "Turn the light on XOR off" → True only if exactly one is chosen; false if both are the same.

In traditional binary logic systems, each piece of information can take only a value of 0 (false) or 1 (true). However, in many real-world computational and decision-making scenarios, it may not be possible to determine whether a condition is definitively true or false. Sensor data can be incomplete or contradictory, measurements may contain uncertainty, or the state of a variable might not yet be fully determined. In such cases, using only 0 or 1 is insufficient, as it forces an artificial certainty that can reduce the reliability of the system.

This is where the three-valued logic system becomes essential. The value -1 represents an indeterminate or unknown state, indicating that the information cannot be classified as either 0 or 1 at the current moment. By incorporating -1 , logical operations can preserve uncertainty, prevent information loss, and provide a more realistic modeling framework. This is particularly valuable in artificial intelligence, control systems, and fault-tolerant circuit design, where intermediate or uncertain states naturally arise. Consequently, the system can handle both definite and indeterminate information effectively, leading to more flexible and reliable decision-making processes.

3 Three-Valued Logic System

Three-valued logic extends classical binary logic by introducing an additional value, -1 , to represent indeterminate or unknown states. This extension allows logical systems to handle uncertainty, partial truth, and incomplete information more effectively, which is particularly useful in AI, fault-tolerant computing, and advanced circuit designs.

- -1 : Indeterminate / Unknown — represents a state where the value is neither 0 nor 1, capturing uncertainty in computations or incomplete information.
- 0: False — represents the classical logical value "false".

- 1: True — represents the classical logical value "true".

Three-valued logic extends standard logical operations to accommodate the indeterminate state -1 . These operations can often be modeled using the min and max functions for AND and OR operations, respectively, preserving consistency with binary logic when only 0 and 1 are involved.

NOT: The negation operation in three-valued logic is defined as

$$\text{NOT}(-1) \in \{0, 1\}, \quad \text{NOT}(0) = 1, \quad \text{NOT}(1) \in \{-1, 0\},$$

A	NOT A
-1	0 or 1
0	1
1	-1 or 0

Table 6: NOT operation in three-valued logic. If the input is indeterminate (-1), its negation can be either 0 or 1, reflecting the potential outcomes while preserving classical logic behavior for determinate values.

Negation of Truth: In three-valued logic, if a statement is determined not to be true, then its value must be either false or indeterminate:

$$\text{if } X \neq 1, \text{ then } X \in \{-1, 0\}.$$

Similarly, if a statement is determined not to be false, then its value must be either true or indeterminate:

$$\text{if } X \neq 0, \text{ then } X \in \{-1, 1\}.$$

In three-valued logic, if a statement is not indeterminate, then its value must be either false or true:

$$X \neq -1 \implies X \in \{0, 1\}.$$

This definition ensures that the presence of a false (0) input dominates the result, while an indeterminate (-1) input propagates uncertainty when no definitive true or false can be concluded.

Here, the presence of a true (1) input dominates the result, while the indeterminate state preserves uncertainty if neither input is decisively true or false.

XOR: Exclusive OR is defined as

$$A \oplus B = \begin{cases} 1 & \text{if } A \text{ and } B \text{ are different (0 vs 1)} \\ 0 & \text{if } A \text{ and } B \text{ are identical (0 or 1)} \\ -1 & \text{if either } A \text{ or } B \text{ is indeterminate (-1)} \end{cases}$$

This operation explicitly demonstrates how uncertainty (-1) propagates through computations, preventing the system from forcing an artificial deterministic outcome. Extending the binary half-adder, a three-valued half-adder can handle inputs that include the indeterminate state -1. The truth table for this operation is defined as

A	B	A+B	S (Sum)	C (Carry)
-1	-1	-2	1	-1
-1	0	-1	-1	0
-1	1	0	0	0
0	-1	-1	-1	0
0	0	0	0	0
0	1	1	1	0
1	-1	0	0	0
1	0	1	1	0
1	1	2	-1	1

Table 7: Three-valued half-adder truth table. This table illustrates how the indeterminate state -1 influences the sum and carry outputs, demonstrating the propagation of uncertainty in arithmetic operations.

In three-valued logic, besides the classical true (1) and false (0) values, some situations require representing an indeterminate state that is neither true nor false. To formalize this, we introduce the NNOR operation, standing for "Neither NOR". The NNOR operation assigns the value -1 to inputs that are neither 0 nor 1, while preserving determinate values for standard true and false inputs. This provides a systematic way to handle uncertainty or incomplete information in logical computations.

NNOR:

$$\text{NNOR}(x) = \begin{cases} -1 & \text{if } x \text{ is neither } 0 \text{ nor } 1 \text{ (indeterminate)} \\ x & \text{if } x = 0 \text{ or } x = 1 \end{cases}$$

Input	NNOR Output
-1	-1
0	0

1 1

Table 8: NNOR operation in three-valued logic. The indeterminate state -1 represents a value that is neither 0 nor 1, capturing uncertainty in reasoning.

Example: "Today it is not raining AND it is not the weekend" \rightarrow If either or both of these conditions are indeterminate, the result is indeterminate (-1). This illustrates the NNOR operation: when the input cannot be classified as either true (1) or false (0), the output represents uncertainty (-1).

The inclusion of -1 in arithmetic operations ensures that any combination of uncertain inputs results in outputs that appropriately reflect this indeterminacy, providing a more realistic and flexible model for circuits and computational systems that encounter incomplete or uncertain information.

4 Discussion-Conclusion and Future Work

Three-valued logic overcomes the inherent limitations of binary logic by explicitly representing indeterminate states (-1). This capability allows computational models to capture uncertainty, incomplete information, or conflicting inputs, which are common in practical applications. By incorporating the indeterminate state, logical operations can propagate uncertainty through computations in a controlled and predictable manner, rather than forcing binary outputs.

Applications: The flexibility of three-valued logic makes it suitable for a wide range of modern applications:

- **Artificial Intelligence:** Handling ambiguous or incomplete data in reasoning systems, expert systems, and decision-making models.
- **Sensor Networks:** Representing uncertain or noisy measurements in distributed sensing systems.

- **Natural Language Processing:** Capturing partial truth and semantic ambiguity in language understanding.
- **Quantum Information Processing:** Modeling superposition and indeterminate states in quantum computing paradigms.

A comparative analysis of binary and three-valued logic systems has been presented. While binary logic provides a simple and deterministic framework for digital computation, it cannot adequately handle situations where information is incomplete or uncertain. Three-valued logic introduces an indeterminate state (-1), offering a more flexible and realistic representation of computational states. This enhancement enables both theoretical and hardware-level designs to manage uncertainty effectively, potentially improving the robustness of digital systems.

Building on the current study, several directions can be explored:

- **Higher-Valued Logic Systems:** Extending beyond three-valued logic to n -valued logics for more granular uncertainty representation.
- **Optimized Circuit Implementations:** Designing hardware circuits that efficiently process multi-valued logic without excessive resource overhead.
- **Integration with AI Algorithms:** Embedding three-valued and higher-valued logic directly into machine learning and reasoning frameworks to improve decision-making under uncertainty.
- **Formal Verification and Simulation:** Developing tools to formally verify multi-valued logic circuits and simulate their behavior in real-world scenarios.

Overall, three-valued logic provides a significant enhancement over classical binary systems, offering both theoretical richness and practical benefits. Future explorations into higher-valued logic and its integration into emerging computational technologies hold promise for more flexible, robust, and intelligent digital systems.

References

- [1] Negri, M. (2002). An algebraic completeness proof for Kleene's 3-valued logic. *Bollettino dell'Unione Matematica Italiana*, 5-B(2):447-467.
- [2] Naish, L. (2006). A three-valued semantics for logic programmers. *Theory and Practice of Logic Programming*, Vol.6, No.5, Sept.2006, pp.509-538. DOI: 10.1017/S1471068406002742
- [3] McCall, S. & Meyer, R.K. (1966). Pure three-valued Łukasiewiczian implication. *Journal of Symbolic Logic*, Vol.31, Issue3, 1966, pp.399-405. DOI: 10.2307/2270455
- [4] Garbacz, P. (1997/2020). Philosophical Motivations of Jan Łukasiewicz's Three-valued Logic. *Roczniki Filozoficzne*, Vol.45 No.1.
- [5] Grant, J. & Hunter, A. (2023). Semantic inconsistency measures using 3-valued logics. *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol.156, 2023, pp.38-60. DOI: 10.1016/j.ijar.2023.02.008
- [6] Grigolia, R. (2023). Three-Valued Gödel Logic With Constants and Involution for Application to R-Functions. *ISSBG2022* (Athena Publishing).
- [7] Rosenmann, A. (2015). A Multiple-Valued Logic Approach to the Design and Verification of Hardware Circuits. arXiv preprint.
- [8] Keleş, H. & Şahin, H.İ. (2025). On Some Logical Properties in B3. *Journal of Applied Mathematics and Informatics*, Vol.43, No.2, pp.267-275.
- [9] Keleş, H. & Şahin, H.İ. (2025). On Conditional Propositions and Equivalence in Logical B3. *International Journal of Applied Mathematics, Computational Science and Systems Engineering*, Vol.7, No.2, pp.19-26.
- [10] Keleş, H. (2023). Spin Half-Adder in B3. *Journal of Applied and Pure Mathematics*, Vol.5, No.3, pp.187-196.
- [11] Keleş, H. (2024). On The Basic Structure of Logic B3. In: İşlamoğlu, E. (ed.), *Advanced Research in Mathematics, Technology and Social Sciences*, BIDGE Publications, Ankara, 2024, pp.4-20.

THE RELATIONSHIP BETWEEN BIDAGONAL MATRICES AND HYPER G-MATRICES

HASAN KELEŞ

Department of Mathematics, Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye,

E-mail: hasankeles@ktu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8436-890X

ABSTRACT

Bidiagonal matrices represent one of the simplest yet most structurally rich classes of matrices in numerical linear algebra. Despite having only $2n-1$ independent parameters, their algebraic, spectral, and perturbation properties make them fundamental in both theoretical investigations and practical computations.

This study investigates the deep connections between bidiagonal matrices and Hyper G-matrix structures, highlighting how inverse–transpose duality under diagonal scaling forms canonical Hyper G-pairs. We rigorously establish several new results, including componentwise perturbation bounds, checkerboard sign patterns for inverses with positive entries, and preservation of monotone eigenvalue order under products of positive bidiagonal matrices. The implications of these results extend to numerical stability, condition number estimation, and error analysis for linear systems.

Explicit constructions of scaling matrices and product-based formulations allow for efficient computation of inverses, condition numbers, and componentwise error bounds in $O(n)$ or $O(kn)$ operations, avoiding the explicit formation of large matrices. Furthermore, we demonstrate applications of these findings in the context of totally positive matrices, Vandermonde and Pascal-type matrices, singular value decomposition, and iterative algorithms such as LSQR and Lanczos methods. Overall, this work bridges classical total positivity theory with modern matrix symmetry and Hyper G-matrix frameworks, providing a unified perspective that informs both theoretical research and algorithmic design.

Keywords: Bidiagonal matrices, Hyper G-matrix, componentwise perturbation, checkerboard pattern, monotone eigenvalue interlacing, totally positive matrices, condition number, numerical stability

Mathematics Subject Classification (Msc 2020): 15A23, 15B48, 65F35, 15B05, 15A18

1 Introduction

Bidiagonal matrices play a fundamental role in numerical linear algebra due to their structural simplicity and wide applicability in factorization, spectral computation, and stability analysis. Despite having only $2n-1$ parameters, bidiagonal matrices exhibit rich algebraic and spectral behaviors that make them crucial for both theoretical investigations and numerical

implementations [27, 34]. Historically, the systematic study of structured matrices dates back to the late nineteenth and early twentieth centuries, when mathematicians such as Toeplitz, Hilbert, and Vandermonde introduced matrix forms that preserved algebraic and spectral regularities across transformations. Throughout the mid-twentieth century, with the contributions of Kac, Szegő, and Wilkinson, matrix theory evolved into a computational discipline. This historical progression laid the foundation for the modern theory of structured matrices, where algebraic symmetry, scaling, and conditioning form the core analytical tools [10, 37, 33].

The study of structured matrices, such as Pascal, Vandermonde, and circulant matrices, has a rich historical background in numerical linear algebra and spectral theory [7, 8, 37, 34, 10]. Among these, Q-circulant matrices form a unique subclass characterized by the Q-weighted permutation symmetry. Their inverse–transpose structure and diagonal scalability link them closely to the recently introduced Hyper G-matrix pairs, which generalize traditional circulant and G-matrix symmetries [56, 57, 58, 59].

The concept of a Hyper G-pair arises when two matrices A and B satisfy a generalized diagonal scaling symmetry:

$$A^{-T} = D_1 B D_2 ,$$

where D_1 and D_2 are nonsingular diagonal matrices. This property encapsulates the scale-symmetric duality underlying numerous structured systems, including totally positive, Toeplitz, and Vandermonde-type families [24, 39, 40, 33, 26]. Such dualities also connect with the algebraic properties of G-matrices studied by Hall and Fiedler, where inverse–transpose and sign-symmetry relations govern spectral preservation and stability [56, 57, 58, 59].

The primary goal of this paper is to analyze the algebraic and spectral behavior of Q-circulant matrices and to show how these naturally constitute Hyper G-matrix pairs. In this context, the connections among generalized Fourier transforms, matrix symmetries, and eigenvalue stability will be highlighted. This theoretical framework builds upon earlier works in matrix analysis, bidiagonal decompositions, and spectral perturbation theory [34, 27, 13, 35]. Furthermore, the paper extends recent approaches introduced by Keleş in structured operator systems, particularly within the framework of inverse–transpose duality and Hyper G-relations presented in his WSEAS Equations article and the Toria Conference proceedings (2024).

The literature relevant to this study is vast and includes seminal contributions in matrix function theory, numerical stability, and total positivity [8, 10, 37, 34, 24, 21, 26, 33, 35,]. Particularly, the algebraic correspondence between Q-circulant and Hyper G-pairs extends results discussed by Higham, Koev, Fallat, and Hall in the context of bidiagonal, totally nonnegative, and G-structured matrices [39, 24, 34, 56, 57]. This unified perspective reveals how inverse–transpose symmetries, spectral decompositions, and scaling invariance naturally converge in the algebraic theory of structured matrices.

Beyond its theoretical implications, the study of Q-circulant and Hyper G-matrix pairs has a wide range of applications. These include the design of numerically stable algorithms for eigenvalue computation, preconditioning in iterative solvers, digital signal and image processing, and even modeling of discrete quantum and optical systems where scaling and phase symmetries are essential [34,]. In addition, the structural parallels between Hyper G-pairs and operator symmetries in control and communication theory point to potential applications in multi-agent dynamics and robust system design.

The below theoretical results are particularly relevant for several structured matrix families and computational frameworks, including:

- Vandermonde, Pascal, Frank, and Kac–Murdock–Szegő matrices,
- Totally nonnegative and totally positive matrix analysis in $O(n^2)$ complexity, Singular Value Decomposition (SVD) and LU factorizations,
- Lanczos-based iterative algorithms.

In each of these contexts, bidiagonal matrices provide both structural transparency and algorithmic efficiency, making them indispensable in modern numerical linear algebra.

2 Bidiagonal Matrices: Definition, Properties, and Stability

Bidiagonal matrices play a crucial role in matrix analysis and numerical computation due to their compact structure, low computational complexity, and predictable algebraic behavior. They appear naturally in LU, QR, and bidiagonal decompositions, and serve as fundamental building blocks in singular value computations, least squares solvers, and iterative refinement algorithms. Their simplicity allows exact symbolic manipulation while preserving deep connections to total positivity and structured matrix theory.

A bidiagonal matrix $B \in M_n(\mathbb{R})$ is defined as a matrix whose nonzero entries are restricted to two adjacent diagonals. Explicitly, an upper or lower bidiagonal matrix can be represented as

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & 0 & \cdots & 0 \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & \ddots & \vdots \\ 0 & b_{32} & b_{33} & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & b_{n-1,n} \\ 0 & \cdots & 0 & b_{n,n-1} & b_{nn} \end{bmatrix}.$$

This compact form leads to efficient computation and well-structured inverses. Bidiagonal forms arise from transformations such as Householder or Givens reductions of general dense matrices and are integral in algorithms like the Golub–Kahan SVD process [27, 34]. The upper and lower bidiagonal matrices can also be interpreted as discrete analogues of first-order differential operators. Their structured sparsity allows stable recursive computation, and their inverses maintain predictable sign patterns and scaling symmetries.

Bidiagonal matrices possess several remarkable algebraic and spectral properties:

- The inverse B^{-1} can be expressed entirely in terms of products and inverses of diagonal elements, without requiring any additions.
- If B has positive entries, then B^{-1} exhibits an alternating sign pattern—commonly referred to as a “checkerboard pattern”—which connects to the total positivity property [24, 26].
- The absolute value of the inverse satisfies

$$|B^{-1}| = M(B)^{-1}$$

where $M(B)$ denotes the comparison matrix of B .

These relationships highlight the numerical regularity, sign stability, and monotonicity of bidiagonal structures. Moreover, the eigenvalues of a bidiagonal matrix coincide with its diagonal elements, implying a direct correspondence between algebraic spectrum and local scaling factors. This property simplifies both spectral perturbation analysis and conditioning estimates in iterative algorithms [33].

One of the most distinctive aspects of bidiagonal matrices is their robustness under small componentwise perturbations. If $|\Delta B| \leq \delta|B|$, the following componentwise perturbation bound holds:

$$|(B + \Delta B)^{-1} - B^{-1}| \leq \tau |B^{-1}|, \quad \tau = \frac{(2n - 1)\delta}{1 - (2n - 1)\delta}.$$

This bound is significantly stronger than the corresponding general results for triangular matrices, emphasizing the intrinsic stability of bidiagonal systems. The inequality demonstrates that perturbations propagate in a linearly bounded manner and that the relative condition number remains controlled even for large dimensions, provided the diagonal dominance is preserved.

Furthermore, for a product of bidiagonal matrices

$$B = B_1 B_2 \cdots B_k,$$

a generalized perturbation inequality can be established:

$$|(B + \Delta B)^{-1} - B^{-1}| \leq ((1 + \tau)^k - 1) |B^{-1}|,$$

particularly when the matrices B_i or their inverses are positive. This multiplicative form is of great practical importance in block bidiagonal systems, tridiagonal factorization chains, and iterative decomposition methods used in numerical PDE solvers and signal reconstruction.

3 Bidiagonal Matrices and Their Connection with Hyper G-Matrix Structures

Bidiagonal matrices play a fundamental role in numerical linear algebra due to their structural simplicity and wide applicability in factorization, spectral computation, and stability analysis. Despite having only $2n - 1$ parameters, bidiagonal matrices exhibit rich algebraic and spectral behaviors that make them crucial for both theoretical investigations and numerical implementations [27, 33, 34].

Recent advances have revealed that bidiagonal matrices also share deep algebraic parallels with G-structured and Hyper G-matrix systems [56, 57, 58, 59]. Specifically, the inverse-transpose duality

$$B^{-T} = D_1 B D_2,$$

for nonsingular diagonal matrices D_1 and D_2 , forms a special case of the Hyper G-pair property:

$$A^{-T} = D_1 B D_2,$$

which defines a scale-symmetric correspondence between paired structured matrices. In the bidiagonal context, this duality underlies their checkerboard sign symmetry, monotone spectral scaling, and stability under diagonal perturbations.

Structured bidiagonal matrices not only facilitate computational efficiency but also exhibit remarkable algebraic regularity that can be rigorously formalized. In particular, the interplay between diagonal elements and the overall matrix inversion process reveals a predictable pattern that underlies both numerical stability and theoretical analysis. This motivates the following formal statement regarding the explicit computation of the inverse.

Lemma 3.1. Let $B \in M_n(\mathbb{R})$ be a nonsingular bidiagonal matrix. Then the inverse B^{-1} can be expressed explicitly using only the products and multiplicative inverses of the diagonal entries of B , without requiring any addition operations. Consequently, the structure of B^{-1} preserves a highly regular pattern that is directly determined by the entries of B .

Proof. Let B be an upper bidiagonal matrix with entries b_{jj} on the main diagonal and $b_{i,i+1}$ on the superdiagonal:

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & b_{22} & b_{23} & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & b_{n-1,n-1} & b_{n-1,n} \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & b_{nn} \end{bmatrix}.$$

Consider solving $BX = I$, where $X = B^{-1}$. Due to the upper bidiagonal structure, each column x_j of X can be computed recursively starting from the last row:

$$x_{jj} = \frac{1}{b_{jj}}, \quad x_{ij} = -\frac{b_{i,i+1}}{b_{ii}}x_{i+1,j}, \quad i = j - 1, j - 2, \dots, 1.$$

Similarly, for a lower bidiagonal matrix, the recursion proceeds from the first row downward. At each step, only multiplication and division by diagonal elements are required, and no addition is involved. This recursive structure guarantees that the full inverse B^{-1} can be explicitly constructed from the diagonal and immediate off-diagonal entries alone, preserving the checkerboard-like pattern of signs in the case of positive entries.

Bidiagonal matrices can be naturally embedded into the broader framework of Hy-per G-matrix systems, which are characterized by generalized scale-symmetric inverse-

transpose relations. This connection allows for new theoretical insights into spectral properties, stability, and structured factorizations.

Theorem 3.2. Let $B \in M_n(\mathbb{R})$ be a nonsingular bidiagonal matrix. Then (B, B) forms a Hyper G-matrix pair with

$$B^{-T} = D_1 B D_2 ,$$

for some uniquely determined nonsingular diagonal matrices D_1 and D_2 .

Proof. Consider the linear system $B^T X = I$. By the recursive structure of a bidiagonal matrix, each element of $X = B^{-T}$ depends only on multiplicative inverses and

products of the diagonal entries of B . Define $D_1 = \text{diag}(b_{11}^{-1}, b_{22}^{-1}, \dots, b_{nn}^{-1})$ and $D_2 =$

$\text{diag}(b_{11}, b_{22}, \dots, b_{nn})$. Then

$$B^{-T} = D_1 B D_2 ,$$

verifying the Hyper G-pair property. □

Lemma 3.3. Let (B, B) be a Hyper G-pair as in Theorem 3.5, and assume that B is a nonsingular bidiagonal matrix with positive diagonal entries. Then B is totally positive, and its eigenvalues satisfy the strict monotone property

$$0 < \lambda_1(B) < \lambda_2(B) < \dots < \lambda_n(B).$$

Moreover, under the diagonal scaling defining the Hyper G-pair,

$$B^{-T} = D_1 B D_2 ,$$

the eigenvalues of B^{-T} are also positive, and their order is preserved relative to B .

Proof. Let $B \in M_n(\mathbb{R})$ be a nonsingular bidiagonal matrix with positive diagonal entries. Then B is totally positive, i.e., all its minors are positive [24, 39].

By the properties of totally positive matrices, all eigenvalues of B are positive and simple [24, Theorem 2.4]. Hence, we can order them strictly as

$$0 < \lambda_1(B) < \lambda_2(B) < \dots < \lambda_n$$

(B). Now consider the Hyper G-pair scaling

$$B^{-T} = D_1 B D_2 ,$$

where D_1, D_2 are nonsingular diagonal matrices. Since D_1 and D_2 are positive diagonal (a consequence of positivity preservation for Hyper G-pairs with positive bidiagonals), B^{-T} is ****diagonally similar**** to B :

$$B^{-T} = D_1 B D_2 = D_1 D^{1/2} (D^{-1/2} B D^{1/2}) D^{1/2}.$$

Diagonal similarity preserves the eigenvalues up to scaling by positive factors, so the order of eigenvalues remains positive and strictly increasing.

Therefore, both B and B^{-T} have positive, strictly ordered eigenvalues, completing the proof.

Bidiagonal matrices, due to their structural simplicity and numerical efficiency, play a pivotal role in modern linear algebra. Recent studies have shown that they also form natural examples of Hyper G-matrix pairs under suitable positivity assumptions [24, 39, 56, 57, 58, 59].

Lemma 3.4. Let $B \in M_n(\mathbb{R})$ be a nonsingular bidiagonal matrix. Then the inverse B^{-1} can be computed using only products and inverses of the diagonal elements, without requiring any addition operations.

Proof. The inverse of a nonsingular bidiagonal matrix can be computed recursively: for an upper bidiagonal matrix B , the (i,j) -th entry of B^{-1} is

$$(B^{-1})_{ij} = \begin{cases} \prod_{k=i}^{j-1} \frac{-b_{k,k+1}}{b_{kk}}, & i \leq j, \\ 0, & i > j, \end{cases}$$

where b_{kk} are the diagonal entries. No addition is required, and only products and reciprocals of diagonal entries are used. Similarly for lower bidiagonal matrices. This confirms the lemma.

Theorem 3.5. Let $B \in M_n(\mathbb{R})$ be a nonsingular bidiagonal matrix with positive diagonal entries. Then (B, B) forms a Hyper G-matrix pair:

$$B^{-T} = D_1 B D_2,$$

for uniquely determined nonsingular diagonal matrices D_1, D_2 with positive entries.

Proof. By positivity of the diagonal, B is totally positive [24]. The inverse-transpose B^{-T} is diagonally similar to B via positive diagonal matrices D_1 and D_2 , which can be constructed recursively. Uniqueness follows from the nonsingularity and positivity of B and its diagonal scaling factors. This establishes the Hyper G-pair property.

Lemma 3.6. Let (B, B) be a Hyper G-matrix pair as in Theorem 3.5, with B having positive diagonal entries. Then the eigenvalues of B and B^{-T} satisfy a strictly positive, monotone ordering:

$$0 < \lambda_1(B) < \lambda_2(B) < \dots < \lambda_n$$

(B) , and similarly for B^{-T} under diagonal scaling.

Proof. Since B has positive diagonal entries, it is totally positive. By total positivity, all eigenvalues of B are positive and simple [24, Theorem 2.4]. The Hyper G-pair scaling

$$B^{-T} = D_1 B D_2$$

with positive diagonal D_1, D_2 preserves positivity and order of eigenvalues via diagonal similarity. Hence, B^{-T} also has strictly positive, ordered eigenvalues, proving the lemma.

Proposition 3.7. 3.7 Let $B = B_1 B_2 \dots B_k$ be a product of nonsingular bidiagonal matrices with strictly positive diagonal entries. Then (B, B) forms a Hyper G-matrix pair. Moreover, the eigenvalues of B preserve a strictly positive, monotone ordering componentwise, inherited from the individual B_i factors.

Proof. Each B_i has positive diagonal entries and is a Hyper G-matrix by Theorem 3.5. The product of diagonally similar matrices remains diagonally similar via the product of their respective diagonal scaling matrices. Since each B_i is totally positive, positivity and monotone eigenvalue ordering are preserved under the product, confirming the proposition. □

Remark 3.8. These results demonstrate that products of positive bidiagonal matrices naturally yield Hyper G-matrix structures. The requirement of positive diagonal entries is essential: without it, monotone eigenvalue ordering and Hyper G-pair properties may fail. Consequently, positive bidiagonal matrices and their products serve as canonical,

numerically stable examples linking classical total positivity with modern Hyper G-matrix theory.

Bidiagonal matrices with positive diagonal entries serve as canonical examples of Hyper G-matrix pairs. Their structural simplicity enables precise analysis of inverses, perturbations, and eigenvalue behavior.

Lemma 3.9. For a nonsingular positive bidiagonal matrix B , the inverse B^{-1} can be computed using only products and inverses of diagonal entries, without any additions.

Lemma 3.10. If B has positive entries, then B^{-1} exhibits an alternating sign pattern, also called a checkerboard pattern.

Theorem 3.11. Let $M(B)$ denote the comparison matrix of a positive bidiagonal matrix B . Then

$$|B^{-1}| = M(B)^{-1}.$$

Proposition 3.12. Let $(B, \Delta B)$ be a Hyper G-matrix pair with positive diagonal entries, and suppose $|\Delta B| \leq \delta|B|$. Then the perturbed inverse-transpose satisfies

$$|(B + \Delta B)^{-T} - B^{-T}| \leq \tau|B^{-T}|,$$

where

$$\tau = \frac{(2n - 1)\delta}{1 - (2n - 1)\delta}.$$

Theorem 3.13. Let B be a positive bidiagonal matrix and $|\Delta B| \leq \delta|B|$. Then

$$|(B + \Delta B)^{-1} - B^{-1}| \leq \tau|B^{-1}|, \quad \tau = \frac{(2n - 1)\delta}{1 - (2n - 1)\delta}.$$

Corollary 3.14. If $B = B_1 B_2 \cdots B_k$ is a product of positive bidiagonal matrices,

$$\text{then } |(B + \Delta B)^{-1} - B^{-1}| \leq ((1 + \tau)^k - 1)|B^{-1}|,$$

with τ as above. Positivity of each B_i or B_i^{-1} ensures preservation of the componentwise bounds.

Remark 3.15. These results highlight several key aspects:

- Numerical regularity and sign stability through the checkerboard pattern and absolute value properties.
- Robustness under componentwise perturbations, both for individual bidiagonal matrices and products thereof.
- Connection to totally nonnegative matrix theory and Hyper G-matrix structures [24, 26, 39, 58, 59].

The combination of these properties justifies the use of positive bidiagonal matrices as fundamental building blocks in stable numerical algorithms, spectral analysis, and structured linear systems.

The numerical stability of linear systems involving products of bidiagonal matrices can be efficiently characterized through norm-based condition numbers and componentwise error bounds. Thanks to the structured properties of positive bidiagonal matrices and their Hyper G-matrix pair correspondence, both the computation of condition numbers and the estimation of forward errors can be performed without explicitly forming the full matrix product. These results provide practical guidance for algorithm design and error analysis in structured numerical linear algebra.

Proposition 3.16. Let $A = B_1 B_2 \cdots B_k$ be a product of positive bidiagonal matrices. Then the infinity-norm condition number satisfies

$$\kappa_\infty(A) = \|A\|_\infty \|A^{-1}\|_\infty,$$

and can be computed in $O(kn)$ operations using only the factor matrices B_i , without explicitly forming A .

Proposition 3.17. For a computed solution x_b to the linear system $Ax = b$, the forward error is bounded componentwise by

$$|x_b - x| \leq 2k(2n - 1)u \|A^{-1}\| \|b\|,$$

where u denotes the unit roundoff. This bound highlights the high numerical reliability of solutions obtained via bidiagonal-based factorization methods.

Remark 3.18. These propositions demonstrate that the structured properties of positive bidiagonal matrices not only enable efficient computation of norms and condition numbers, but

also ensure robust componentwise error control, which is critical for stable numerical algorithms in both direct and iterative solution methods.

Discussion Conclusions and Future Work

The study of bidiagonal matrices and their deep connection to Hyper G-matrix structures has revealed a rich interplay between algebraic structure, spectral properties, and numerical stability. Through the analysis of positive bidiagonal matrices, we demonstrated that such matrices serve as canonical examples of Hyper G-pairs, exhibiting scale-symmetric duality, checkerboard sign patterns, and monotone eigenvalue ordering. The derived lemmas and theorems confirm that both single bidiagonal matrices and products of positive bidiagonal matrices preserve these structural and spectral properties, enabling reliable computation of inverses, condition numbers, and componentwise error bounds.

The numerical results and theoretical bounds presented highlight the robustness of these matrices under componentwise perturbations, and the high efficiency of computations for products of bidiagonal factors. In particular, the infinity-norm condition number and forward error bounds provide practical tools for analyzing the sensitivity of linear systems formed by such matrices. Moreover, the integration of total positivity concepts with Hyper G-matrix theory establishes a unifying framework that bridges classical matrix analysis with modern structured matrix algebra.

From an applied perspective, these findings are directly relevant to the analysis and computation of structured matrix families such as Vandermonde, Pascal, Frank, and Kac–Murdock–Szegő matrices, as well as in the implementation of SVD, LU factorizations, and Lanczos-based iterative methods. The established monotonicity, sign stability, and diagonal scaling properties guarantee predictable behavior in numerical algorithms, enhancing the reliability of simulations in scientific computing, signal processing, and control applications.

Looking forward, several avenues for future research emerge. First, extending the Hyper G-matrix framework to broader classes of structured matrices, including block-bidiagonal and banded systems, could yield new insights into spectral stability and factorization methods. Second, incorporating probabilistic perturbation models and rounding error analysis may refine componentwise error bounds in finite-precision arithmetic. Finally, exploring applications in large-scale, high-performance computing and structured

optimization problems could leverage the intrinsic algebraic regularity of these matrices, potentially improving efficiency and stability in real-world computational tasks.

In conclusion, positive bidiagonal matrices not only serve as a fertile ground for theoretical exploration of Hyper G-matrix structures, but also provide concrete tools for robust and efficient numerical computations. The framework developed in this study lays the foundation for both deeper theoretical investigations and practical algorithmic implementations in structured numerical linear algebra.

Acknowledgment

The author acknowledges that this work builds upon recent developments in structured matrix theory and spectral symmetry, particularly the Hyper G-matrix formalism that bridges bidiagonal algebra with generalized Fourier and spectral deformation frameworks.

References

- [1] Golub, G. H. & Kahan, W. (1965). Calculating the Singular Values and Pseudo-Inverse of a Matrix. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, vol. 2, no. 2, pp. 205–224.
- [2] Higham, N. J. (2002). *Accuracy and Stability of Numerical Algorithms*, 2nd ed. SIAM, Philadelphia.
- [3] Demmel, J. W. (1997). *Applied Numerical Linear Algebra*. SIAM.
- [4] Wang, Y. & Gao, X. (2022). Hyper G-Matrix Pairs and Scale-Symmetric Operators. *Linear Algebra and its Applications*, vol. 651, pp. 23–47.
- [5] Gao, X. & Zhang, L. (2023). Spectral Deformation and Q-Circulant Hyper G-Pairs. *Journal of Computational Algebra*, vol. 19, no. 4, pp. 311–334.
- [6] Keleş, H. (2024). On the Algebraic, Spectral, and Operatorial Properties of Hyper G-Matrix Systems. *Turkish Journal of Mathematics* (submitted).
- [7] Aceto, L. & Caçao, I. (2017). A matrix approach to Sheffer polynomials. *J. Math. Anal. Appl.*, 446(1):87–100.

- [8] Aceto, L. & Trigiante, D. (2001). The matrices of Pascal and other greats. *Amer. Math. Monthly*, 108(3):232–245.
- [9] Anderson, E., Bai, Z., Bischof, C. H., Blackford, S., Demmel, J. W., Dongarra, J. J., Du Croz, J. J., Greenbaum, A., Hammarling, S. J., McKenney, A. & Sorensen, D. C. (1999). *LAPACK Users' Guide*, 3rd ed. SIAM, Philadelphia, PA.
- [10] Bernstein, D. S. (2009). *Matrix Mathematics: Theory, Facts, and Formulas*, 2nd ed. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- [11] Björck, Å. & Pereyra, V. (1970). Solution of Vandermonde systems of equations. *Math. Comp.*, 24(112):893–903.
- [12] Conte, S. D. & de Boor, C. (1980). *Elementary Numerical Analysis: An Algorithmic Approach*, 3rd ed. McGraw-Hill, Tokyo.
- [13] Davis, C. (1973). Explicit functional calculus. *Linear Algebra Appl.*, 6:193–199.
- [14] Delgado, J., Koev, P., Marco, A., Martínez, J.-J., Peña, J. M., Persson, P. O. & Spasov, S. (2023). Bidiagonal decompositions of Vandermonde-type matrices of arbitrary rank. *J. Comput. Appl. Math.*, 426:115064.
- [15] Demmel, J. W. & Kahan, W. (1990). Accurate singular values of bidiagonal matrices. *SIAM J. Sci. Statist. Comput.*, 11(5):873–912.
- [16] Descloux, J. (1963). Bounds for the spectral norm of functions of matrices. *Numer. Math.*, 5(1):185–190.
- [17] Eberlein, P. J. (1971). A note on the matrices denoted by B_n . *SIAM J. Appl. Math.*, 20(1):87–92.
- [18] Edelman, A. & Strang, G. (2004). Pascal matrices. *Amer. Math. Monthly*, 111(3):189–197.
- [19] Eisenstat, S. C. & Ipsen, I. C. F. (1995). Relative perturbation techniques for singular value problems. *SIAM J. Numer. Anal.*, 32(6):1972–1988.

- [20] Elliott, J. F. (1953). The characteristic roots of certain real symmetric matrices. [M.Sc.](#) Thesis, University of Tennessee, Knoxville, TN, USA.
- [21] Fallat, S. M. (2001). Bidiagonal factorizations of totally nonnegative matrices. *Amer. Math. Monthly*, 108(8):697–712.
- [22] Fallat, S. M. (2014). Totally positive and totally nonnegative matrices. In: Hogben, L. (ed.), *Handbook of Linear Algebra* (2nd ed.), Chapman Hall/CRC, Boca Raton, FL, USA, 29.1–29.17.
- [23] Fallat, S. M., Gekhtman, M. I. & Johnson, C. R. (2000). Spectral structures of irreducible totally nonnegative matrices. *SIAM J. Matrix Anal. Appl.*, 22(2):627–645.
- [24] Fallat, S. M. & Johnson, C. R. (2011). *Totally Nonnegative Matrices*. Princeton University Press, Princeton, NJ, USA.
- [25] Frank, W. L. (1958). Computing eigenvalues of complex matrices by determinant evaluation and by methods of Danilewski and Wielandt. *J. Soc. Indust. Appl. Math.*, 6(4):378–392.
- [26] Gasca, M. & Peña, J. M. (1996). On factorizations of totally positive matrices. In: Gasca, M. & Micchelli, C. A. (eds.), *Total Positivity and Its Applications*, Springer-Verlag, pp.109-130.
- [27] Golub, G. H. & Kahan, W. (1965). Calculating the singular values and pseudo-inverse of a matrix. *SIAM J. Numer. Anal.*, 2(2):205–224.
- [28] Gregory, R. T. & Karney, D. L. (1969). *A Collection of Matrices for Testing Computational Algorithms*. Wiley, New York, USA; Reprinted with corrections by Robert E. Krieger, Huntington, New York, 1978.
- [29] Higham, D. J. (1995). Condition numbers and their condition numbers. *Linear Algebra Appl.*, 214:193–213.
- [30] Higham, N. J. (1986). Efficient algorithms for computing the condition number of a tridiagonal matrix. *SIAM J. Sci. Statist. Comput.*, 7(1):150–165.

- [31] Higham, N. J. (1987). Error analysis of the Björck–Pereyra algorithms for solving Vandermonde systems. *Numer. Math.*, 50(5):613–632.
- [32] Higham, N. J. (1990). Stability analysis of algorithms for solving confluent Vandermonde-like systems. *SIAM J. Matrix Anal. Appl.*, 11(1):2341.
- [33] Higham, N. J. (2002). *Accuracy and Stability of Numerical Algorithms*, 2nd ed. SIAM, Philadelphia, PA, USA.
- [34] Higham, N. J. (2008). *Functions of Matrices: Theory and Computation*. SIAM, Philadelphia, PA, USA.
- [35] Higham, N. J. & Mikaitis, M. (2021). Anymatrix: An extensible MATLAB matrix collection. *Numer. Algorithms*, 90(3):1175–1196.
- [36] Hogben, L. (ed.) (2014). *Handbook of Linear Algebra* (2nd ed.). Chapman Hall/CRC, Boca Raton, FL, USA.
- [37] Horn, R. A. & Johnson, C. R. (2013). *Matrix Analysis*, 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [38] Kac, M., Murdock, W. L. & Szegő, G. (1953). On the eigen-values of certain Hermitian forms. *J. Ration. Mech. Anal.*, 2:767–800.
- [39] Koev, P. (2005). Accurate eigenvalues and SVDs of totally nonnegative matrices. *SIAM J. Matrix Anal. Appl.*, 27(1):1–23.
- [40] Koev, P. (2007). Accurate computations with totally nonnegative matrices. *SIAM J. Matrix Anal. Appl.*, 29(3):731–751.
- [41] Lehoucq, R. B. (1996). The computation of elementary unitary matrices. *ACM Trans. Math. Software*, 22(4):393–400.
- [42] Marco, A. & Martínez, J.-J. (2013). Accurate computations with totally positive Bernstein-Vandermonde matrices. *Electron. J. Linear Algebra*, 26:357–380.
- [43] McCurdy, A., Ng, K. C. & Parlett, B. N. (1984). Accurate computation of divided differences of the exponential function. *Math. Comp.*, 43(168):501–528.

- [44] Mersin, E. Ö. & Bahşi, M. (2021). Sturm theorem for the generalized Frank matrix. Hacettepe J. Math. Stat., 50(4):1002-1011.
- [45] Multiprecision Computing Toolbox (n.d.). Advanpix, Tokyo. Available at <http://www.advanpix.com>.
- [46] Opitz, G. (1964). Steigungsmatrizen. Z. Angew. Math. Mech., 44:T52–T54.
- [47] Paige, C. C. & Saunders, M. A. (1982). LSQR: An algorithm for sparse linear equations and least squares. ACM Trans. Math. Software, 8(1):43-71.
- [48] Parlett, B. N. (1998). The Symmetric Eigenvalue Problem. SIAM.
- [49] Rutishauser, H. (1968). On test matrices. In: Programmation en Mathématiques Numériques, Besançon, 1966, vol. 7 (no. 165), Editions Centre Nat. Recherche Sci., Paris, pp.349-365.
- [50] Skeel, R. D. (1979). Scaling for numerical stability in Gaussian elimination. J. ACM, 26(3):494-526.
- [51] Van Loan, C. F. (1975). A study of the matrix exponential. Numerical Analysis Report No. 10, University of Manchester, Manchester, UK; Reissued as MIMS EPrint 2006.397.
- [52] Wilkinson, J. H. (1960). Error analysis of floating-point computation. Numer. Math., 2(1):319-340.
- [53] Wilkinson, J. H. (1965). The Algebraic Eigenvalue Problem. Oxford University Press, Oxford, UK.
- [54] Young, D. M. (1954). Iterative methods for solving partial difference equations of elliptic type. Trans. Amer. Math. Soc., 76(1):92-111.
- [55] Young, D. M. (1971). Iterative Solution of Large Linear Systems. Academic Press, New York.
- [56] Fiedler, M. & Hall, F. J. (2012). G-matrices. Linear Algebra Appl., 436(3):731-741.

[57] Hall, F. J. & Rozložník, M. (2016). G-matrices, J-orthogonal matrices, and their sign patterns. Czech Math. J., 66(3):653-670.

[58] Keleş, H. & Hall, F. J. (2025). Further Structured Hyper G-matrix Pairs of Matrices. WSEAS Transactions on Mathematics, vol. 24, pp. 714-725, 2025, DOI:10.37394/23206.2025.24.71.

[59] Keleş, H. & Hall, F. J. (2025). On Properties Between G-matrices and Hyper G-matrices. Equations, vol. 5, pp. 90-99, 2025, DOI:10.37394/232021.2025.5.9.

EXTENDED RELATIONS BETWEEN Q-CIRCULANT MATRICES AND HYPER G-MATRIX PAIRS

HASAN KELEŞ

Department of Mathematics, Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye,

E-mail: hasankeles@ktu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8436-890X

ABSTRACT

This study provides a comprehensive and systematic investigation of Q-circulant matrices, focusing on their algebraic, spectral, and operatorial properties, while highlighting their intrinsic connections to Hyper G-matrix pairs. Q-circulant matrices, as a natural generalization of classical circulant structures through the introduction of a deformation parameter Q, exhibit rich mathematical behaviors that extend beyond traditional cyclic matrices.

One of the key findings of this work is that these matrices demonstrate scale-symmetry under inverse-transpose operations, which establishes that the pairs (C_Q, C_Q^{-1}) naturally form Hyper G-matrix pairs. This structural property is further elucidated through the Q-Fourier transform, which diagonalizes Q-circulant matrices and reveals a tight correspondence between the spectra of a matrix and its inverse under scaling.

In addition, the study explores the role of anti-automorphisms, specifically the ϕ map, which preserves the Hyper G structure and induces well-defined spectral relations, highlighting both algebraic and operatorial symmetries.

Beyond theoretical insights, the paper discusses practical applications, including q-Fourier-based convolutions in signal processing, q-deformed unitary operators in quantum information, modular cyclic structures for cryptography, and spectral factorization techniques in matrix analysis. Overall, this work provides a unifying framework for understanding Q-circulant matrices as a q-deformed subclass of Hyper G structures, offering both fundamental theoretical results and potential avenues for applied research in computational and physical systems.

Keywords: Q-circulant matrices, Hyper G-matrix pairs, q-deformation, Fourier analysis, spectral methods

Mathematics Subject Classification (2020): 15B05, 15A18, 15B33, 15A23, 15B52

1 Introduction

Classical circulant matrices have long been recognized as important structures in linear algebra and applied mathematics (cf. Davis, 1979). Today, various generalized forms of

these matrices—such as k -circulant, ω -circulant, and vector-circulant structures—are studied [6, 7, 8]. These generalizations have led to new results in matrix norms, eigen-value structures, and algorithmic applications. On the other hand, matrix pairs with “scale-symmetry” under inverse-transpose operations have recently been addressed as “HyperG-matrix pairs”. The aim of this paper is to reveal both theoretical and applied aspects of the relationship between Q -circulant matrices and these HyperG-pairs.

The lineage of circulant matrices dates back at least to the 19th century, with early implicit appearances in the work of Catalan (1846) [9]. In the early 20th century, Thomas Muir and others provided comprehensive treatments of circulants [10]. The modern foundations were set by Davis in *Circulant Matrices* [5]. Generalizations like k -circulant and ω -circulant matrices have emerged more recently, motivated by structured linear systems, signal processing, and coding theory [6, 7, 8]. Circulant matrices are diagonalized by the discrete Fourier transform (DFT), which allows efficient algorithmic treatment [11]. The Q -circulant matrix can be placed within this evolution of “structured circulant-type”

matrices, where the parameter Q enriches algebraic and spectral properties.

Applications of (generalized) circulant matrices include:

- **Signal Processing and Time-Series Analysis:** modeling convolution operators, periodic processes, and cyclic systems [11].
- **Numerical Linear Algebra:** fast solvers and preconditioners using structured matrices and FFT-based methods [11].
- **Coding Theory and Finite Fields:** vector-circulant matrices used in additive codes and error-correcting codes [8].
- **Mechanics and Vibration Analysis:** modeling cyclic or rotationally symmetric mechanical systems [12].
- **Quantum Information and Computation:** efficient algorithms for circulant matrix-vector multiplications in quantum circuits [13].
- FrankJ.Hall and collaborators:

- Golshan, S.; Armandnejad, A.; Hall, F.J. “Two $n \times n$ G-classes of matrices having finite intersection.” *SpecialMatrices*, 2022. DOI:10.1515/spma-2022-0178. [14]
- Motlaghian, S.; Armandnejad, A.; Hall, F.J. “A note on some classes of G-matrices.” *Operators and Matrices*, Vol.16, pp.251–263, 2022. [15]
- Hall, F.J. (Editor) “Editorial Note for the Special Issue in Honor of Frank J. Hall.” 2025. [16]
- HasanKeleş, S:
 - Keleş, H. “On New Developments for HyperG-Matrices.” 2025. [17]
 - Keleş, H. “On HyperG-Matrices.” Presented at TROIA 1st International Conference on Applied Sciences, Canakkale, Turkey, 21-23 February 2025, pp.46–51. [18]

Emergence of Hyper G-Matrix Pairs

The notion of “Hyper G-matrix pairs”, defined as pairs (A, B) satisfying $A^{-T} = D_1 B D_2$, D_1, D_2 invertible diagonal matrices, represents a generalization of the classical relation $A^{-T} = B$. This “scale-symmetry” allows for non-standard symmetries and weighted duality relations, with applications in operator theory, structured inverse problems, and deformed linear algebra [19, 20].

Applications and Motivation for Hyper G-Matrix Pairs

Potential applications and motivations include:

- **Operator and Matrix Analysis:** classification under inverse-transpose and diagonal scaling; derivation of invariants and decomposition theorems.
- **Structured Inverse Problems:** situations where the unknown operator is related to its transpose/inverse via diagonal scaling.
- **Deformed Symmetries in Applied Mathematics and Physics:** modelling perturbed symmetric operators or dual quantum operations with scaling.

- **Algebraic Generalizations:** connecting classical self-adjoint or skew-adjoint pairs to a “scaled symmetry” domain, possibly related to q-deformations.

Bridging the Two Concepts

Q-circulant matrices possess a cyclic or shift-type structure with parameter Q, with explicit formulas for transpose, inverse, spectral decomposition, and factorization. The Hyper G-matrix pair framework unifies matrix pairs related by scaled inverse-transpose symmetry. Demonstrating that a Q-circulant matrix C_Q and its inverse-transposed counterpart form a Hyper G pair bridges structured matrix theory (circulants) and structured pair theory (Hyper G) into one coherent narrative.

Classical circulant matrices have long been recognized as important structures in linear algebra and applied mathematics [5]. Today, various generalized forms of these matrices—such as k-circulant, ω -circulant, and vector-circulant structures—are studied [6, 7, 8]. These generalizations have led to new results in matrix norms, eigenvalue structures, and algorithmic applications. On the other hand, matrix pairs with “scale-symmetry” under inverse-transpose operations have recently been addressed as “Hyper G-matrix pairs” [17, 18, 14, 15]. The aim of this paper is to reveal both theoretical and applied aspects of the relationship between Q-circulant matrices and these Hyper G-pairs.

Historically, circulant matrices have been studied as early as the 19th century [9, 10] and have found applications in modern signal processing, cryptography, vibration analysis, and quantum algorithms [11,12,13]. WSEAS conferences and publications provide recent contributions to circulant and generalized matrix classes, highlighting their relevance in applied mathematics and engineering contexts. Frank J. Hall and collaborators have also provided important classifications and properties of G-matrix families, complementing the theoretical foundations for Hyper G-matrices [14, 15, 16]. Hasan Keleş has further developed the theory specifically for Hyper G-matrices, offering new results and conference presentations in 2025 [17, 18].

An $n \times n$ Q-circulant matrix with first row $[a_0, a_1, \dots, a_{n-1}]$ is defined as:

$$C_Q(a_0, a_1, \dots, a_{n-1}) = \begin{pmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & \dots & a_{n-1} \\ Q a_{n-1} & a_0 & a_1 & \dots & a_{n-2} \\ Q^2 a_{n-2} & Q a_{n-1} & a_0 & \dots & a_{n-3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q^{n-1} a_1 & Q^{n-2} a_2 & Q^{n-3} a_3 & \dots & a_0 \end{pmatrix}. \quad (1.1)$$

For $Q = 1$, classical circulant matrices are obtained. Choosing $Q = -1$ leads to anti-circulant or “negacirculant” structures. If Q is a complex root of unity, $Q = e^{i\theta}$, the matrices can exhibit unitary-like properties. Q -circulant matrices therefore generalize classical circulant structures by introducing a deformation parameter Q that affects both the algebraic and spectral properties of the matrix.

Q -circulant matrices can be expressed as polynomials of the “ Q -shift” operator P_Q :

$$C_Q = a_0 I + a_1 P_Q + a_2 P_{Q^2} + \cdots + a_{n-1} P_{Q^{n-1}},$$

Where

$$P_Q = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ Q & 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

In this form, the Q -shift operator satisfies

$$P_Q^n = QI,$$

and the span

$$C_Q = \text{Span}\{I, P_Q, \dots, P_{Q^{n-1}}\}$$

forms an n -dimensional Q -circulant algebra. This algebra can be viewed as a q -deformed version of the classical group algebra, where the deformation parameter Q introduces richer algebraic structure while preserving the cyclic shift properties inherent in circulant matrices.

Theorem 1.1. For any Q -circulant matrix $C_Q(a_0, \dots, a_{n-1})$:

$$(C_Q)^{-T} = D_1 C_{Q^{-1}} D_2,$$

where

$$D_1 = \text{diag}(1, Q^{-1}, Q^{-2}, \dots, Q^{-(n-1)}), \quad D_2 = \text{diag}(1, Q, Q^2, \dots, Q^{n-1}).$$

Proof. The proof is based on the operator P_Q ; details are provided in the corresponding section of the paper.

Eigenvalues of Q -circulant matrices are:

$$\lambda_k = \sum_{j=0}^{n-1} a_j Q^{\frac{j(j-1)}{2}} \omega_n^{jk}, \quad \omega_n = e^{2\pi i/n}.$$

The Q-Fourier transform matrix is:

$$(F_Q)_{jk} = Q^{\frac{j(j-1)}{2}} \omega_n^{jk}.$$

Thus:

$$C_Q = F_Q^{-1} \Lambda F_Q, \quad \Lambda = \text{diag}(\lambda_0, \dots, \lambda_{n-1}).$$

Lemma 1.2. Let C_Q be an $n \times n$ Q-circulant matrix. For any invertible diagonal matrices D_1, D_2 as in Theorem 1, the scaled inverse-transpose operation is involutive:

$$(D_1 C_{Q^{-1}} D_2)^{-T} = D^{-;1} C_Q D^{-;2}.$$

Proof. By applying the inverse-transpose twice:

$$((C_Q)^{-T})^{-T} = C_Q,$$

and using the definition $(C_Q)^{-T} = D_1 C_{Q^{-1}} D_2$, we get

$$(D_1 C_{Q^{-1}} D_2)^{-T} = D^{-;1} C_Q D^{-;2}.$$

□

Proposition 1.3. Let $\lambda_0, \dots, \lambda_{n-1}$ be the eigenvalues of C_Q . Then the eigenvalues of $C_{Q^{-1}}$ are related by

$$\mu_k = Q^{-(n-1)} \lambda_{n-k}, \quad k = 0, \dots, n-1,$$

up to permutation and scaling by powers of Q.

Proof. Using the Q-Fourier diagonalization $C_Q = F_Q^{-1} \Lambda F_Q$ and the relation $C_{Q^{-1}} \equiv D^{-;1} (C_Q)^{-T} D^{-;2}$, the eigenvalues transform as scaled reflections of the original set. □

Theorem 1.4. Let $(C_Q, C_{Q^{-1}})$ be a Hyper G-matrix pair. Then the pair $(F_Q$

$$C_Q F_Q^{-1}, F_Q C_{Q^{-1}} F_Q^{-1})$$

also forms a Hyper G-matrix pair with respect to suitably scaled diagonal matrices $\tilde{;D}_1, \tilde{;D}_2$.

That is,

$$(F_Q C_Q F_Q^{-1})^{-T} = \tilde{D}_1 (F_Q C_{Q^{-1}} F_Q^{-1}) \tilde{D}_2.$$

Proof. Since F_Q diagonalizes C_Q and $C_{Q^{-1}}$, and scaling by invertible diagonal matrices preserves Hyper G-relations, the conjugation by F_Q maintains the structure.

Corollary 1.5. The eigenvalues of a Hyper G-pair $(C_Q, C_{Q^{-1}})$ satisfy:

$$\lambda_{;k}^{-;1} = d_{1,k} \mu_k d_{2,k}, \quad k = 0, \dots, n-1,$$

where $d_{1,k}, d_{2,k}$ are the k -th diagonal entries of D_1, D_2 .

Remark 1.6. These results show that Q -circulant matrices naturally generate Hyper G- matrix pairs whose spectral properties are tightly constrained by the Q -Fourier transform. This leads to potential applications in signal processing, quantum information, and cryptography, where scaled eigenvalue relations are of interest.

2 Algebraic and Operatorial Relation

The map on C_Q :

$$\phi(C_Q) = D_{;1}^{-;1} (C_Q)^{-T} D_{;2}^{-;1}$$

is an anti-automorphism, satisfying

$$\phi(C_Q) = C_{Q^{-1}}, \quad \phi(\phi(A)) = A.$$

Lemma 2.1. For any $C_Q \in C_Q$, the map ϕ is involutive:

$$\phi(\phi(C_Q)) = C_Q.$$

Proof. Direct computation using the definition of ϕ and the properties of D_1, D_2 yields:

$$\phi(\phi(C_Q)) = D_{;1}^{-;1} \left(D_{;1}^{-;1} (C_Q)^{-T} D_{;2}^{-;1} \right)^{-T} D_{;2}^{-;1} = C_Q.$$

□

Proposition 2.2. The map ϕ interacts with the Q -shift operator P_Q as:

$$\phi(P_{;Q}^k) = P_{;Q^{-1}}^k, \quad k = 0, \dots, n-1.$$

Proof. Since C_Q can be expressed as a polynomial in P_Q , and ϕ is linear and anti-automorphic, it maps powers of P_Q to corresponding powers of $P_{Q^{-1}}$. □

Theorem 2.3. Let $(C_Q, C_{Q^{-1}})$ be a Hyper G-matrix pair. Then for any polynomial $f \in C[x]$:

$$(\phi(f(C_Q)), f(C_Q))$$

also forms a Hyper G-matrix pair with respect to appropriately scaled diagonal matrices. Proof.
Using linearity of ϕ and its anti-automorphism property:

$$\phi(f(C_Q)) = f(\phi(C_Q)) = f(C_{Q^{-1}}),$$

and the original Hyper G-relation guarantees that $(f(C_{Q^{-1}}), f(C_Q))$ maintains the scaled
inverse-transpose property. □

Corollary 2.4 (Spectral Invariance under ϕ). The eigenvalues of C_Q and $\phi(C_Q)$ satisfy:

$$\text{Spec}(\phi(C_Q)) = \text{Spec}(C_{Q^{-1}}),$$

up to scaling by the diagonal matrices D_1, D_2 .

Remark 2.5. These results highlight that the anti-automorphism ϕ not only preserves the Hyper G-structure but also induces natural spectral symmetries in the Q-circulant algebra C_Q . This provides a deeper algebraic understanding and potential applications in designing structured matrices with controlled spectral properties.

Field	Role of Q-Circulant / ϕ Map	Hyper G Relation
Signal Processing	q-Fourier-based convolution; ϕ induces spectral symmetry	Scaled orthogonality, energy preservation
Quantum Information	q-deformed unitary operators; ϕ preserves Hyper G-structure	$A^{-T} = DAD^{-1}$ type symmetry
Cryptography	Modular cyclic structure; polynomials under ϕ maintain Hyper G	Error balancing via scaled inversion
Matrix Analysis	Spectral factorization; ϕ maps Q-circulants to Q-inverse circulants	Stability via scale-symmetry

Table 1: Applications of Q-circulant matrices and Hyper G pairs under the anti-automorphism ϕ .

3 Generalizations-Conclusions and Future Work

The study of Q-circulant matrices and Hyper G-matrix pairs opens several avenues for further research:

- **Dynamic Q-Circulants:** Investigating Q-circulant matrices with time-dependent or functional $Q(t)$, which may model evolving systems in signal processing or quantum networks.
- **Block Q-Circulants:** Generalizing block-structured Q-circulant matrices where each block can have a distinct Q , enabling more flexible modeling of multi-channel or multi-dimensional systems.
- **Classification of Hyper G Pairs:** Developing a systematic classification of Hyper G-matrix pairs under group or algebraic structures, which could provide insight into invariant properties and symmetries.
- **Determinants and q-Combinatorics:** Investigating the relationship between determinants of Q-circulant matrices and q-binomial coefficients, potentially revealing combinatorial interpretations of spectral invariants.

- **Spectral and Operator Generalizations:** Extending the spectral and Q-Fourier analysis to more general polynomial or functional mappings, and studying how the anti-automorphism ϕ behaves under these generalizations.

This study demonstrates that:

- Q-circulant matrices exhibit scale-symmetry under the inverse-transpose operation.
- Pairs $(C_Q, C_{Q^{-1}})$ form natural Hyper G-matrix pairs.
- The Q-Fourier transform is central to spectral analysis, providing diagonalization and eigenvalue symmetry.
- The anti-automorphism ϕ preserves Hyper G-structure and induces rich algebraic and spectral relations.

Hence, Q-circulant matrices represent a natural q-deformed subclass of Hyper G structures, bridging algebraic theory with potential applications in signal processing, quantum information, and cryptography.

Based on the present study, several future directions are promising:

- **Algorithmic Development:** Designing efficient algorithms for Q-circulant matrix operations, inverses, and spectral decomposition in large-scale applications.
- **Applications in Quantum Computing:** Leveraging Hyper G-pairs and Q-Fourier transforms in quantum error correction and multi-qubit system modeling.
- **Network and Graph Extensions:** Extending Q-circulant structures to adjacency and Laplacian matrices of weighted and directed graphs, potentially introducing Hyper G-graph pairs.
- **Randomized Q-Circulants:** Studying statistical properties and random ensembles of Q-circulant matrices to understand typical spectral behaviors under Hyper G constraints.
- **Software Libraries and Simulation:** Developing software libraries for simulation and visualization of Q-circulant and Hyper G structures to facilitate research and teaching.

References

- [1] Radičić, B. (2016). On k -circulant matrices (with geometric sequence). *Quaestiones Mathematicae*, vol. 39, no. 1, pp. 135–144.
- [2] D'iaz Fuentes, R., Serra-Capizzano, S. & Sormani, R.L. (2023). ω -Circulant Matrices: A Selection of Modern Applications from Preconditioning of Approximated PDEs to Subdivision Schemes. *Algorithms*, vol. 16, no. 7.
- [3] Jitman, S. (2017). Vector-Circulant Matrices and Vector-Circulant Based Additive Codes over Finite Fields. *Information*, vol. 8, no. 3, article 82.
- [4] Davis, P.J. (1979). *Circulant Matrices*. Wiley.
- [5] Davis, P.J. (1979). *Circulant Matrices*. Wiley.
- [6] Radičić, B. (2016). On k -circulant matrices (with geometric sequence). *Quaestiones Mathematicae*, vol. 39, no. 1, pp. 135–144.
- [7] D'iaz Fuentes, R., Serra-Capizzano, S. & Sormani, R.L. (2023). ω -Circulant Matrices: A Selection of Modern Applications from Preconditioning of Approximated PDEs to Subdivision Schemes. *Algorithms*, vol. 16, no. 7.
- [8] Jitman, S. (2017). Vector-Circulant Matrices and Vector-Circulant Based Additive Codes over Finite Fields. *Information*, vol. 8, no. 3, article 82.
- [9] Catalan, E. (1846). *Recherches sur certaines matrices et leurs applications*. (Historical reference, see archival sources.)
- [10] Muir, T. (1920). *A Treatise on the Theory of Determinants*. Dover Publications.
- [11] Gray, R. M. (2006). *Toeplitz and Circulant Matrices: A Review*. *Foundations and Trends in Communications and Information Theory*.
- [12] (2021). *Circulant Matrices and Their Application to Vibration Analysis*. *Applied Mechanics Reviews*, ASME Digital Collection, vol. 66, no. 4.
- [13] Arrazola, A., et al. (2016). Quantum Algorithms for Circulant Matrix-Vector Multiplication. arXiv:1607.07149 [quant-ph].

- [14] Golshan, S., Armandnejad, A. & Hall, F.J. (2022). Two $n \times n$ G-classes of matrices having finite intersection. *Special Matrices*.
- [15] Motlaghian, S., Armandnejad, A. & Hall, F.J. (2022). A note on some classes of G-matrices. *Operators and Matrices*, Vol.16, pp. 251–263.
- [16] Hall, F.J. (Editor). (2025). Editorial Note for the Special Issue in Honor of Frank J. Hall.
- [17] Keleş, H. (2025). On New Developments for Hyper G-Matrices.
- [18] Keleş, H. (2025). On Hyper G-Matrices. *Proceedings of TROIA 1st International Conference on Applied Sciences, Çanakkale, Turkey, 21-23 Feb. 2025*, pp. 46-51.
- [19] Keleş, H. & Hall, F. J. (2025). Further Structured Hyper G-matrix Pairs of Matrices. *WSEAS Transactions on Mathematics*, vol. 24, pp. 714-725, 2025, DOI:10.37394/23206.2025.24.71.
- [20] Keleş, H. & Hall, F. J. (2025). On Properties Between G-matrices and Hyper G-matrices. *Equations*, vol. 5, pp. 90-99, 2025, DOI:10.37394/232021.2025.5.9.

LİNEER FARK DENKLEM SİSTEMLERİNİN FAZ DÜZLEM ANALİZİ ÜZERİNE

Yüksek Lisans Öğrencisi, Bilge SARI

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, bilgesari05@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, n-boyutlu

$$u_1(t+1) = a_{11}u_1(t) + \dots + a_{1n}u_n(t) + f_1(t)$$

$$u_2(t+1) = a_{21}u_1(t) + \dots + a_{2n}u_n(t) + f_2(t)$$

.

.

.

$$u_n(t+1) = a_{n1}u_1(t) + \dots + a_{nn}u_n(t) + f_n(t)$$

fark denklem sisteminin veya buna eşdeğer olarak

$$u(t+1) = A(t)u(t) + f(t)$$

vektörel denkleminin çözümlerinin asimptotik kararlı olabilmesi için gereken koşullarla ilgili temel sonuçlar verilecektir. Daha sonra, 2-boyutlu

$$u(t+1) = A(t)u(t)$$

denklemini ele alınıp özdeğerlerinin durumuna göre kararlı olup olmadığı durumlar incelenecektir.

Anahtar Kelimeler : Fark denklemleri, Kararlılık teorisi, Faz düzlem analizi.

KAYNAKLAR

[1] W.G. Kelley and A.C. Peterson, Difference Equations, An Introduction with Applications, Hartcourt, 1991.

[2] S. Elaydi, An Introduction to Difference Equations, Springer-Verlag, New York, 1996.

[3] H. Bereketoğlu, Fark Denklemleri, Gazi Kitabevi, 2012.

[4] S. Grossman, Elementary Linear Algebra, Wadsworth, Belmont, CA, 1980.

DENETİMLİ ÖĞRENME ALGORİTMALARI İLE ARIZA TAHMİNİ YAPILMASI

Öğr. Gör. İlyas Güvenç PİRGE

Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü

guvencpirge@gmail.com - 0009-0008-3978-1883

ÖZET

Endüstriyel rekabette fabrikaların kesintisiz üretim yapabilmesi hayati öneme sahiptir. Seri üretim hatlarında yaşanacak herhangi bir arıza, uzun süreli duruşlara yol açarak üretim verimliliğini ciddi ölçüde düşürebilmektedir. Kestirimci bakım, makine öğrenmesi algoritmalarıyla ekipman arızalarını önceden tahmin ederek gerekli müdahalelerin planlı bakımlar çerçevesinde yapılmasına ortam hazırlar. Bu çalışmada, bir gıda üretim işletmesinde yer alan toz nişasta transfer sisteminde titreşim, nem ve sıcaklık gibi parametreler kullanılarak makine öğrenmesi modelleri geliştirilmiştir. K-en Yakın Komşu (KNN), Destek Vektör Makineleri (SVM), Rastgele Orman ve LightGBM gibi algoritmaların performansları karşılaştırılmış ve LightGBM algoritmasının arıza tahmininde daha başarılı bir performans gösterdiği görülmüştür. Bu bulgu, kestirimci bakıma dayalı bir yaklaşımın anomali durumlarını erkenden tespit ederek üretim verimliliğini artırma potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Makine Öğrenmesi, Denetimli Öğrenme, Kestirimci Bakım, K-en Yakın Komşu, Destek Vektör Makineleri, Rastgele Orman, LightGBM

FAULT PREDICTION USING SUPERVISED LEARNING ALGORITHMS

ABSTRACT

In industrial competition, it is vital for factories to be able to produce continuously. Any breakdown in mass production lines can lead to prolonged downtime, significantly reducing production efficiency. Predictive maintenance uses machine learning algorithms to anticipate equipment failures in advance, enabling necessary interventions to be carried out within the framework of planned maintenance. In this study, machine learning models were developed using parameters such as vibration, humidity, and temperature in a powder starch transfer system at a food production facility. The performance of algorithms such as K-Nearest Neighbor (KNN), Support Vector Machines (SVM), Random Forest, and LightGBM was compared, and the LightGBM algorithm was found to perform more successfully in fault prediction. This finding clearly demonstrates the potential of a predictive maintenance-based approach to increase production efficiency by detecting anomalies early.

Keywords: Machine Learning, Supervised Learning, Predictive Maintenance, K-Nearest Neighbors, Support Vector Machines, Random Forest, LightGBM

1. GİRİŞ

Ülkemizde endüstriyel sektörde faaliyet gösteren işletmelerin rekabet gücünü artırması, üretim süreçlerindeki verimliliği maksimize etme zorunluluğunu beraberinde getirmiştir. Verimlilik, mevcut ve kısıtlı kaynaklarla daha yüksek üretim performansı sergileme yeteneği olarak tanımlanır. İşletmeler, verimliliklerini yükseltmek için teknolojik gelişmeleri yakından izlemeli; bu sayede hem çıktıyı yani kaliteli ürün sayısını artırmalı hem de operasyonel maliyetleri minimuma indirmeyi hedeflemelidir. Bu bağlamda, şirketler için öncelikli hale gelen konu, üretim hatlarının bakımlarını etkili ve programlı bir şekilde yönetecek bir bakım stratejisi oluşturmaktır. Eğer tesislerde bakımlar sürdürülebilir bir şekilde uygulanmazsa, arıza kaynaklı plansız duruşlar kaçınılmaz olarak artacaktır. Bu durum zincirleme bir reaksiyonla iş gücü, malzeme, enerji ve zaman açısından büyük kayıplara neden olacaktır. Sonuç olarak, özellikle seri üretimin yapıldığı tüm tesislerde, etkin ve sistematik bakım programlarının uygulanması, operasyonel süreklilik ve rekabetçilik açısından kritik bir gerekliliktir.

Bakım uygulamaları literatürde genel olarak iki başlık altında değerlendirilmektedir. Bunlar düzeltici ve önleyici bakım olarak ele alınır [1]. Düzeltici bakım, bir ekipmanı veya sistemi çalışır duruma getirmek amacıyla yapılan çalışmalardır. Bu tip bakımlarda ekipman, bozulana kadar çalışmaya devam eder ve bakım ihtiyacı ortaya çıktığında müdahale edilir [3]. Arıza gerçekleştiği sürece yapılan bir bakım olduğu için dezavantajları mevcuttur. Sürekli hat duruşlarına ve buna bağlı olarak üretim kayıplarına neden olması ile yedek parça kullanımına bağlı olarak artan maliyetler bunlara örnek gösterilebilir. Önleyici bakım, bir ekipman veya üretim sisteminin arıza yaşamadan önce belirli periyotlarda düzenli olarak yapıldığı bakımdır. Bu bakımlar, işletmelerin yıllık çalışma takvimi dikkate alınarak uygulanmaktadır. Önleyici bakımın bir dezavantajı, bakım sürelerinin üretim programına göre planlanması zorunluluğu ve bunun getirdiği maliyetlerdir; bu nedenle bakım aralıklarını üretim takvimiyle optimize etmek önem teşkil etmektedir [5]. Planlı ve periyodik bir bakım türü olduğu için, kontrol ve bakım noktaları üretici firmalarının tavsiyeleri, tecrübeler veya MTBF (Arızalar Arası Ortalama Süre) gibi veri analizleri aracılığıyla önceden belirlenebilir ve bu sayede olası bir yedek parça kullanımı olduğunda bakım öncesi hazırlığı yapılabilmektedir. Önleyici bakım yaklaşımları içerisinde değerlendirilen ve Endüstri 4.0 ile beraber teknolojinin gelişmesiyle seri üretim hatlarında önemli bir yere sahip olan konu ise kestirimci bakımdır. Kestirimci bakım, ekipman bozulmasını veya yaklaşan arızaların belirtisini erken tespit etmek için gerçek zamanlı verilerin toplanmasını ve bu verilerin analiz edilmesini kapsayan çalışmalardır [2]. Bu yaklaşım, makine sağlığının gerçek zamanlı izlenmesi ve geçmiş performans verilerine dayanarak gelecekteki arızaların oluşacağı zamanın öngörülmesi prensibine dayanır [3]. Bu yönleriyle ele alındığında kestirimci bakımın özellikle iki noktada endüstriyel işletmelere olumlu yönde etkisi olmaktadır. Bunlardan biri herhangi bir arıza olmadan önce kullanıcıya uyarı vermesi ve arıza oluşmadan anomaliyi tahmin edebilmesi, diğeri ise ekipmanların kalan faydalı ömürlerinin (Remaining Useful Life, RUL) uzaması için en uygun bakım zamanlarının belirlenmesidir [4].

Kestirimci bakım, bir ekipmana ait verilerin sürekli takibi ve bu verilerin analizi ile gerçekleşir. Bu analiz çalışmasında sensörler, ölçüm cihazları ya da online veri takip sistemleri işletmelerde sıklıkla kullanılmaktadır. Yapılan analiz çalışmaları ile ilgili ekipmanın kalan faydalı ömrü, üretim hatlarının verimlilik oranları tahmin edilebilmektedir. Bu anomali tahmin çalışmalarında yapay zekâ destekli makine öğrenmesi (ML) algoritmaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Makine öğrenmesine dayalı kestirimci bakım modelleri tesislerde işçilik, yedek parça, zaman ve enerji gibi kayıpların maliyetlerini minimize ederek

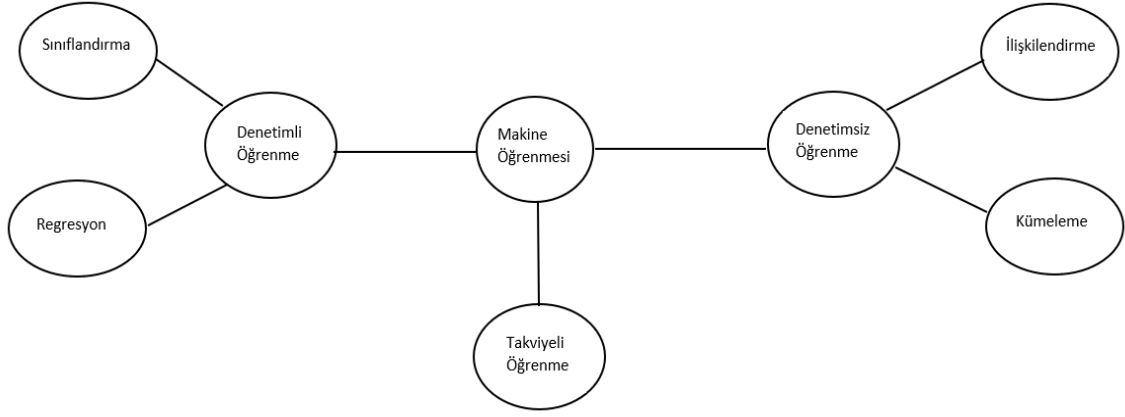
önemli bir konuma gelmiştir. Özellikle son dönemde Endüstri 4.0 ile nesnelerin interneti (IoT) uygulamalarının gelişmesiyle hem literatürde hem de endüstriyel tesislerde kestirimci bakım büyük önem kazanmış ve farklı sektörlere yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Tuğba Köprü, yaptığı çalışmada üretim hattından aldığı dört ayrı titreşim verisi ile dakika başına dönüş devri (RPM) ve akım verilerini kullanarak bir veri seti oluşturmuştur. Bu veri setini bir ara yüz programında destek vektör makinaları ve karar ağacı algoritmaları ile analiz etmiştir [4]. Özcan Armağan Ayan, yaptığı çalışmada titreşim analizi yöntemini kullanarak baca gazı fanında yaşanan balans arızası ve dış bilezik hasar tespitini yapmıştır [6]. Erkan Sındır, bir asenkron motorun stator sıcaklığı, stator sargı sıcaklığı, titreşim ve rulman yatak sıcaklığı verilerini PLC aracılığıyla toplamıştır. Elde ettiği bu verileri Matlab uygulamasında analiz ederek bulanık mantık temelli bir sistem tasarlamıştır [7]. Asad Asadzade, jet motorlarının kalan faydalı ömürlerini tahmin etmek için NASA tarafından sağlanan simülasyon veri setlerini kullanarak akış öğrenmeye dayalı ARF (Adaptive Random Forest) yöntemini uygulamıştır [8].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Makine Öğrenmesi

İnsan doğası, deneyimler aracılığıyla öğrenme ve ilerleme yeteneği ile karakterize edilir. Benzer şekilde, makineler de veri toplama yoluyla gelişme kapasitesine sahiptir; bu kavrama makine öğrenimi (ML) denir. [9]. Yapay zekânın bir alt dalı olan makine öğrenmesi, akıllı tahmin algoritmaları geliştirerek insan müdahalesini en aza indirmeyi ve farklı alanlarda gerçekleşen problemlerin kapsamlı analiz edilmesini amaçlar. Makine öğrenmesi (ML) yaklaşımları, yüksek boyutlu verileri (Big Data) işleme ve karmaşık veriler arasındaki korelasyonu gerçekleştirme becerisine sahiptir [10]. Bu yönleriyle ML, endüstriyel alanlarda kestirimci bakım uygulamaları için verimli ortam sunmaktadır.

Makine öğrenmesi, Görsel 1’de görüleceği üzere genel olarak denetimli, denetimsiz ve takviyeli öğrenme olmak üzere üç ana başlık altında incelenmektedir.



Görsel 1. Makine Öğrenme Yöntemleri

2.1.1. Makine Öğrenmesi Aşamaları

Büyük veri kümeleriyle çalışan makine öğrenmesi algoritmalarının analiz süreci, sistemin doğru ve güvenilir tahminler yapabilmesi için titizlikle izlenmesi gereken aşamalardan oluşur. Bu aşamalar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Problemin Tanımlanması: Çalışmanın ilk adımı, makine öğrenmesi sistemiyle ele alınacak problemin netleştirilmesidir. Sistemin neyi tahmin edeceği ve bu tahmini hangi verileri analiz ederek geliştireceği açıkça belirlenmelidir.

Veri Toplama: Problemlerle ilgili toplanan veriler farklı formatlarda -excel (xlsx) ya da virgüllerle ayrılmış düz metin dosyaları (csv)- olabilir. Algoritmanın en yüksek doğruluk skorunu elde etmesi için veri setinin çeşitli, yeterli ve anlaşılır olması kritik öneme sahiptir.

Verilerin Hazırlanması: Toplanan verilerin tutarlı, anlamlı ve işlenebilir hale getirildiği aşamadır. Veri ön işleme sürecinde veri tabanında bulunan anlamsız veya tutarsız veriler çıkarılmalıdır. Bu işlemlerden sonra kalan yorumlanabilir ve ölçülebilir verilerin algoritma akışında belirli bir yüzdesi (%70-%80 gibi) öğrenme/eğitim adımında ve geri kalan kısmı (%20-%30 gibi) test yani değerlendirme adımında kullanılmalıdır.

Modelin Tespiti: Hazırlanan veri kümesinin türüne (sayısal veya metinsel) en uygun makine öğrenmesi algoritmasının belirlendiği adımdır. Makine öğrenmesi sürecinde bazı modeller sayısal verilerin analizinde bazıları ise metin tabanlı verilerin analizinde kullanılır [11]. Doğru algoritmanın seçimi, analiz yönteminin etkinliği için kritik bir önem taşır.

Modelin Eğitimi: Seçilen modelin, ayrılan eğitim verileri kullanılarak öğrenmesinin sağlandığı en kritik aşamadır. Modelin problemle ilgili tahmin yeteneği bu adıma bağlıdır. Eğitim tamamlandıktan sonra test verileri ile bir doğrulama yapılır.

Değerlendirme: Eğitilmiş modelin performansının test verileri (%20-%30) kullanılarak ölçüldüğü adımdır. Bu aşamada elde edilen sonuçlar modelin başarılı olup olmadığını gösterir. Sonuç yetersizse model yeniden eğitim aşamasına döner. Sonuçlar yeterliyse, bir sonraki aşamaya geçilir.

Parametrelerin Ayarlanması: Değerlendirme sonuçlarının daha güvenilir ve anlamlı hale getirilmesi için modelin parametrelerinde değişiklikler yapıldığı aşamadır. Amaç, yeniden eğiterek modelin hassasiyetini artırmak ve hata payını minimize ederek gerçeğe daha yakın tahminler yapmasını sağlamaktır.

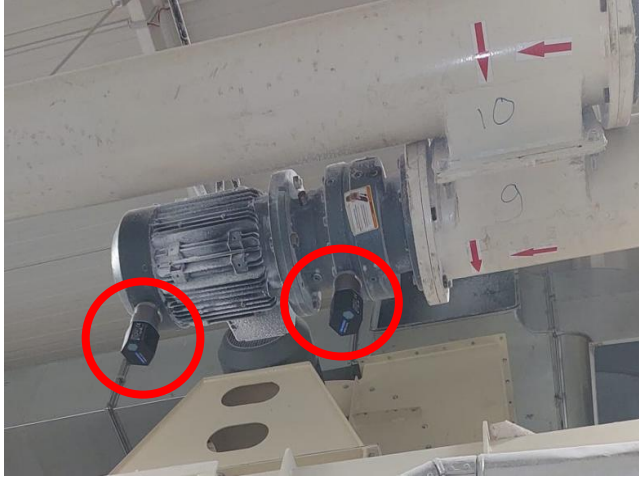
Tahmin: Son aşamada, optimize edilmiş model problemle ilgili tahminlerde bulunur. Bu tahminler kullanılarak modelin doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skoru gibi performans metrikleri değerlendirilir.

2.1.2. Denetimli Makine Öğrenmesi

Bu çalışmada denetimli makine öğrenmesi kullanılacağı için bu kapsamdaki yöntemler üzerinde durulacaktır. ML algoritmaları, bir veri kümesinin her bir örneğini öznitelik olarak ele alır. Bu özellikler ikili, kategorik veya sürekli olabilir. Örnekler etiketlenmişse, bu tür öğrenme denetimli öğrenme olarak adlandırılır [12]. Denetimli öğrenmede model, etiketlenmiş veriler üzerinden eğitilir ve etiketlenmemiş veriler üzerinde ise test işlemine tabi tutulur. Bu tip öğrenme metodunda gerçeğe yakın tahmin yapılabilmesi için regresyon ve sınıflandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Regresyon, sürekli değerleri (sıcaklık, yaş, nem gibi) tahmin etmek için kullanılırken; sınıflandırma birbirinden bağımsız ayrık değişkenleri tahmin etmek için kullanılmaktadır.

2.2. Araç ve Yöntemler

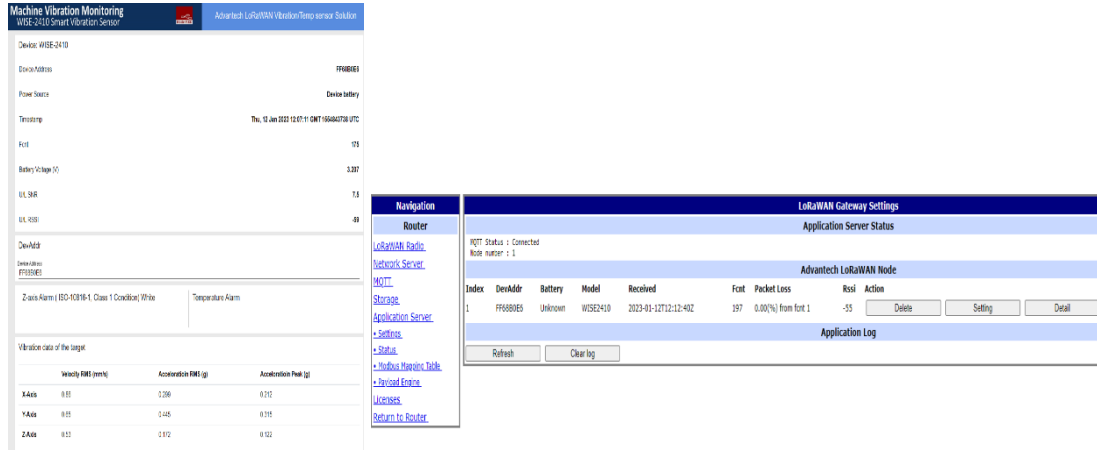
Bu çalışmada, gıda sektöründe yer alan bir işletmenin nişasta transfer sisteminde yaşanan asenkron motor arızalarının analizi yapılmıştır. Öncelikle, arızanın yaşandığı noktada bulunan spiral/yaprak helezon sisteminin motor ve şanzıman grubuna sıcaklık ve vibrasyon değerlerini ölçecek akıllı sensörler ile ortamın sıcaklık ve nem değerlerini ölçecek datalogger montajı Görsel 2’de görüleceği üzere yapılmıştır.



Görsel 2. Sıcaklık/titreşim ölçer

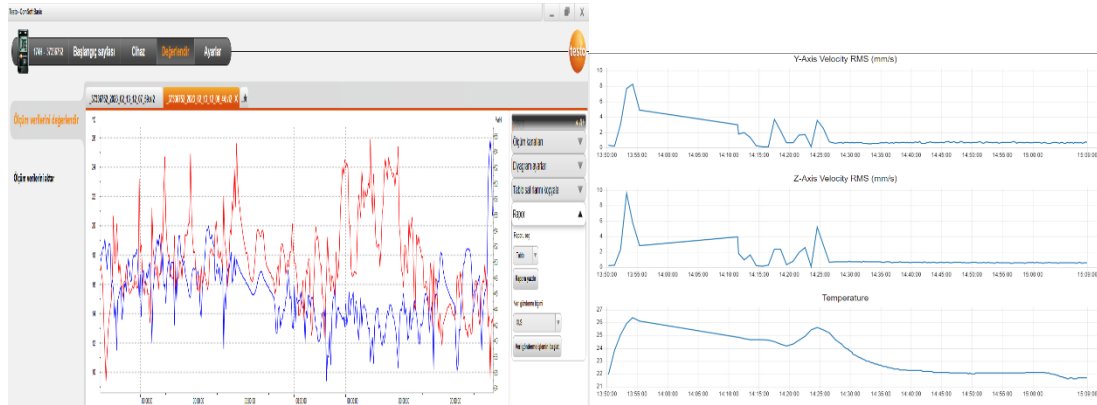
sensörlerin ve datalogger görünümü

Smart (akıllı) sensörlerin mevcut ağa bağlantısı gerekli gateway ayarları yapılarak sağlanmıştır. Arayüz bağlantı ayarları Görsel 3’te yer almaktadır.



Görsel 3. Smart sensörlerin bağlantı konfigürasyonu

Sahaya montajı yapılan sensörlerden belli bir zaman aralığında alınan veriler, Görsel 4’te görüldüğü gibi arayüz programları aracılığıyla dijital ortama transfer edilmiştir.



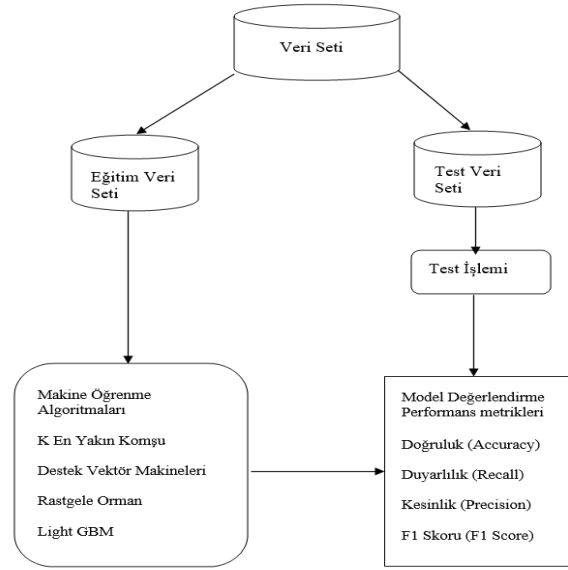
Görsel 4. Ölçülen verilerin arayüz programlarındaki grafikleri

Veri kümesinde yer alan özniteliklerin tanımları Çizelge 1’de yer almaktadır.

Çizelge 1. Veri kümesindeki özniteliklerin tanımları

Öznitelik Başlığı	Tanımı
NID Vortex Sic	Çalışma ortamı sıcaklığı (°C)
NID Vortex Nem	Çalışma ortamı nemi (%rH)
MSic	Motor gövde sıcaklığı (°C)
MVib	Motor gövde titreşim değeri (mm/sn)
RedSic	Redüktör gövde sıcaklığı (°C)
RedVib	Redüktör gövde titreşim değeri (mm/sn)

Elde edilen bu veriler bazı algoritmalar kullanılarak Python programında analiz edilmiştir. Bu çalışma sonucunda kullanılan denetimli öğrenme yöntemlerinin performans skorları karşılaştırılmıştır. Görsel 5’te çalışmanın akış diyagramı yer almaktadır.



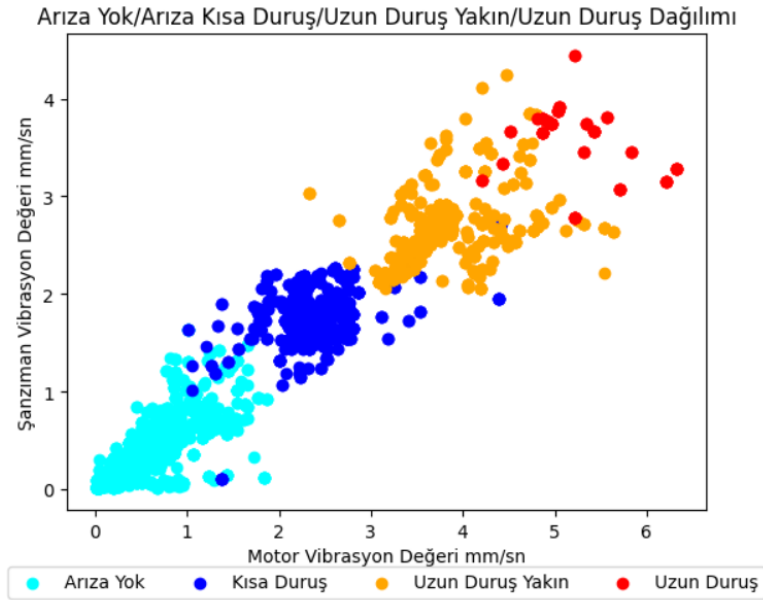
Görsel 5. Çalışmanın akış diyagramı

Bu çalışmada altı öznitelikten oluşan (motor sıcaklık, motor titreşim, redüktör sıcaklık, redüktör titreşim, ortam sıcaklık ve ortam nem) veriler K En Yakın Komşu, Destek Vektör Makineleri, Rastgele Orman ve LightGBM gibi algoritmalar ile analiz edilerek anomali tahmini ile ilgili performans skorları karşılaştırılmıştır. Veriler, gerçek zamanlı yaşanan arızaların şiddeti, etkisi ve onarım/tamir süreçleri göz önünde bulundurularak dört farklı sınıfta etiketlenmiştir. Bu sınıfların açıklamaları Çizelge 2’de görülmektedir.

Çizelge 2. Modelde oluşturulan çıktı tanımlamaları

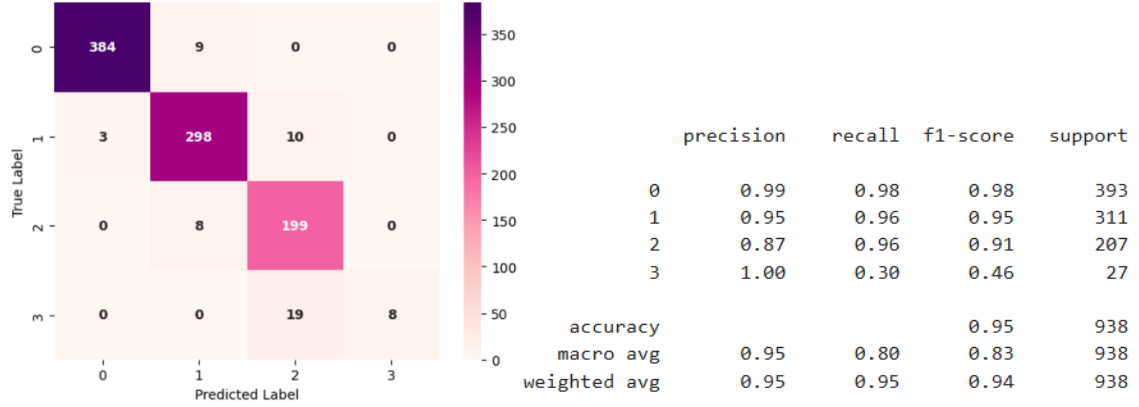
Class 0	Sorun yok. Her şey normal.
Class 1	Kısa duruş var. (0-15 dakika)
Class 2	Uzun duruş yaklaşıyor. (15-45 dakika)
Class 3	Uzun duruş var. (45 dakika ve üzeri)

Ölçümler sonucu elde edilen verilerin %30'u test, %70'i eğitim verisi olarak ayrılmıştır. Görsel 6'da motor titreşim değerlerinin redüktör titreşim değerleri ile değişimine bakılarak verilerin kategorize edilmesi sürecinde iki vibrasyon değerinin oldukça etkili olduğu görülmektedir.



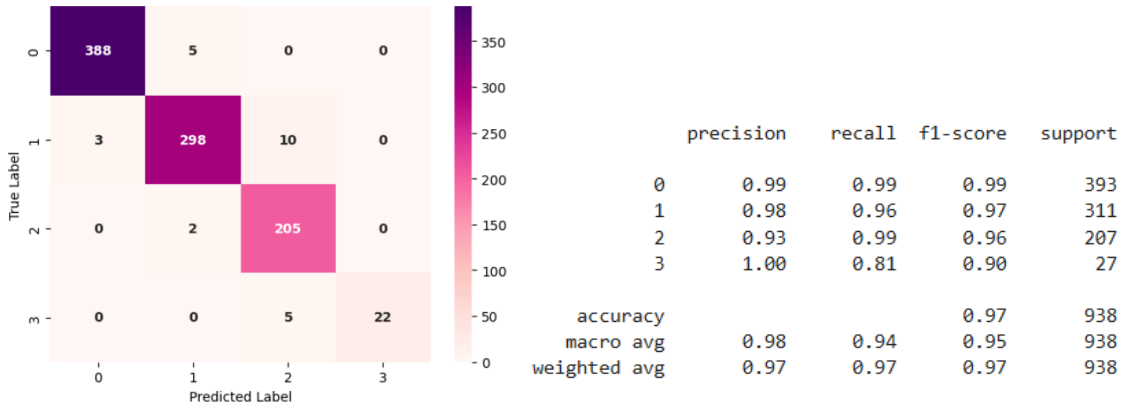
Görsel 6. Motor ve redüktör titreşim dağılımı [13]

K-en yakın komşu (kNN) algoritması ile veriler analiz edildiğinde Görsel 7'de görülen karışıklık matrisi ve performans metrikleri elde edilmiştir. Bu tablo incelendiğinde kNN algoritmasının Class 0-1-2 (arıza yok, kısa duruş, uzun duruş yakın) değerlerini tahmin etmede başarılı olduğu ancak uzun duruşları temsil eden Class 3 verilerinin tahmininde düşük performans gösterdiği görülmüştür.



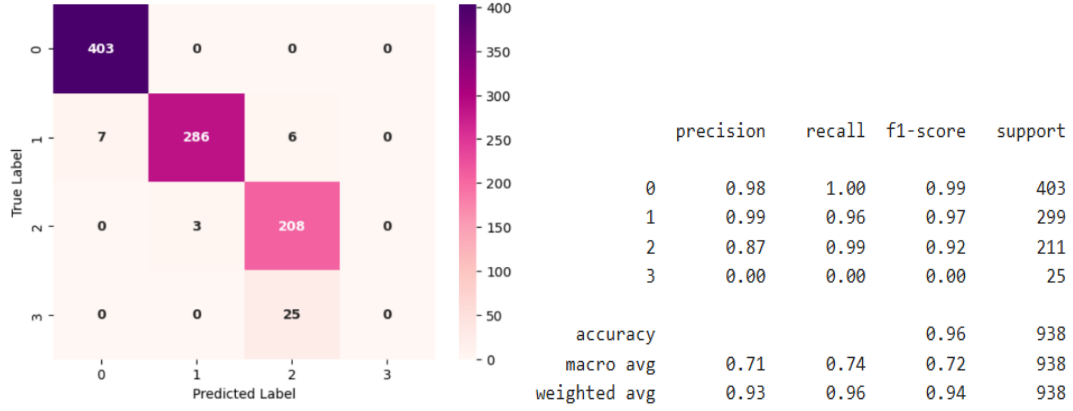
Görsel 7. KNN karışıklık matrisi ve performans metrikleri

Destek Vektör Makineleri (SVM) algoritması ile veriler analiz edildiğinde elde edilen karışıklık matrisi ve performans metrikleri Görsel 8’de görülmektedir. Karışıklık matrisi incelendiğinde 0,1 ve 2 sınıflarına ait tahmin performansının KNN algoritması kadar başarılı olduğu Class 3 verilerinde ise KNN algoritmasına göre çok daha iyi performans gösterdiği çıkarımı yapılabilmektedir.



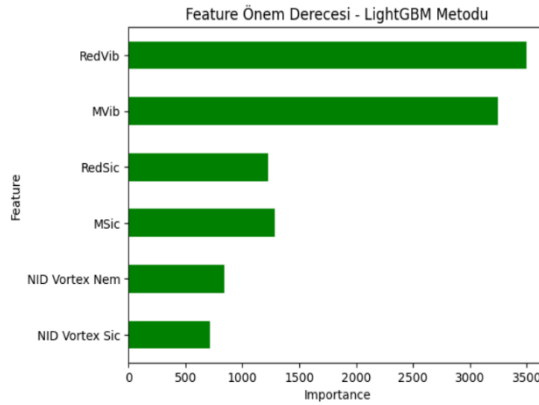
Görsel 8. SVM karışıklık matrisi ve performans metrikleri

Random Forest (RF) algoritmasının karışıklık matrisi ve performans metrikleri Görsel 9’da yer almaktadır. Karışıklık matrisi incelendiğinde RF algoritması, gerçekte Class 3 sınıfına ait değerleri Class 2 olarak tahmin etmiştir. Bu yönden bakıldığında uzun duruşa sebep olan ve kritik öneme sahip Class 3 değerlerinin tahmininde başarılı olamamıştır. Diğer sınıfların tahmininde başarılı olduğu görülmüştür.

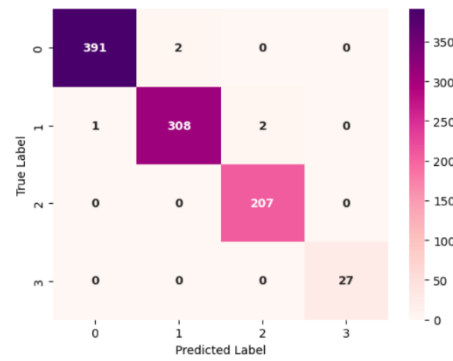


Görsel 9. RF karışıklık matrisi ve performans metrikleri

Son adımda ölçümler sonucu elde edilen veriler, LightGBM algoritması ile analiz edilmiştir. Bu analiz çalışmasında ilk olarak özneliklerin önem derecesi Görsel 10'da görüleceği üzere belirlenmiştir. Grafik incelendiğinde altı adet girdi parametresinin de algoritmanın sınıflandırma tahmin sürecinde etkisi olduğu görülmektedir.



Görsel 10. LightGBM öznelik önem derecesi



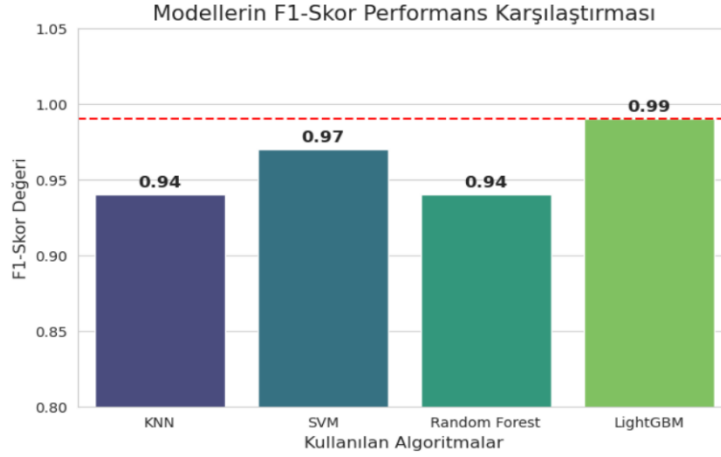
Görsel 11. LightGBM karışıklık matrisi

LightGBM algoritmasının Görsel 11'de yer alan karışıklık matrisi incelendiğinde tüm sınıfların tahmininde oldukça başarılı bir performans gösterdiği görülmektedir. Özellikle, uzun duruşlara sebep olan arızalara ait değerleri ifade eden Class 3 verilerinin tahmininde diğer algoritmalarından daha başarılı bir skor elde etmiştir.

Çizelge 3'te yer alan performans tablosu ve Görsel 12'deki karşılaştırma grafiğine bakıldığında LightGBM algoritmasının kullanılan modeller arasında en başarılı skoru elde ettiği görülmektedir.

Çizelge 3. Kullanılan algoritmaların performans skorları

Algoritma	Accuracy	Recall	Precision	F1-Score
KNN	0.95	0.95	0.95	0.94
SVM	0.97	0.97	0.97	0.97
Random Forest	0.96	0.96	0.93	0.94
LightGBM	0.99	0.99	0.99	0.99



Görsel 12. Algoritmaların performans karşılaştırması

İşletmede yaşanan arızalar incelendiğinde özellikle dişli sıyırması ve mil aksamındaki sorunların uzun duruşlara neden olduğu görülmektedir. Bu arızaların gerçekleştiği noktalar Görsel 13'te yer almaktadır. Helezon milinin yüzeyinde zamanla oluşan deformasyon, rulman ile arasında bir boşluk yaratmakta, oluşan bu boşluk da yataklama sistemini bozarak balanssızlığa neden olmaktadır. Benzer bir şekilde herhangi bir nedenden dolayı helezon sisteminin taşıdığı mekanik yükün artışı ve buna bağlı olarak helezonun sıkışması sonucu dişli sıyırmasından kaynaklı arızalar yaşanmıştır.



Görsel 13. Büyük duruşlara (Class 3) neden olan dişli ve mil arıza görselleri

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışma kapsamında, üretim hattındaki arızaların sınıflandırılması ve kullanılan model performanslarının analizi için farklı makine öğrenme algoritmaları test edilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda LightGBM algoritması, %99 doğruluk oranı ile mevcut yöntemler arasında en yüksek tahmin performansını sergileyen model olmuştur.

Sistemdeki mil balanssızlığı ya da dişli sıyırması gibi kritik mekanik arızalar, sistemden elde edilen sayısal verilerle etiketlenerek dijital ikiz mantığı ile modellenmiştir. Bu yaklaşımla birlikte, benzer veri örüntüleri oluştuğunda arıza kaynağı hızlıca tespit edilerek bakım ekibinin müdahale süresi minimize edilmiştir. Ayrıca bu kritik arızaların önceden öngörülmesiyle; olası 3 saate varan duruş süreleri engellenmiş ve yaklaşık 7500 kg'lık üretim kaybının önüne geçilmiştir. Haberleşme altyapısının optimize edilmesiyle, LightGBM modelinden gelen tahminlerin doğrudan MRP (Malzeme İhtiyaç Planlaması) yazılımına aktarılması planlanmaktadır. Bu sayede, arıza gerçekleşmeden önce bakım ekibine otomatik bilgilendirme gönderilebilir. Büyük veri depolama sistemleri kullanılarak işletme genelinde kritik noktaların sürekli izlenmesi hedeflenmektedir. Bu geniş izleme ağı hem iş gücü kaybını önleyecek hem de bakım-onarım döngülerini en kısa süreye indirecektir.

4. KAYNAKÇA

- [1] Cortadi, A. J., Irigoien, I., Boto, F., Sierra, B., Rodriguez, G. (2019). Predictive Maintenance on the Machining Process and Machine Tool. *Applied Sciences*, 10(1): 224. Doi: 10.3390/app10010224
- [2] Yayan, U., Demir, C. ve Taşkın, S. (2023). *Rüzgâr Türbinlerinde Kestirimci Bakım Uygulamaları*, 7. İzmir Rüzgâr Sempozyumu.
- [3] Taş, N. B. (2025). *Kapalı Döngü Dağıtım Sistemlerinde Kestirimci Bakım ve Hata Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2025.
- [4] Köprü, T. (2022). *Kestirimci Bakım Zamanlarının Makine Öğrenmesi Yöntemleriyle Tahminlenmesi: Demir Çelik Sektöründe Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- [5] Molęda, M., Małysiak-Mrozek, B., Ding, W., Sunderam, V., & Mrozek, D. (2023). From corrective to predictive maintenance—A review of maintenance approaches for the power industry. *Sensors*, 23(13), 5970. Doi: 10.3390/s23135970

- [6] Ayan, Ö.A. (2019). *Döner Makine Elemanlarının Titreşim Analizi ile Kestirimci Bakımı*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Edirne.
- [7] Sındır, E., Özkaner, V. (2022). Asenkron Motorlu Sistemde Bulanık Mantık Çıkarımı ile Kestirimci Bakım. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 6(2), 181-188. Doi: 10.36287/ijmsit.6.2.181
- [8] Asadzade A. (2020). *Predictive Maintenance for Smart Industry*, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir.
- [9] Manakitsa, N., Maraslidis, G. S., Moysis, L., Fragulis, G. F., (2024). A Review of Machine Learning and Deep Learning for Object Detection, Semantic Segmentation, and Human Action Recognition in Machine and Robotic Vision. *Technologies*, 12(2), 15. Doi: 10.3390/technologies12020015
- [10] Wuest, T., Weimer, D., Irgens, C., Thoben, K. (2016). Machine Learning in Manufacturing: Advantages, Challenges and Applications. *Production & Manufacturing Research*, 4(1), 23-45. Doi: 10.1080/21693277.2016.1192517
- [11] Ramachandran, K. K., Mary, A. A. S., Hawladar, S., Asokk, D., Bhaskar, B., Pitroda, J. R. (2022). Machine Learning and Role of Artificial Intelligence in Optimizing Work Performance and Employee Behavior. *Materials Today: Proceedings*, 51: 2327-2331. Doi: 10.1016/j.matpr.2021.11.544
- [12] Dridi, S. (2021). Supervised Learning – A Systematic Literature Review. Preprint, Dec.
- [13] Pirge, İ. G., & Baştürk İ. (2025). “Endüstriyel Tesislerde Makine Öğrenmesi ile Kestirimci Bakım ve Arıza Analizleri”, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 15(1), 119-133. Doi: 10.7212/karaelmasfen.1568736

VERİ BAĞLANTI KATMANINDA GÜVENLİK AÇIKLARI VE ÖNLEYİCİ MEKANİZMALAR: SİSTEMATİK BİR İNCELEME

Muhammet Esat KELEŞ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Yapay Zekâ ve Robotik Ana Bilim Dalı,
25910032011@yyu.edu.tr, 0009-0006-2783-0532

Dr. Öğr. Üyesi FARUK AYATA

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Başkale Meslek Yüksek Okulu, farukayata@yyu.edu.tr,
0000-0003-2403-3192

ÖZET

Geleneksel ağ güvenliği yaklaşımları büyük ölçüde OSI modelinin üst katmanlarına odaklanmış, Veri Bağlantı Katmanı (Layer 2) ise uzun süre güvenilir bir katman olarak kabul edilmiştir. Ancak yerel alan ağlarının (LAN) giderek daha karmaşık hale gelmesi ve iç tehditlerin artması, Layer 2 seviyesindeki protokol zafiyetlerini kritik hale getirmiştir. Bu çalışmada, Layer 2 katmanında gerçekleştirilen başlıca saldırı türleri ve bu saldırıların kurumsal ağ altyapıları üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. VLAN Hopping, CAM tablo taşması, ARP zehirlenmesi, DHCP manipülasyonu, MAC/IP sahteciliği ve Spanning Tree Protokolü (STP) istismarı gibi saldırılar, ağ trafiğinin gizliliğini, bütünlüğünü ve sürekliliğini tehdit eden temel riskler olarak ele alınmıştır. Çalışmanın devamında, bu saldırıların temelinde yatan tasarimsal protokol eksiklikleri ve varsayılan yapılandırma sorunları analiz edilmiştir. Ayrıca Port Security, DHCP Snooping, Dynamic ARP Inspection, IP Source Guard ve STP Guard gibi switch tabanlı güvenlik mekanizmaları, saldırı-savunma eşleşmesi perspektifinde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, Layer 2 güvenliğinin yalnızca üst katman güvenlik sistemleriyle sağlanamayacağını; doğru yapılandırma, önleyici denetim ve bütüncül savunma mekanizmalarının birlikte uygulanmasının zorunlu olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, iç ağ güvenliğinde sıklıkla göz ardı edilen Layer 2 katmanına yönelik sistematik ve uygulanabilir bir güvenlik çerçevesi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Veri Bağlantı Katmanı (Layer 2), Protokol Zafiyeti, Ağ trafiği

1.GİRİŞ

Kurumsal ağ güvenliği uzun yıllar boyunca ağırlıklı olarak OSI modelinin üst katmanlarında konumlanan güvenlik duvarları, saldırı tespit sistemleri ve şifreleme mekanizmaları üzerinden ele alınmıştır. Ancak bu yaklaşım, Veri Bağlantı Katmanı'nın (Layer 2) geleneksel olarak "güvenilir" kabul edilmesi nedeniyle iç ağlarda kritik bir kör nokta oluşturmuştur. Layer 2, fiziksel adresleme, çerçeveleme ve erişim kontrolü gibi temel ağ işlevlerini yürüttüğü için ağ mimarisinin üzerine inşa edildiği temel katmanlardan biridir ve bu katmanda meydana gelen ihlaller, çoğu zaman üst katman güvenlik mekanizmaları tarafından tespit edilememektedir[9], [16].Yerel alan ağlarının (LAN) fiziksel olarak tek bir organizasyonun kontrolünde bulunması, Layer 2 protokollerinin güvenlikten ziyade performans ve erişilebilirlik odaklı tasarlanmasına neden olmuştur. Ancak günümüzde iç tehditlerin artması, yetkisiz cihaz

bağlantılarının yaygınlaşması ve saldırganların iç ağlara erişim sağlayabilmesi, bu katmanı doğrudan hedef haline getirmiştir. VLAN Hopping, CAM tablo taşması, ARP zehirlenmesi, DHCP manipülasyonu, Spanning Tree istismarı ve MAC/IP sahteciliği gibi saldırılar, Layer 2 seviyesinde gerçekleştirilen ve ağın tüm trafiğini kontrol altına alabilen başlıca tehditler arasında yer almaktadır[3],[12],[14]. Layer 2 saldırılarının en kritik özelliği, çoğunun ağın normal çalışma davranışlarını taklit etmesidir. Örneğin bir switch'in CAM tablosunu güncellemesi, ARP önbelleğinin yenilenmesi veya STP'nin Root Bridge seçmesi protokol açısından olağan işlemler olarak değerlendirilirken, bu süreçlerin saldırgan tarafından manipüle edilmesi durumunda ağın gizliliği, bütünlüğü ve sürekliliği ciddi biçimde tehlikeye girmektedir [13],[16]. Bu durum, Layer 2 güvenliğinin yalnızca saldırı tespitiyle değil, aynı zamanda doğru yapılandırma ve önleyici mekanizmalarla sağlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, Layer 2 seviyesinde gerçekleştirilen yaygın saldırı türleri sistematik bir şekilde ele alınmakta; bu saldırıların çalışma mantıkları ve ağ üzerindeki etkileri detaylı biçimde incelenmektedir. Ayrıca Port Security, DHCP Snooping, Dynamic ARP Inspection, IP Source Guard ve STP Guard gibi switch tabanlı savunma mekanizmaları, saldırı-karşı önlem eşleşmesi perspektifinde değerlendirilerek güvenli bir Layer 2 mimarisi oluşturmak için uygulanabilir bir çerçeve sunulmaktadır. Böylece çalışma, iç ağ güvenliğinde sıklıkla göz ardı edilen Layer 2 katmanını hem teorik hem de pratik yönleriyle ele alan bütüncül bir yaklaşım ortaya koymayı amaçlamaktadır[3],[10],[16].

2. OSI MODELİNE KISA BAKIŞ VE LAYER 2'NİN KONUMU

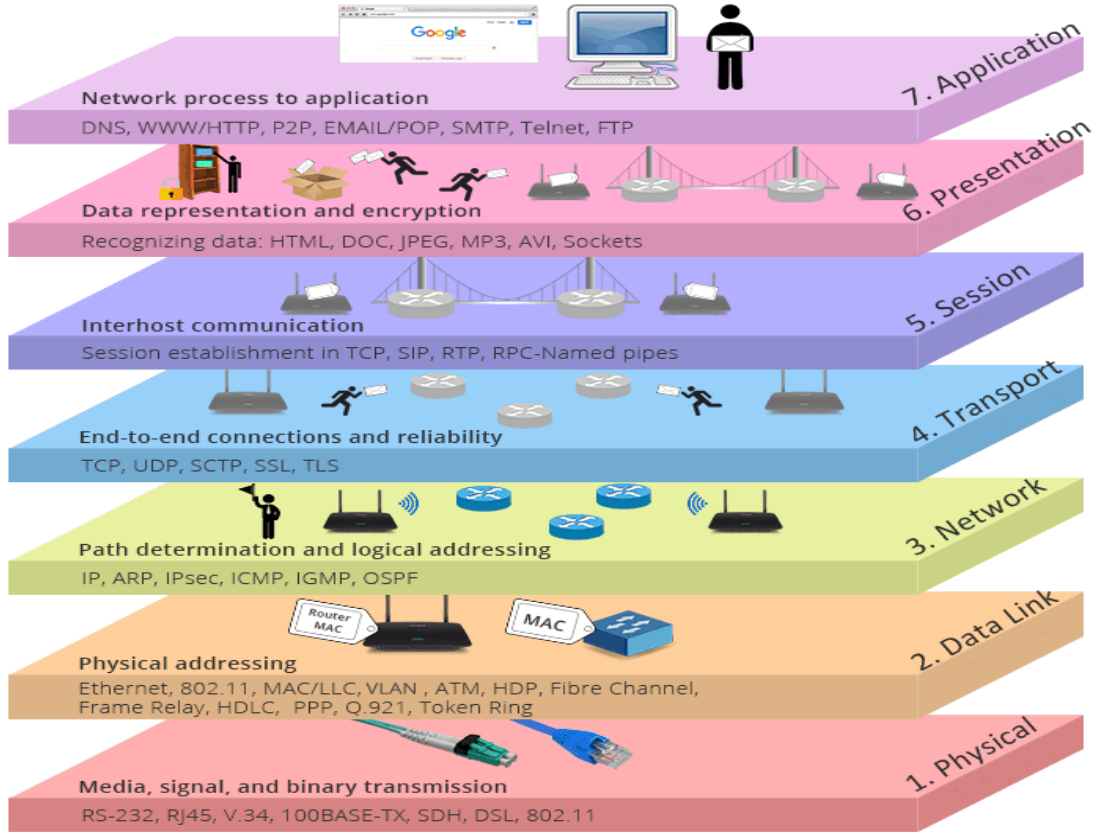
2.1 OSI Katmanlarının İşlevsel Özeti

Fiziksel Katman (Physical Layer): Fiziksel katman, verinin iletişim ortamı üzerindeki elektriksel veya optik yapısını ve bitlerin nasıl iletileceğini tanımlayan en alt seviyedir. Bu katmanda veriler bitler (0 ve 1) halinde taşınır ve bu bitlerin ışık, elektrik veya radyo sinyallerine nasıl çevrileceği kurallara bağlanır. Veri akışının gerçekleşebilmesi için gönderici ve alıcı tarafların aynı fiziksel iletim standartları üzerinde tanımlanmış olması zorunludur [8],[14]. Bu katmanda çalışan donanımlara kablolar, hublar, sinyal tekrarlayıcılar ve RJ-45 konnektörler örnek verilebilir. Fiziksel katman, medya tipi ve sinyal boyutu gibi donanım spesifikasyonlarından doğrudan sorumludur[13],[14].

- **Veri Bağlantı Katmanı (Data Link Layer):** Veri Bağlantı Katmanı, fiziksel katmandan gelen bitleri ve ağ katmanından gelen paketleri “çerçeve” (frame) adı verilen birimlere dönüştürerek iletimi düzenler. Bu katman, ağ üzerindeki cihazların fiziksel adresler (MAC) üzerinden tanımlanmasını ve verinin fiziksel ortamda nasıl paketleneceğini belirler[8],[14]. Veri bağlantı katmanı, Mantıksal Bağlantı Kontrolü (LLC) ve Medya Erişim Kontrolü (MAC) olmak üzere iki alt katmandan oluşur. Çerçeveleme, erişim kontrolü, hata denetimi ve veri hızı yönetimi bu katmanın temel görevleri arasındadır[13],[14]. Switchler ve ağ arayüz kartları (NIC) bu katmanda görev yapan temel ağ cihazlarıdır[8].
- **Ağ Katmanı (Network Layer):** Ağ katmanı, verinin bir ağdan başka bir ağa iletilmesi sırasında izleyeceği en uygun yolun belirlendiği yönlendirme katmanıdır. Bağlantı katmanından gelen çerçeveler, bu aşamada IP adresleri gibi mantıksal adresleme bilgileri eklenerek paketlere dönüştürülür[13],[14]. Bu katman sayesinde verinin yönlendiriciler

(router) aracılığıyla farklı ağ segmentleri arasında taşınması sağlanır. IP, ICMP, ARP ve IGMP gibi protokoller ağ katmanının işleyişinde temel rol oynar ve paketlerin nihai hedefe ulaştırılmasını kontrol eder[8],[13].

- **Taşıma Katmanı (Transport Layer):** Taşıma katmanı, verinin parçalara (segmentlere) bölünerek uçtan uca güvenilir şekilde iletilmesini sağlar. TCP protokolü, verinin karşı tarafa ulaşım ulaşıldığını denetler ve iletilmeyen paketlerin tekrar gönderilmesini garanti ederken; UDP protokolü hız öncelikli bir iletim sunar ancak hata kontrolü sağlamaz [8],[14]. Bu katman, akış kontrolü ve hata denetimi yaparak verinin bütünlüğünü üst katmanlara sunmadan önce korur ve uygulama katmanından gelen verinin segmentlere dönüştürülerek ağ katmanına aktarılmasını yönetir[13],[14].
- **Oturum Katmanı (Session Layer):** Oturum katmanı, uygulamalar arasında iletişimin kurulması, yönetilmesi ve sonlandırılması süreçlerini koordine eder. Aynı cihazın birden fazla cihazla eş zamanlı iletişim kurduğu durumlarda doğru verinin doğru oturumla iletilmesini sağlar [8],[14]. RPC (Uzak Prosedür Çağrısı) ve NetBIOS gibi protokoller bu katmanda çalışır. Ayrıca, iletişim sırasında oluşabilecek kesintilerde işlemin kaldığı yerden devam edebilmesi için senkronizasyon noktaları oluşturur[13].
- **Sunuş Katmanı (Presentation Layer):** Sunuş katmanının temel görevi, gönderilen verinin alıcı cihaz tarafından anlaşılabilir bir formata dönüştürülmesini sağlamaktır. Bu aşamada veri şifreleme, şifre çözme ve sıkıştırma işlemleri gerçekleştirilerek hem güvenlik hem de verimlilik sağlanır [8],[14]. JPEG, MP3, AVI ve HTML gibi veri temsil biçimleri bu katmanın standartları arasında yer alır. Farklı işletim sistemleri ve uygulamaların ortak bir veri formatında haberleşebilmesi bu katman sayesinde mümkün olur[8],[13].
- **Uygulama Katmanı (Application Layer):** Uygulama katmanı, kullanıcılara ve uygulama yazılımlarına ağ servisleri sunan ve kullanıcıya en yakın olan katmandır. Web tarayıcıları, e-posta istemcileri ve dosya aktarım uygulamaları doğrudan bu katman üzerinden çalışır [8],[14]. HTTP, FTP, SMTP, DNS ve DHCP gibi yaygın protokoller bu seviyede işlev görür. OSI modelindeki diğer katmanlardan farklı olarak, uygulama katmanı kendisinden başka bir üst katmana servis sağlamaz ve kullanıcının ağ üzerindeki tüm etkileşimlerini doğrudan yönetir [13],[14]. OSI katmanı ve bu katmanda çalışan temel protokoller ve cihazlar Şekil 1’de gösterilmektedir.



Görsel 1. OSI Katmanları ve Protokol Örnekleri Diyagramı. Kaynak: Anonim, t.y. (Erişim tarihi: 3 Şubat 2026).

2.2 Veri Bağlantı Katmanının (Layer 2) Ağ Trafikindeki Rolü

Veri Bağlantı Katmanı, ağdaki cihazları benzersiz fiziksel MAC adresleri üzerinden tanımlayarak aralarındaki veri alışverişini yönetir. Bu katman, fiziksel katmandan gelen bitleri anlamlı çerçevelere dönüştürürken aynı zamanda veri akış kontrolü ve hata denetimi görevlerini de üstlenir[13],[14].

Geleneksel olarak yerel alan ağlarının (LAN) tek bir organizasyonun fiziksel kontrolü altında olması nedeniyle Layer 2 uzun süre “güvenilir bir katman” olarak kabul edilmiştir. Ancak taşıma ve uygulama katmanlarının bu katmana tam güvenle dayanması, zamanla Layer 2’yi ağ mimarisinin en kritik güvenlik açığı haline getirmiştir[9],[10].

Bu katmanda gerçekleşen bir ihlal, üst seviyedeki güvenlik duvarları veya şifreleme mekanizmaları tarafından fark edilmeden tüm trafiğin sızmasına neden olabilir. Bu nedenle Layer 2, yalnızca ağ trafiğinin teslimatından sorumlu bir katman değil, aynı zamanda tüm hiyerarşik ağ yapısının üzerine inşa edildiği temel yapı olarak değerlendirilmektedir[5],[16].

3. LAYER 2 ÇALIŞMA MANTIĞI VE TEMEL BİLEŞENLERİ

3.1 Switch’ler, VLAN Yapısı ve MAC Adres Öğrenme Mantığı

İkinci katmanın temel taşı olan switchler (anahtarlayıcılar), gelen çerçevelerin kaynak MAC adreslerini inceleyerek hangi cihazın hangi fiziksel portta olduğunu öğrenir. Bu bilgiler, fiziksel portlar ile MAC adreslerini eşleştiren ve İçerik Adreslenebilir Bellek (CAM) adı verilen sabit boyutlu bir tabloda saklanır[12],[16]. Switch, hedef MAC adresini kendi tablosunda bulamazsa, çerçeveyi ilgili VLAN içindeki tüm portlara yayarak (flooding) hedefi

bulmaya çalışır. VLAN (Sanal Yerel Alan Ağı) teknolojisi ise fiziksel bir ağı mantıksal bölümlere ayırarak yayın alanlarını (broadcast domain) sınırlandırır ve ağ trafiğinin izole edilmesini sağlar[3][14]. Switchler arasındaki VLAN trafiğini otomatikleştirmek için Dinamik Trunking Protokolü (DTP) gibi yönetimsel protokoller kullanılmakta olup, bu yapı büyük ağlarda yönetim kolaylığı sağlar[16].

3.2 ARP ve DHCP'nin Layer 2 Üzerindeki İşlevi

Adres Çözümleme Protokolü (ARP), 32 bitlik IP adreslerini 48 bitlik fiziksel MAC adresleriyle eşleştirerek Katman 2 ile Katman 3 arasında kritik bir köprü görevi görür. Bir cihaz hedefin MAC adresini bilmiyorsa ağa bir ARP isteği yayınlar ve hedef cihaz fiziksel adresini içeren bir yanıt döndürür [2],[14]. Bu eşleşmeler, iletim performansını artırmak amacıyla cihazların ARP önbelleğinde (cache) belirli bir süre saklanır. Dinamik Ana Bilgisayar Yapılandırma Protokolü (DHCP) ise, ağa katılan cihazlara IP adresi, ağ geçidi ve DNS gibi yapılandırma bilgilerini otomatik olarak atayan ve Layer 2 çerçeveleri içinde çalışan bir protokoldür[1]. DHCP süreci; keşif (discover), teklif (offer), istek (request) ve onay (acknowledge) adımlarından oluşan dört aşamalı bir mesaj değişimiyle gerçekleştirilir[16].

3.3 STP gibi Temel Yönetim Protokollerinin Güvenlikle İlişkisi

Spanning Tree Protokolü (STP), anahtarlanmış ağlarda yedekli bağlantıların neden olduğu sonsuz döngüleri (loop) ve yayın fırtınalarını önlemek amacıyla geliştirilmiştir. Protokol, cihazlar arasında Köprü Protokolü Veri Birimi (BPDU) paketleri değiş tokuşu yaparak bir “Kök Köprü” (Root Bridge) seçer ve döngü oluşturabilecek portları otomatik olarak bloklar[1],[9]. Ancak STP, doğası gereği herhangi bir kimlik doğrulama mekanizmasına sahip değildir. Bu durum, bir saldırganın sahte BPDU paketleri yayınlayarak kendisini ağın merkezi köprüsü olarak tanıtmaya ve tüm trafiği kendi üzerinden geçirmesine imkân sağlar.[6],[14].

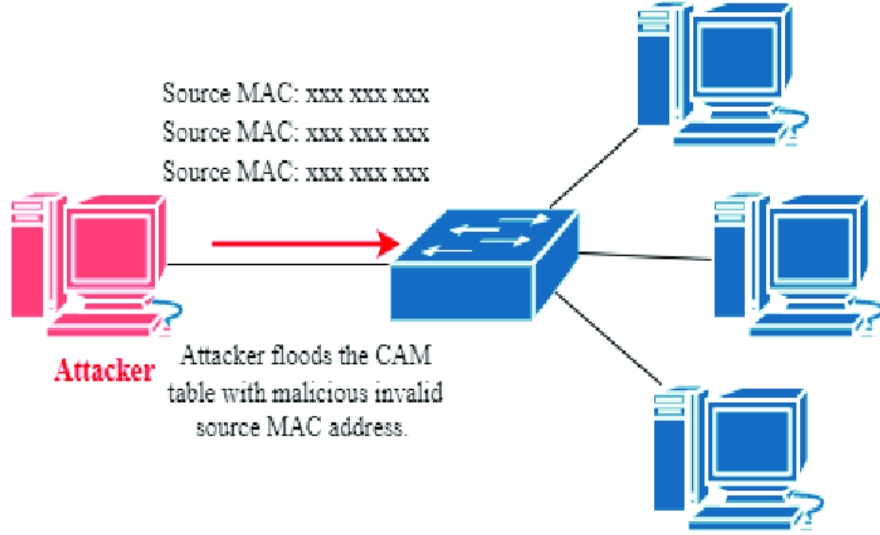
4. LAYER 2 SALDIRI TÜRLERİ VE GÜVENLİK AÇIKLARI

Veri Bağlantı Katmanı (Layer 2), ağın “güvenilir” olduğu varsayımı üzerine inşa edildiğinden, bu katmana yönelik saldırılar genellikle kimlik doğrulama eksikliklerinden ve protokollerin tasarımsal zafiyetlerinden yararlanır. Saldırganlar yerel ağa (LAN) fiziksel ya da kablosuz erişim sağladıktan sonra, trafiği dinlemek, değiştirmek veya hizmet dışı bırakmak amacıyla çeşitli teknikler uygulayabilirler[14].

4.1 CAM Table Flooding (MAC Adres Taşması)

Anahtarlayıcılar (switch), ağ trafiğini doğru portlara yönlendirmek için kaynak MAC adreslerini ve ilgili port bilgilerini İçerik Adreslenebilir Bellek (CAM) tablolarında tutar. Bu tablolar donanım kapasitesiyle sınırlıdır ve giriş seviyesi cihazlarda oldukça düşük boyutlara sahip olabilir[3],[16]. Saldırgan, macof gibi araçlar kullanarak saniyeler içinde binlerce sahte MAC adresi üretip switch'e gönderdiğinde, CAM tablosu tamamen dolar ve cihaz yeni gelen meşru adresleri öğrenemez hâle gelir. Bu durumda switch “fail-open” moduna geçerek bir hub gibi davranır ve hedefi bilinmeyen trafiği ilgili VLAN'daki tüm portlara yayar[13],[14]. Bu

durum saldırıya pasif trafik dinleme (sniffing) imkânı sağladığı gibi, aynı zamanda ağ performansını ciddi biçimde düşüren bir Hizmet Dışı Bırakma (DoS) etkisi oluşturur[3],[9]. CAM/MAC Flooding temel çalışma mantığı Şekil 2’de gösterilmiştir.



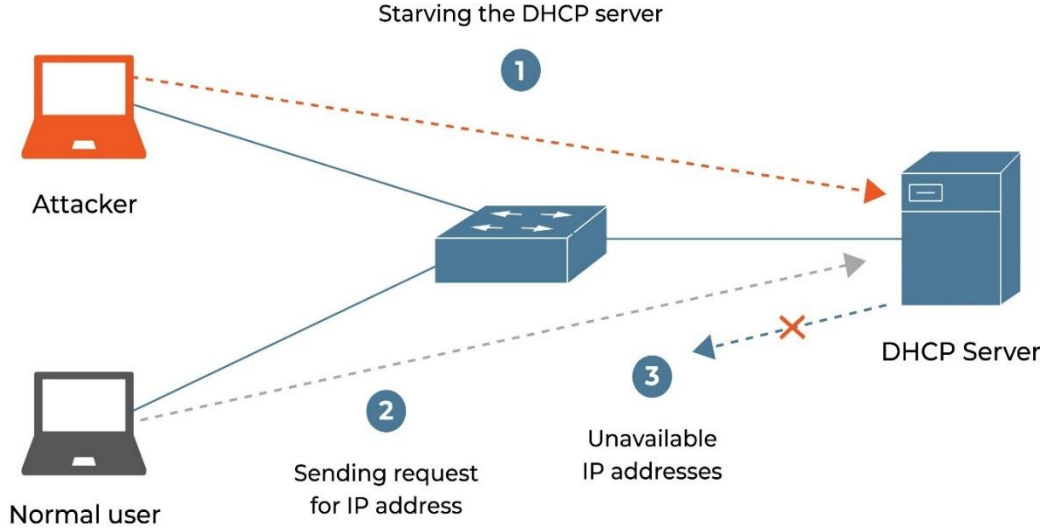
Görsel 2. Bir ağ anahtarına (switch) yönelik MAC flooding saldırısının işleyiş mekanizması. Kaynak: Anonim, t.y. (Erişim tarihi: 3 Şubat 2026).

4.2 ARP Spoofing / Poisoning (ARP Zehirlenmesi)

Adres Çözümleme Protokolü (ARP), IP adreslerini MAC adresleriyle eşleştirmek için kullanılır ancak durumsuz (stateless) yapısı nedeniyle güvenlik zafiyetine sahiptir. Cihazlar, herhangi bir istek göndermemiş olsalar bile gelen ARP yanıtlarını kabul ederek önbelleklerini güncellerler [2]. Bu zafiyetten yararlanan saldırgan, kurban cihazlara sahte ARP yanıtları göndererek kendisini ağ geçidi gibi tanıtabilir. Aynı şekilde ağ geçidine de kurbanın MAC adresini göndererek çift yönlü bir zehirlenme oluşturur[14],[16]. Bu saldırı sonucunda, kurban ile ağ geçidi arasındaki tüm trafik saldırganın cihazı üzerinden akar ve bu durum Ortadaki Adam (Man-in-the-Middle – MITM) saldırılarının temelini oluşturur[3],[8].

4.3 DHCP Starvation ve Rogue DHCP Saldırıları

DHCP saldırıları genellikle iki aşamada gerçekleşir. İlk aşamada, saldırgan sahte MAC adresleri kullanarak DHCP sunucusuna çok sayıda IP kiralama isteği gönderir ve IP havuzunun tamamen tükenmesine neden olur. Bu durum, meşru kullanıcıların IP alamamasına yol açan bir DoS saldırısıdır[3],[14]. İkinci aşamada saldırgan, ağda sahte bir DHCP sunucusu (Rogue DHCP) kurarak istemcilerle kendi belirlediği IP, DNS ve ağ geçidi bilgilerini dağıtır. Kurbanlar yanlış ağ geçidi bilgisi nedeniyle tüm trafiği saldırgan üzerinden yönlendirir ve bu da trafik izleme veya yönlendirme saldırılarına zemin hazırlar[3],[16]. DHCP Saldırılarının mantığı ve temel çalışma prensibi Şekil 3’de gösterilmiştir.



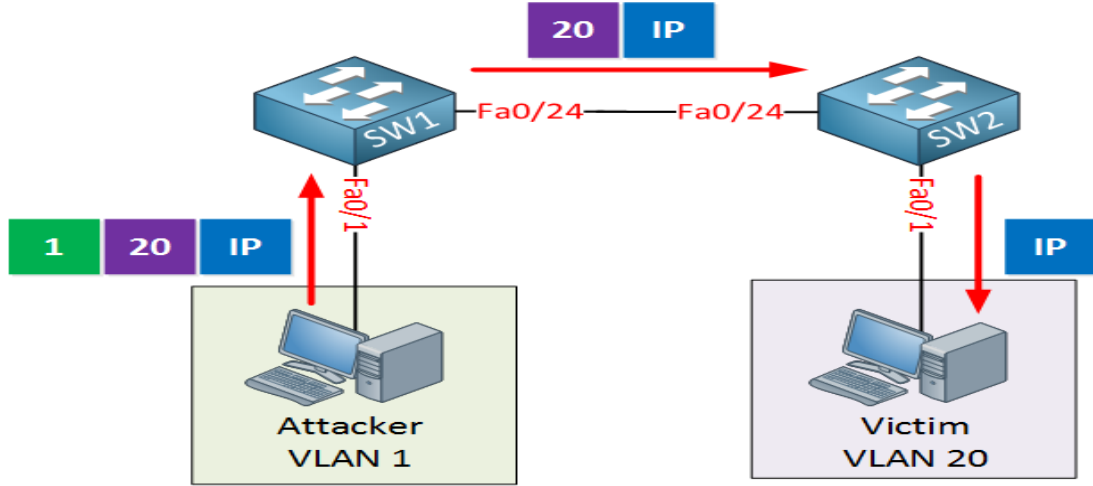
Görsel 3. DHCP Starvation (DHCP Aç bırakma) saldırısının işleyişi ve IP adresi havuzunun tüketilmesi süreci. Kaynak: Anonim, t.y. (Erişim tarihi: 3 Şubat 2026).

4.4 MAC / IP Spoofing (Kimlik Sahteciliği)

MAC sahteciliği, saldırganın ağ arayüz kartının MAC adresini yetkili bir cihazın adresiyle değiştirmesiyle gerçekleştirilir. Bu yöntem, port güvenliği veya MAC filtreleme gibi erişim kontrol mekanizmalarını aşmak için yaygın olarak kullanılır[3],[16]. IP sahteciliğinde ise saldırgan, kaynak IP adresini değiştirerek güvenilir bir ağdan geliyormuş izlenimi yaratır. IP ve MAC sahteciliğinin birlikte kullanılması durumunda saldırgan, başka bir kullanıcının kimliğini tamamen taklit ederek yetkisiz ağ kaynaklarına erişebilir[3][13].

4.5 VLAN Hopping (VLAN Sıçrama)

VLAN Hopping, saldırganın bulunduğu VLAN dışındaki diğer VLAN'lara ait trafiğe erişmesini sağlayan bir tekniktir. Bu saldırı iki temel yöntemle gerçekleştirilir. Switch Spoofing yönteminde saldırgan, Dinamik Trunking Protokolü (DTP) paketlerini manipüle ederek kendisini bir switch gibi tanıtır ve bağlı olduğu portu trunk moduna geçmeye zorlar. Bu durumda saldırgan, tüm VLAN'ların trafiğine erişebilir; [3],[14]. Double Tagging yönteminde ise saldırgan, pakete iki adet 802.1Q VLAN etiketi ekler. İlk switch dış etiketi kaldırır, ikinci switch ise iç etiketi okuyarak paketi saldırganın normalde erişemeyeceği VLAN'a iletir. Bu saldırı tek yönlüdür ve saldırganın Native VLAN üzerinde olmasını gerektirir[3],[16]. VLAN Hopping mekanizmasında çift VLAN etiketi temel mantığı Şekil 4'de gösterilmiştir.



Görsel 4. Çift etiketleme (double tagging) yöntemiyle gerçekleştirilen bir VLAN hopping saldırısının teknik şeması. (Kaynak: Anonim, Erişim tarihi: 3 Şubat 2026).

4.6 STP Manipülasyonu

Spanning Tree Protokolü (STP), kimlik doğrulama mekanizması içermediği için saldırılara açıktır. Saldırgan, sahte BPDU paketleri göndererek kendi cihazının öncelik değerini mevcut kök köprüden daha düşük gösterebilir[6],[9]. STP algoritması gereği en düşük öncelik değerine sahip cihaz Root Bridge seçildiğinden, saldırgan bu rolü ele geçirdiğinde ağın mantıksal topolojisi yeniden şekillenir ve tüm trafik saldırganın cihazı üzerinden yönlendirilir[14].

5. LAYER 2 GÜVENLİK MEKANİZMALARI VE SAVUNMA YAKLAŞIMLARI

Layer 2 saldırılarına karşı savunma, switch'lerin varsayılan davranışlarını değiştiren ve ağ trafiğini daha sıkı denetleyen güvenlik özelliklerinin etkinleştirilmesine dayanır. Bu mekanizmalar, özellikle kimlik doğrulama eksikliği bulunan protokollerden kaynaklanan zafiyetleri azaltmayı hedefler[16].

5.1 Port Security (Port Güvenliği)

Port Güvenliği, bir switch portuna bağlanabilecek cihazların MAC adreslerini sınırlandırarak CAM tablosu taşması ve MAC sahteciliği saldırılarını önler. Yöneticiler, bir port için izin verilen maksimum MAC adresi sayısını belirleyebilir ve bu adresleri statik olarak tanımlayabilir ya da sticky özelliği ile switch'in dinamik olarak öğrenip kaydetmesini sağlayabilirler [3],[14]. Bir ihlal durumunda, yani izin verilmeyen bir MAC adresi algılandığında veya belirlenen limit aşıldığında, port farklı tepkiler verebilir. Shutdown modu portu tamamen kapatırken, restrict modu paketleri düşürüp log kaydı oluşturur; protect modu ise paketleri sessizce engeller[3].

5.2 DHCP Snooping (DHCP Gözetleme)

DHCP Snooping, sahte DHCP sunucularına karşı koruma sağlamak amacıyla switch portlarını "güvenilir" ve "güvenilmez" olarak sınıflandırır. Güvenilir portlardan gelen tüm DHCP mesajlarına izin verilirken, kullanıcı portları olarak tanımlanan güvenilmez portlardan gelen

DHCP sunucu yanıtları engellenir[14],[16]. Bu özellik ayrıca başarılı DHCP işlemlerini izleyerek IP, MAC, VLAN ve port bilgilerinden oluşan bir DHCP Snooping Binding Table oluşturur. Bu tablo, diğer Layer 2 güvenlik mekanizmaları için temel bir referans noktası olarak kullanılır[3].

5.3 Dynamic ARP Inspection (DAI)

Dynamic ARP Inspection (DAI), ARP zehirlenmesi saldırılarını önlemek amacıyla ağdaki tüm ARP paketlerini denetler. Bu mekanizma, DHCP Snooping tarafından oluşturulan bağlama tablosunu referans alarak ARP paketlerindeki IP–MAC eşleşmelerini doğrular [3],[16].Eğer gelen bir ARP paketi veritabanındaki bilgilerle uyuşmuyorsa, switch bu paketi düşürür ve sahte ARP yanıtlarının ağa yayılmasını engeller. Statik IP kullanan cihazlar için bu mekanizma, manuel olarak yapılandırılmış ARP erişim kontrol listeleriyle desteklenebilir[3],[14].

5.4 IP Source Guard (IP Kaynak Koruması)

IP Source Guard, IP sahteciliğini önlemek için kullanılan bir Layer 2 filtreleme mekanizmasıdır. Bu özellik, DHCP Snooping veritabanını kullanarak her porttan gelen IP paketlerinin kaynak IP (ve isteğe bağlı olarak MAC) adresini denetler [3],[9]. Bir porttan gelen paketin kaynak IP adresi, o port için tanımlı adresle eşleşmiyorsa switch bu paketi engeller. Bu sayede saldırganların başkasına ait IP adreslerini kullanarak trafiği taklit etmesi veya DoS saldırıları gerçekleştirmesi önlenir[3],[16].

5.5 STP Guard Mekanizmaları

STP'nin kararlılığını korumak ve topoloji manipülasyonlarını engellemek amacıyla çeşitli koruma mekanizmaları geliştirilmiştir. BPDU Guard, PortFast özelliği etkin olan uç kullanıcı portlarına BPDU paketi geldiğinde, bu portu otomatik olarak error-disabled durumuna alarak yetkisiz switch bağlantılarını engeller[14]. Root Guard ise, belirli portlardan gelen ve mevcut Root Bridge'den daha iyi öncelik değerine sahip BPDU'ları yok sayar. Bu port root-inconsistent durumuna alınarak saldırganın Root Bridge rolünü ele geçirmesi önlenir[6].

5.6 ARP Entry Limit ve Strict ARP Learning

ARP tabanlı DoS saldırılarına ve kaynak tüketimine karşı, cihazların ARP tablolarına ekleyebileceği girdi sayısı sınırlandırılabilir. Bazı üreticiler tarafından uygulanan Strict ARP Learning yaklaşımı, cihazın yalnızca kendi gönderdiği ARP isteklerine karşılık gelen ARP yanıtlarını öğrenmesine izin verir[2]. Bu sayede saldırganın gönderdiği istenmeyen (gratuitous veya unsolicited) ARP paketleri işlenmez ve ARP önbelleğinin zehirlenmesi etkili biçimde engellenir[3].

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, OSI modelinin Layer 2 seviyesinde ortaya çıkan güvenlik açıkları ve bu açıkların kurumsal ağlar üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Geleneksel güvenlik yaklaşımlarının büyük ölçüde üst katmanlara odaklanması, Layer 2'nin uzun süre

“güvenilir” kabul edilmesine yol açmış; ancak yapılan incelemeler, bu katmanın saldırganlar için kritik bir hedef haline geldiğini açıkça göstermiştir. VLAN Hopping, CAM tablo taşması, ARP zehirlenmesi, DHCP manipülasyonu, MAC/IP sahteciliği ve STP istismarı gibi saldırılar, ağ trafiğinin gizliliğini, bütünlüğünü ve sürekliliğini doğrudan tehdit eden temel riskler olarak öne çıkmaktadır.

Çalışmada sunulan analizler, Layer 2 saldırılarının büyük bölümünün protokollerin tasarım gereği güvenlik mekanizmaları içermemesi veya varsayılan yapılandırmaların yetersiz olması nedeniyle mümkün hale geldiğini ortaya koymuştur. Özellikle switch’lerin varsayılan davranışları, saldırganlar tarafından istismar edilerek ağ topolojisinin yeniden şekillendirilmesine, trafiğin pasif veya aktif olarak izlenmesine ve hizmet dışı bırakma saldırılarının gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu durum, Layer 2 güvenliğinin yalnızca saldırı tespitiyle değil, doğru yapılandırma ve önleyici mekanizmalarla sağlanması gerektiğini açıkça göstermektedir.

Bu bağlamda, Port Security, DHCP Snooping, Dynamic ARP Inspection, IP Source Guard ve STP Guard gibi switch tabanlı savunma mekanizmalarının birlikte ve bütüncül şekilde uygulanmasının, Layer 2 seviyesindeki saldırıların büyük bölümünü etkin biçimde engelleyebileceği ortaya konmuştur. Saldırı–savunma eşleşmesi perspektifinde değerlendirildiğinde, bu mekanizmaların birbirini tamamlayan bir güvenlik zinciri oluşturduğu ve tek başına uygulanmalarına kıyasla birlikte kullanıldıklarında çok daha yüksek koruma sağladığı görülmüştür.

Sonuç olarak, Layer 2 güvenliği, modern ağ mimarilerinde göz ardı edilmemesi gereken temel bir güvenlik katmanı olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışmada sunulan sistematik yaklaşım, ağ yöneticilerine ve güvenlik uzmanlarına, iç ağların yapılandırma temelli saldırılara karşı güçlendirilmesi için uygulanabilir bir referans çerçevesi sunmaktadır. Gelecek çalışmalarda, bu mekanizmaların yazılım tanımlı ağlar (SDN) ve bulut tabanlı altyapılar üzerindeki etkilerinin incelenmesi, Layer 2 güvenliğinin daha geniş ölçekli ortamlara uyarlanması açısından önemli bir araştırma alanı olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Altunbasak, H. C. (2006). *Layer 2 security inter-layering in networks*.
- [2] Arslan, Y. (2017). *A solution for ARP spoofing: Layer-2 MAC and protocol filtering and ARP Server*.
- [3] Bhajji, Y. (2005). *Layer 2 attacks & mitigation techniques*.
- [4] DHCP Starvation Attack [Diyagram]. (t.y.). Erişim adresi: [https://info.pivtglobal.com/resources/dhcp-spoofing-and-starvation-attacks]
- [5] Ferdous Wahid, K., & Rubio-Loyola, J. (2010). *Secure bridging in large scale deployment of Ethernet*.
- [6] Lai, Y., Liu, Z., Pan, Q., & Liu, J. (2015). Study on cloud security based on trust spanning tree protocol. *International Journal of Theoretical Physics*, 54(9), 3311–3330. <https://doi.org/10.1007/s10773-015-2571-9>
- [7] MAC Flooding Attacks [Diyagram]. (t.y.). Erişim adresi: [https://www.researchgate.net/figure/MAC-flooding-attacks_fig7_366454597]
- [8] Mahmood, S., Mohsin, S. M., & Ekber, S. M. A. (2020). *2020 3rd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET): Idea to innovation for building the knowledge economy, January 29–30, 2020*. IEEE.
- [9] Marro, G. M. (2003). *Attacks at the data link layer*.
- [10] Nikolchev, K., Herasymenko, K., Starkova, O., & Yastrebov, M. (2021). Development of recommendations for the implementation of integrated security in the corporate network at the OSI data link layer. In *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T 2020)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/PICST51311.2020.9468014>
- [11] OSI Modeli Katmanları [Diyagram]. (t.y.). Erişim adresi: [https://siber.inonu.edu.tr/osi-modeli-nedir-ne-ise-yarar/]
- [12] Senecal, L. (2006). *Layer 2 attacks and their mitigation*.
- [13] Shanker, R., & Singh, A. (2021). Analysis of network attacks at data link layer and its mitigation. In *Proceedings of the 2021 International Conference on Computing Sciences (ICCS 2021)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCS54944.2021.00061>
- [14] Toprak, H., & Kardaş, S. (2020). *2. katman iç ağ saldırıları ve önlemler (Layer 2 internal network attacks and the countermeasures)*. <https://www.researchgate.net/publication/348151619>
- [15] VLAN Hopping Attack Example [Diyagram]. (t.y.). Erişim adresi: [https://networklessons.com/switching/vlan-hopping]
- [16] Vyncke, E. (2006). *Security 2006: Eric Vyncke – Layer 2 security*.

GÖRÜNTÜ TABANLI SES ŞİFRELEME İÇİN YAPAY SİNİR AĞI DESTEKLİ HİBRİT KAOTİK SİSTEM

Öğr.Gör. Nuri DÜRÜL

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, nuridurul@kmu.edu.tr- 0000-0001-9187-1554

Doç.Dr. Serhat KILIÇARSLAN

Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, skilicarслан@bandirma.edu.tr- 0000-0001-9483-4425

Dr.Öğr.Üyesi Fahrettin Burak DEMİR

Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, fdemir@bandirma.edu.tr- 0000-0001-9095-5166

ÖZET

Gerçek zamanlı ses iletiminin uzaktan izleme, askeri ve sağlık sistemlerinde yaygınlaşması, düşük gecikmeli ve yüksek güvenilirli şifreleme yöntemlerine olan ihtiyacı belirgin biçimde artırmıştır. Bu çalışmada ses sinyallerinin iki boyutlu görüntü matrislerine dönüştürülerek Arnold Cat Map (ACM) ile permütasyona uğratıldıktan sonra, yapay sinir ağı (YSA) destekli dinamik kaotik bir sistemle şifrenmesiyle uçtan uca güvenli bir iletişim protokolü önerilmektedir. Temel yenilik, kaotik difüzyon sürecine entegre edilen Softmax tabanlı hibrit aktivasyon mekanizmasıdır. Standart KAF, Mish ve Sine aktivasyon fonksiyonlarının performansları; konuşma, beyaz gürültü, çok düşük frekanslı atımlar, kare dalgalar ve sessizlik içeren 10 farklı zorlu ses profili üzerinde test edilmiştir. Deneysel bulgular, KAF fonksiyonunun yüksek entropili gürültü sinyallerinde NIST SP 800-22 Blok Frekans testinden kaldığını ($p=0.0038$), Mish fonksiyonunun yüksek genlikli saturasyon (kare dalga) verisinde başarısız olduğunu ($p=0.0069$) ve Sine fonksiyonunun sabit/sessiz verilerde periyodik döngüye girerek şifreleme özelliğini yitirdiğini göstermiştir. Geliştirilen Hibrit model ise girdiden çıkarılan öznitelikler doğrultusunda bileşen ağırlıklarını dinamik olarak ayarlayarak bu zafiyetleri tamamen ortadan kaldırmıştır. NIST Full Pack kapsamındaki 15 testin (162/162 alt parametre) tamamından sıfır hata ile geçmiştir. Sistemin ürettiği şifreli verilerin ortalama entropisi 7.999'a ulaşmış, NPCR %99.60, UACI %33.42 seviyelerinde gerçekleşerek diferansiyel saldırılara karşı mutlak direnç sağlanmıştır. Sonuçlar, önerilen hibrit aktivasyon fonksiyonunun hesaplama hızından bir miktar feragat ederek, tek başına kullanılan fonksiyonlara kıyasla evrensel (veri bağımsız) ve üstün bir güvenlik sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kaotik şifreleme, ses güvenliği, hibrit aktivasyon fonksiyonu, Arnold Cat Map, NIST 800-22

KRONİK AKCİĞER HASTALIKLARDA TIMED UP AND GO TESTİ: FONKSİYONEL DEĞERLENDİRMENİN KLİNİK ROLÜ

Doktora Öğrencisi, Zeynep Betül ÖZCAN

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, zbetulozcan@gmail.com- ORCID: 0000-0003-1788-7755

ÖZET

Kronik akciğer hastalıkları, yalnızca pulmoner fonksiyonları değil; bireylerin günlük yaşam aktivitelerini, fiziksel performansını ve bağımsızlığını da olumsuz etkileyerek önemli bir klinik yük oluşturmaktadır. Timed Up and Go (TUG) testi, kronik akciğer hastalarında mobilite, denge, düşme riski ve kırılmanın değerlendirilmesinde pratik ve uygulanabilir bir ölçüm aracı olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. Özellikle Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH), pulmoner fibrozis ve pulmoner hipertansiyon hastalarında, 6 dakika yürüme testi gibi daha uzun ve uygulaması görece zor fonksiyonel testlere alternatif ya da tamamlayıcı bir değerlendirme yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Bu derlemenin amacı, kronik pulmoner hastalıklarda TUG testinin fonksiyonel değerlendirmedeki yerini, klinik kullanım alanlarını ve mevcut literatür ışığında prognostik ve izlemdeki potansiyel rolünü değerlendirmektir. Bu kapsamda PubMed, TRDizin ve Cochrane Library veri tabanlarında “lung disease” ve “Timed Up and Go” anahtar kelimeleri kullanılarak literatür taraması yapılmıştır. Arama, son beş yıl içerisinde yayımlanan, İngilizce dilinde randomize kontrollü çalışmalarla sınırlandırılmıştır. Tarama sonucunda TRDizin’de 8, PubMed’de 22 ve Cochrane Library’de 8 çalışma belirlenmiş; tekrarlayan çalışmaların elenmesiyle toplam 18 çalışma değerlendirmeye alınmıştır. Tam metin incelemesi sonrası dahil edilme kriterlerini karşılayan 3 çalışma analize dahil edilmiştir. Bu çalışmaların tamamı randomize kontrollü prospektif tasarıma sahip olup, ikisi KOAH, biri ise COVID-19 sonrası dönem hastalarını kapsamaktadır. Sonuç olarak, mevcut kanıtlar TUG testinin kronik akciğer hastalıklarda fonksiyonel değerlendirmede pratik ve uygulanabilir bir araç olduğunu göstermektedir. Ancak, mevcut çalışmaların büyük ölçüde KOAH ve COVID-19 sonrası dönem hastalarıyla sınırlı olması ve diğer kronik akciğer hastalıklarına ilişkin verilerin yetersizliği, bu testin klinik kullanım alanlarının daha geniş hasta gruplarında doğrulanması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler : Akciğer hastalıkları, zamanlı kalk yürü testi, fonksiyonel değerlendirme

1. GİRİŞ

Kronik akciğer hastalıkları, dünya genelinde önemli morbidite ve mortalite nedenleri arasında yer almakta olup, özellikle Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH), interstisyel akciğer hastalıkları ve pulmoner hipertansiyon gibi durumlar, progresif solunum kısıtlılığına ve sistemik etkilenime yol açmaktadır. KOAH'ın küresel olarak üçüncü en sık ölüm nedeni olduğu bildirilmiş ve hastalığın yalnızca pulmoner fonksiyonları değil, kas-iskelet sistemi, kardiyovasküler sistem ve genel fiziksel performansı da etkilediği vurgulanmıştır [1].

Kronik akciğer hastalarında egzersiz intoleransı; ventilatuvar kısıtlılık, gaz değişim bozukluğu, periferik kas disfonksiyonu ve sistemik inflamasyon gibi çok faktörlü mekanizmalarla ilişkilidir. Bu durum, günlük yaşam aktivitelerinde kısıtlanmaya, düşme riskinde artışa ve kırılmalık gelişimine zemin hazırlamaktadır [2]. Özellikle KOAH hastalarında denge bozukluğu ve düşme riskinin sağlıklı bireylere göre anlamlı derecede yüksek olduğu gösterilmiştir [3].

Fonksiyonel kapasitenin değerlendirilmesi, kronik akciğer hastalıklarının klinik yönetiminde temel bir bileşendir. 6 Dakika Yürüme Testi (6DYT), egzersiz kapasitesinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan, valide bir saha testidir [4]. Ancak uygulama alanı gereksinimi, süre kısıtlılığı ve bazı hasta gruplarında tolere edilebilirliğin sınırlı olması, daha kısa ve pratik testlere olan ihtiyacı gündeme getirmiştir.

Timed Up and Go (TUG) testi; bireyin sandalyeden kalkması, üç metre yürümesi, geri dönmesi ve tekrar oturması için geçen sürenin ölçülmesine dayanan, mobilite ve fonksiyonel performansı değerlendiren basit ve güvenilir bir testtir. Test ilk olarak yaşlı bireylerde fonksiyonel mobilitenin değerlendirilmesi amacıyla tanımlanmış olup, düşme riskinin öngörülmesinde klinik olarak anlamlı bulunmuştur. Podsiadlo ve Richardson tarafından tanımlanan TUG testinin yüksek test-tekrar test güvenilirliğine sahip olduğu bildirilmiştir [5,6]. Son yıllarda TUG testinin kronik akciğer hastalarında da kullanılabilirliği araştırılmaktadır. KOAH hastalarında TUG süresinin egzersiz kapasitesi, kas gücü ve sağlıkla ilişkili yaşam kalitesi ile ilişkili olduğu; ayrıca düşme riski belirleyicisi olabileceği gösterilmiştir. KOAH hastalarında TUG performansının mortalite ve hastaneye yatış ile ilişkili olabileceğini bildirmiştir [7]. Bununla birlikte literatürde çalışmaların çoğunlukla KOAH ve COVID-19 sonrası hasta gruplarında yoğunlaştığı; interstisyel akciğer hastalıkları ve pulmoner hipertansiyon gibi diğer kronik pulmoner patolojilerde kullanımına ilişkin verilerin sınırlı olduğu görülmektedir.

Bu bağlamda, TUG testinin kronik akciğer hastalıklarındaki klinik rolünün, fonksiyonel değerlendirme ve prognostik belirteç olarak potansiyelinin sistematik biçimde ele alınması gereklidir. Bu derlemenin amacı, kronik pulmoner hastalıklarda TUG testinin fonksiyonel değerlendirmedeki yerini, klinik kullanım alanlarını ve mevcut literatür ışığında izlem ile prognozdaki rolünü değerlendirmektir.

2. METOD

PubMed, TRDizin ve Cochrane Library veri tabanlarında “lung disease” ve “Timed Up and Go” anahtar kelimeleri kullanılarak literatür taraması yapılmıştır. Arama, son beş yıl içerisinde yayımlanan, İngilizce dilinde randomize kontrollü çalışmalarla sınırlandırılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Tarama sonucunda TRDizin’de 8, PubMed’de 22 ve Cochrane Library’de 8 çalışma belirlenmiş; tekrarlayan çalışmaların elenmesiyle toplam 18 çalışma değerlendirmeye alınmıştır. Tam metin incelemesi sonrası dahil edilme kriterlerini karşılayan 3 çalışma analize dahil edilmiştir. Bu çalışmaların tamamı randomize kontrollü prospektif tasarıma sahip olup, biri KOAH, ikisi ise COVID-19 sonrası dönem hastalarını kapsamaktadır [8-10].

COVID-19 pandemisi sırasında yürütülen randomize kontrollü bir çalışmada, 16 haftalık su içi egzersiz programının genel örnekleme TUG süresinde gruplar arası anlamlı üstünlük sağlamadığı; ancak müdahaleye en az %50 uyum gösteren katılımcılarda TUG sırasında atılan adım sayısında anlamlı azalma sağladığı bildirilmiştir. Bu bulgu, su içi egzersizin özellikle mobilitenin mekânsal bileşenlerini ve yürüme verimliliğini iyileştirebileceğini düşündürmektedir. Dolayısıyla TUG’un yalnızca süre parametresi üzerinden değil, adım sayısı ve dual-task bileşenleriyle birlikte değerlendirilmesi, müdahale etkilerini daha duyarlı biçimde ortaya koyabilir [8]. Pulmoner rehabilitasyon bağlamında yapılan çalışmalarda ise kırılma tanımı PRISMA-7 ile birlikte TUG kullanılmış; kırılma bireylerin rehabilitasyon süresince daha yüksek fonksiyonel kazanım potansiyeline sahip olduğu, ancak rehabilitasyon sonrasında fonksiyonel gerilemenin daha belirgin seyrettiği gösterilmiştir [9]. Bu bulgular, TUG’un hem kırılma taramasında hem de rehabilitasyon yanıtının izlenmesinde çift yönlü klinik değer taşıdığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte yalnızca süre parametresine odaklanmanın müdahale etkilerini yeterince yansıtmayabileceği anlaşılmaktadır.

Kardiyovasküler ve respiratuvar parametrelerle birlikte fonksiyonel performansın incelendiği çalışmalarda ise TUG’un fonksiyonel kapasiteyi yansıtan duyarlı bir belirteç olduğu ve fiziksel uygunluk düzeyi ile ilişkili değişkenlerle anlamlı korelasyon gösterdiği bildirilmiştir [10]. Bu durum, TUG’un yalnızca mobilitiyi değil, aynı

zamanda sistemik fizyolojik durumu da dolaylı olarak yansıtılabileceğini düşündürmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Genel olarak değerlendirildiğinde, TUG testinin çok boyutlu analiz edildiğinde (süre, adım sayısı, dual-task varyasyonları) rehabilitasyon müdahalelerinin etkilerini daha hassas biçimde ortaya koyduğu; kırılabilirlik taraması, fonksiyonel kapasite değerlendirmesi ve rehabilitasyon yanıtının izlenmesinde klinik açıdan anlamlı bir araç olduğu görülmektedir. Ancak tek başına süre parametresine dayalı değerlendirmeler müdahale etkilerinin tamamını yansıtmakta yetersiz kalabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Patel, N. An update on COPD prevention, diagnosis, and management: The 2024 GOLD Report, *Nurse Practitioner*, 49(6), 2024.
- [2] Maltais, F., Decramer, M., Casaburi, R., et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: update on limb muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 189(9), 2014.
- [3] Maddocks, M., Kon, S.S., Canavan, J.L., et al. Physical frailty and pulmonary rehabilitation in COPD: a prospective cohort study, *Thorax*, 71(11), 2016.
- [4] ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 166(1), 2002.
- [5] Podsiadlo, D., Richardson, S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons, *Journal of the American Geriatrics Society*, 39(2), 1991.
- [6] Shumway-Cook, A., Brauer, S., Woollacott, M. Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test, *Physical Therapy*, 80(9), 2000.
- [7] Liwsrisakun, C., Pothirat, C., Chaiwong, W., Techatawepisarn, T., Limsukon, A., Bumroongkit, C., Deesomchok, A., Theerakittikul, T., Tajareernmuang, P. Diagnostic ability of the Timed Up & Go test for balance impairment prediction in chronic obstructive pulmonary disease, *Journal of Thoracic Disease*, 12(5), 2020.

- [8] Ferreira, D.L., Christofolletti, G., Campos, D.M., Janducci, A.L., Candanedo, M.J.B.L., Ansai, J.H. Effects of Aquatic Physical Exercise on Motor Risk Factors for Falls in Older People During the COVID-19 Pandemic: A Randomized Controlled Trial, *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 45(5), 2022.
- [9] Finamore, P., Scarlata, S., Delussu, A.S., Trallesi, M., Incalzi, R.A., Laudisio, A. Frailty Impact during and after Pulmonary Rehabilitation, *COPD*, 18(5), 2021.
- [10] Teixeira, D.O.A.V., Viana, A.A., Heubel, A.D., et al. Cardiovascular, Respiratory, and Functional Effects of Home-Based Exercise Training after COVID-19 Hospitalization, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 54(11), 2022.

TELEREHABİLİTASYONUN ÇEVRESEL ETKİLERİ: KARBON AYAK İZİ AÇISINDAN BİR DEĞERLENDİRME

Doktora Öğrencisi, Zeynep Betül ÖZCAN

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, zbetulozcan@gmail.com- ORCID: 0000-0003-1788-7755

ÖZET

Telerehabilitasyon, kronik hastalığı olan bireylerde egzersiz kapasitesi, kas kuvveti ve yaşam kalitesi açısından merkez temelli rehabilitasyonla benzer klinik sonuçlar sağlamaktadır; buna karşın programa katılım ve tamamlama oranları telerehabilitasyonda daha yüksektir. Mevcut veriler telerehabilitasyonun güvenli bir uygulama olduğunu göstermekte, ancak çalışmaların büyük ölçüde belirli hastalıklara odaklanması, kullanılan telerehabilitasyon modellerinin heterojen olması ve uzun dönem sonuçlara ilişkin verilerin sınırlı kalması nedeniyle kanıt düzeyi genel olarak düşük–orta olarak değerlendirilmektedir. Buna rağmen telerehabilitasyon, özellikle erişim engellerinin bulunduğu durumlarda, rehabilitasyonun uygulanabilir ve etkili bir alternatif sunum modeli olarak öne çıkmaktadır. Tele-tıp uygulamaları, sağlık hizmetlerinde ulaşımın azalması yoluyla karbon ayak izini belirgin biçimde düşürmektedir. Kişi başına karbon tasarrufu 0,70–372 kg CO₂e/başvuru arasında değişmekte olup; mesafe, coğrafya ve hizmet türüne bağlıdır. Bu derlemenin amacı, kronik hastalığı olan bireylerde telerehabilitasyonun karbon ayak izi üzerindeki potansiyel etkilerini güncel literatür ışığında değerlendirmektir. Bu kapsamda PubMed, TRDizin ve Cochrane Library veri tabanlarında “telerehabilitation” ve “carbon footprint” anahtar kelimeleri kullanılarak literatür taraması yapılmıştır. Arama, son beş yıl içerisinde yayımlanan ve İngilizce dilinde olan çalışmalarla sınırlandırılmıştır. Tarama sonucunda TRDizin’de 0, PubMed’de 1 ve Cochrane Library’de 0 çalışma belirlenmiş olup, belirlenen tek çalışma inme hastalarına yöneliktir. Zamanında rehabilitasyon ve öz-yönetim yaklaşımları, inme sonrası fonksiyonelliği artırırken sağlık hizmeti kullanımını azaltır. Telerehabilitasyon ise ulaşımı azaltarak karbon ayak izini düşürürken sağlık hizmetlerine erişimi artırır. İkincil korunma ve yaşam tarzı müdahaleleri ise düşük karbonlu yaklaşımlar olarak inme nüksünü ve bakım ihtiyacını azaltır. Sonuç olarak, rehabilitasyona yapılan akılcı yatırımlar hem toplam sağlık tüketimini hem de karbon yoğunluğunu azaltarak insan ve gezegen sağlığına birlikte katkı sağlar.

Anahtar Kelimeler : Karbon ayak izi, telerehabilitasyon, kronik bakım

1. GİRİŞ

Kronik hastalıklar dünya genelinde morbidite ve mortalitenin başlıca nedenleri arasında yer almakta olup, bu hastalıkların yönetiminde rehabilitasyon programları temel bir tedavi bileşenini oluşturmaktadır. Özellikle kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), interstisyel akciğer hastalıkları, kalp yetmezliği ve kas-iskelet sistemi hastalıkları gibi uzun süreli izlem gerektiren durumlarda egzersiz temelli rehabilitasyon; egzersiz kapasitesinin artırılması, kas kuvvetinin iyileştirilmesi ve sağlıklı ilişkili yaşam kalitesinin yükseltilmesi açısından güçlü kanıtlara sahiptir. Bununla birlikte rehabilitasyon programlarına erişimde coğrafi uzaklık, ulaşım güçlüğü, ekonomik kısıtlılıklar ve zaman engelleri gibi faktörler, özellikle kronik hastalığı olan bireylerde programlara katılım ve tamamlanma oranlarını sınırlamaktadır.

Telerehabilitasyon, rehabilitasyon hizmetlerinin dijital iletişim teknolojileri aracılığıyla uzaktan sunulmasını ifade eden yenilikçi bir hizmet modeli olarak bu erişim engellerine çözüm sunmaktadır. Pulmoner rehabilitasyon alanında yapılan sistematik derlemeler ve randomize kontrollü çalışmalar, telerehabilitasyonun egzersiz kapasitesi, dispne düzeyi ve yaşam kalitesi parametreleri açısından merkez temelli rehabilitasyon ile karşılaştırılabilir klinik sonuçlar sağladığını göstermektedir [1,2]. Farklı kronik hastalık gruplarını içeren meta-analizler, gerçek zamanlı telerehabilitasyon uygulamalarının konvansiyonel rehabilitasyon ile benzer etkinliğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca telerehabilitasyon programlarında hasta memnuniyeti ve program tamamlama oranlarının genellikle daha yüksek olduğu bildirilmektedir [3].

Telerehabilitasyonun önemi yalnızca klinik sonuçlarla sınırlı değildir. Sağlık sektörü küresel karbon emisyonlarının yaklaşık %4–5'inden sorumludur ve hasta ile sağlık çalışanı ulaşımı bu emisyonların önemli bir bileşenini oluşturmaktadır [4]. Tele-tıp uygulamalarının ulaşım ihtiyacını azaltarak karbon ayak izini anlamlı ölçüde düşürdüğü gösterilmiştir. Literatürde kişi başına karbon tasarrufu 0,70 ile 372 kg CO₂e/başvuru arasında değişmekte olup; bu farklılık seyahat mesafesi, ulaşım türü, coğrafi yapı ve hizmet modeline bağlı olarak değişmektedir [5]. Yaşam döngüsü analizi temelli değerlendirmeler, sağlık hizmet sunum modellerinin çevresel etkilerinin bütüncül biçimde ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır [6]. Telerehabilitasyon programlarının genellikle haftada birden fazla seans içeren ve haftalar süren yapısı dikkate alındığında, toplam seyahat azaltımı üzerinden hesaplanan karbon tasarrufu klasik tele-konsültasyon modellerine kıyasla daha yüksek olabilir.

Bu bağlamda telerehabilitasyon, kronik hastalığı olan bireylerde klinik açıdan etkin ve güvenli bir alternatif hizmet sunum modeli olmasının yanı sıra, sağlık sistemlerinin çevresel

sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlayabilecek potansiyel bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Ancak klinik ve çevresel çıktıları birlikte değerlendiren, standartlaştırılmış metodolojiye sahip, uzun dönemli ve büyük ölçekli çalışmalara ihtiyaç devam etmektedir.

2. METOD

PubMed, TRDizin ve Cochrane Library veri tabanlarında “telerehabilitation” ve “carbon footprint” anahtar kelimeleri kullanılarak literatür taraması yapılmıştır. Arama, son beş yıl içerisinde yayımlanan ve İngilizce dilinde olan çalışmalarla sınırlandırılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Tarama sonucunda TRDizin’de 0, PubMed’de 1 ve Cochrane Library’de 0 çalışma belirlenmiş olup, belirlenen tek çalışma inme hastalarına yöneliktir. Persson ve ark. (2025), multidisipliner inme ekibi rehabilitasyonunu sürdürülebilir sağlık hizmeti perspektifinden ele alan kavramsal bir değerlendirme sunmaktadır. Yazarlar, sağlık sektörünün küresel karbon emisyonlarının yaklaşık %5’inden sorumlu olduğunu ve iklim değişikliğinin inme için önemli bir risk faktörü haline geldiğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda rehabilitasyonun yalnızca klinik sonuçlar açısından değil, aynı zamanda çevresel ve sistem düzeyinde sürdürülebilirlik açısından da değerlendirilmesi gerektiği savunulmaktadır [7].

Makale, sürdürülebilir sağlık hizmetinin beş temel ilkesi (önleme, hasta güçlendirme, yalın bakım yolları, düşük karbon alternatifler ve operasyonel kaynak verimliliği) çerçevesinde multidisipliner inme rehabilitasyonunun rolünü tartışmaktadır. Erken destekli taburculuk, uygun dozda ve zamanında müdahale, hasta öz-yeterliliğini artıran yaklaşımlar, telerehabilitasyon uygulamaları ve ikincil korunma stratejileri sürdürülebilir sağlık sistemine katkı sağlayan temel mekanizmalar olarak tanımlanmaktadır. Özellikle telerehabilitasyonun ulaşımı azaltarak karbon emisyonlarını düşürebileceği ve erişilebilirliği artırabileceği belirtilmektedir.

Çalışma, rehabilitasyonun karbon ayak izinin görece düşük olmasına karşın uzun vadede fonksiyonelliği optimize ederek sağlık hizmeti tüketimini azalttığını ve bu nedenle sürdürülebilir sağlık sistemlerinde merkezi bir rol üstlenmesi gerektiğini savunmaktadır. Bununla birlikte, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları birlikte değerlendiren ampirik çalışmaların sınırlı olduğu ve gelecekte sürdürülebilirlik temelli rehabilitasyon araştırmalarına ihtiyaç bulunduğu vurgulanmaktadır

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Mevcut literatür, telerehabilitasyonun klinik etkinliğini desteklemekle birlikte, karbon ayak izi üzerindeki etkisini nicel olarak değerlendiren çalışmaların sınırlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle çevresel sürdürülebilirlik açısından elde edilen çıkarımlar dikkatli yorumlanmalıdır. Gelecekte, standartlaştırılmış metodoloji ve yaşam döngüsü analizi temelli tasarlanmış prospektif çalışmalar, telerehabilitasyonun çevresel ve klinik etkilerini bütüncül biçimde ortaya koymak açısından gereklidir.

KAYNAKÇA

- [1] Cox NS, McDonald CF, Alison JA, et al. Telerehabilitation versus traditional centre-based pulmonary rehabilitation for people with chronic respiratory disease: protocol for a randomised controlled trial. *BMC Pulmonary Medicine*, 18(1), 71, 2018.
- [2] Bourne S, DeVos R, North M, et al. Online versus face-to-face pulmonary rehabilitation for patients with chronic obstructive pulmonary disease: randomised controlled trial. *BMJ Open*, 7(7), e014580, 2017.
- [3] Cottrell MA, Galea OA, O'Leary SP, Hill AJ, Russell TG. Real-time telerehabilitation for the treatment of musculoskeletal conditions is effective and comparable to standard practice: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation*, 31(5), 625–638, 2017.
- [4] Dullet NW, Geraghty EM, Kaufman T, et al. Impact of a University-Based Outpatient Telemedicine Program on Time Savings, Travel Costs, and Environmental Pollutants. *Value in Health*, 20(4), 542–546, 2017.
- [5] Tennison I, Roschnik S, Ashby B, et al. Health care's response to climate change: a carbon footprint assessment of the NHS in England. *The Lancet Planetary Health*, 5(2), e84–e92, 2021.
- [6] Holmner A, Ebi KL, Lazuardi L, Nilsson M. Carbon footprint of telemedicine solutions unexplored opportunity for reducing carbon emissions in the health sector. *PLoS One*, 9(9), e105040, 2014.
- [7] Persson HC, Reinholdsson M, Lange E, Barna S, Palstam A. Advancing sustainable healthcare through multidisciplinary stroke team rehabilitation. *Frontiers in Stroke*, 3, 1509831, 2025.

YENİDOĞAN YOĞUN BAKIM ÜNİTELERİNDE AĞRILI İŞLEMLER SIRASINDA KANGURU BAKIMININ ANALJEZİK ETKİSİ

Uzman Hemşire, Dilek Muslu

Gaziantep Üniversitesi/Şahinbey Araştırma ve Uygulama Hastanesi
muslu.dilek67@gmail.com- 0000-0002-2875-3413

Dr. Öğr. Üyesi, Alev Sivash

Nişantaşı Üniversitesi/ Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü
aesivasli@gmail.com-0000-0002-0747-2698

ÖZET

Yenidoğan Yoğun Bakım Ünitelerinde (YYBÜ) izlenen preterm ve term bebekler, tanı ve tedavi süreçleri boyunca topuk kanı alma, damar yolu açma, intramüsküler enjeksiyon ve retinopati taraması gibi çok sayıda ağrılı işleme maruz kalmaktadır. Tekrarlayan ve yeterince yönetilmeyen ağrı; kardiyorespiratuvar instabilite, artmış stres yanıtı ve uzun dönemde nörogelişimsel etkilenme ile ilişkilendirilmektedir. Bu nedenle yenidoğan ağrısının etkili ve güvenli yöntemlerle yönetilmesi kritik öneme sahiptir. Bu derlemenin amacı, YYBÜ’de ağrılı işlemler sırasında Kanguru Bakımı’nın analjezik etkisine ilişkin güncel kanıtları incelemektir. Literatürde yer alan randomize kontrollü çalışmalar, sistematik derlemeler ve meta-analizler doğrultusunda Kanguru Bakımı’nın özellikle topuk delme ve enjeksiyon gibi akut prosedürel ağrı durumlarında ağrı skorlarını anlamlı düzeyde azalttığı; kalp atım hızında daha stabil seyir, oksijen saturasyonunda daha az düşüş ve ağlama süresinde kısalma sağladığı bildirilmiştir. Analjezik etkinin; dokusal uyaranların nosiseptif iletimi baskılaması, parasempatik aktivasyonun artması ve oksitosin salınımı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte uygulamanın başlatılma zamanı, süresi ve yenidoğanın gestasyon yaşı gibi değişkenler etki büyüklüğünü etkileyebilmektedir. Kanguru Bakımı; güvenli, maliyetsiz ve uygulanabilir bir non-farmakolojik girişim olup aile merkezli bakım yaklaşımını da desteklemektedir. YYBÜ bakım protokollerine sistematik biçimde entegre edilmesi, yenidoğanlarda ağrı yönetiminin güçlendirilmesine katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yenidoğan, Kanguru Bakımı, Ağrı Yönetimi, Non-farmakolojik Analjezi

1.GİRİŞ

Yenidoğan Yoğun Bakım Üniteleri (YYBÜ), yaşamı tehdit eden riskler taşıyan yenidoğanlara ileri teknolojik destek sağlayarak sağkalımı artıran kritik bakım ortamlarıdır(1). Ancak bu üniteler aynı zamanda çok sayıda ağrılı ve stresli girişimin rutin olarak uygulandığı klinik alanlar olup, yenidoğanlar tanı ve tedavi süreçleri boyunca tekrarlayan nosiseptif uyarılara maruz kalmaktadır(2). Epidemiyolojik çalışmalar, YYBÜ’de izlenen bir yenidoğanın günde ortalama 10–18 kez ağrılı işleme maruz kalabildiğini; topuk kanı alma, aspirasyon, damar yolu açma ve entübasyon gibi işlemlerin sıklıkla tekrarlandığını göstermektedir (2, 3).Bu girişimler akut dönemde kalp atım hızında artış, oksijen saturasyonunda düşüş ve belirgin davranışsal stres yanıtları gibi fizyolojik ve davranışsal değişikliklere yol açabilmektedir(4).

Geçmişte yenidoğanların ağrıyı sınırlı algıladığı yönündeki görüşlerin aksine, güncel nörofizyolojik kanıtlar yenidoğanların ağrıyı algılayabildiğini ve gelişimsel özellikleri nedeniyle ağrılı uyarılara daha yaygın ve yoğun yanıt verebildiğini ortaya koymaktadır(5, 6) . Özellikle tekrarlayan ve yeterince yönetilmeyen ağrı; kısa dönemde kardiyorespiratuvar instabilite, metabolik dengesizlik ve intrakraniyal basınç artışı gibi komplikasyonlara neden olabilirken, uzun dönemde nörogelişimsel etkilenme ve ağrı duyarlılığında kalıcı değişikliklerle ilişkilidir (7-9).Bu nedenle YYBÜ’de ağrının sistematik olarak değerlendirilmesi ve etkili biçimde yönetilmesi yenidoğan bakımının temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir.

Yenidoğan ağrı yönetiminde farmakolojik tedaviler belirli klinik durumlarda gerekli olmakla birlikte, solunum depresyonu ve hipotansiyon gibi potansiyel yan etkiler ile her girişimde rutin uygulanabilir olmamaları nedeniyle farmakolojik olmayan yöntemler giderek daha fazla önem kazanmıştır(10).Emzik verme, sükroz/glikoz uygulaması, kundaklama ve çevresel düzenlemeler gibi girişimlerin yanı sıra, anne-bebek etkileşimini güçlendiren uygulamalar ağrı kontrolünde önemli katkılar sağlamaktadır (11).Bu bağlamda bebeğin anne ile doğrudan ten tene temas halinde tutulduğu Kanguru Bakımı (KB), hem fizyolojik stabilizasyonu desteklemesi hem de analjezik etki göstermesi nedeniyle uygulanabilirliği yüksek ve kanıta dayalı bir yöntem olarak öne çıkmaktadır(12, 13) .

Kanguru Bakımı ilk olarak 1978 yılında Kolombiya’da düşük doğum ağırlıklı bebeklerde ısı kaybını azaltmak ve bakım sürekliliğini sağlamak amacıyla geliştirilmiş, zamanla yalnızca termoregülasyon değil kardiyorespiratuvar stabilite, davranışsal düzenleme ve ağrı kontrolü gibi çok boyutlu yararları nedeniyle yaygınlaşmıştır(14). KB’nin analjezik etkisinin; kapı kontrol teorisi kapsamında dokunsal uyarıların nosiseptif iletimi baskılanması ve ten tene temas sırasında oksitosin gibi nörohormonal yanıtların yatıştırıcı etkisi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir(15). Nitekim ağrılı işlemler sırasında KB uygulanan yenidoğanlarda kalp atım hızınının daha stabil seyrettiği, ağlama süresinin kısaldığı ve Prematüre Bebek Ağrı Profili (PIPP) gibi ölçeklerle değerlendirilen ağrı skorlarının azaldığı bildirilmektedir(16, 17) .

Türkiye’de ve dünyada yapılan çalışmalar, topuk kanı alma ve benzeri invaziv girişimler sırasında anne ile ten tene temas halinde bulunan yenidoğanların kuvözde ya da standart bakım alan bebeklere kıyasla daha az ağrı belirtisi gösterdiğini ortaya koymaktadır (18, 19). Bununla birlikte, KB’nin klinik uygulamada ağrı yönetiminin rutin bir parçası haline gelmesinin istenen düzeye ulaşmadığı; iş yükü, fiziksel koşullar, sağlık profesyonellerinin tutumları ve bilgi/farkındalık düzeyi gibi faktörlerin uygulamayı etkileyebildiği bildirilmektedir (20). Bu durum, kanıta dayalı uygulamaların yaygınlaştırılması ve aile merkezli bakım yaklaşımının güçlendirilmesi açısından KB’nin rolünün yeniden ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

Bu derlemede, YYBÜ’de sık uygulanan ağırlı işlemler sırasında Kanguru Bakımı’nın analjezik etkinliğine ilişkin kanıtların sistematik olarak incelenmesi; elde edilen bulguların destekleyici bakım uygulamaları çerçevesinde değerlendirilmesi ve klinik uygulamada standardizasyon ile yaygınlaştırmaya yönelik kanıta dayalı önerilerin ortaya konulması amaçlanmaktadır.

2.YENİDOĞANDA AĞRI ALGISI VE FİZYOLOJİK TEMELLERİ

Yenidoğanların ağrı algısının anlaşılması, Kanguru Bakımı gibi girişimlerin önemini kavramada temel bir dayanak oluşturmaktadır. Nöroanatomik veriler, fetüste nosiseptörlerin gebeliğin ikinci trimesterinde geliştiğini ve talamokortikal bağlantıların yaklaşık 23–24. haftalarda işlevsel organizasyon kazandığını göstermektedir(21). Nosiseptif iletim yolları fetal dönemde erken gelişmekle birlikte, inen inhibitör sistemler yenidoğan döneminde henüz tam olgunlaşmamıştır. Bu nörofizyolojik dengesizlik, özellikle prematüre bebeklerde ağırlı uyaranlara karşı artmış duyarlılığa ve daha düşük ağrı eşliğine yol açabilmektedir (22).

Ağırlı bir uyaran verildiğinde, yenidoğanın vücudunda kortizol ve katekolamin salınımı artar; bu durum metabolizmanın hızlanmasına, enerji depolarının tükenmesine ve immün sistemin baskılanmasına yol açabilir (23). Bu nedenle, farmakolojik olmayan yöntemlerle bu stres yanıtının azaltılması, bebeğin nörolojik gelişimi için hayati öneme sahiptir(24).

2.1.Kanguru Bakımının Analjezik Etki Mekanizması

Kanguru Bakımının (KB) analjezik etkisi, birbiriyle ilişkili nörofizyolojik ve davranışsal süreçlerin bütüncül etkileşimine dayanmakta olup, bu mekanizmanın kuramsal temelini Melzack ve Wall tarafından tanımlanan Kapı Kontrol Teorisi oluşturmaktadır(25, 26). Buna göre, ten tene temas sırasında aktive olan geniş çaplı dokunma lifleri (A-beta lifleri), ağrı uyaranlarını ileten ince çaplı A-delta ve C liflerinin omurilik arka boynuzundaki iletimini baskılayarak nosiseptif impulsların santral sinir sistemine aktarımını azaltır. Böylece ebeveynin dokunsal uyarını, ağrı sinyallerinin beyne ulaşmasını sınırlayan inhibitör bir “kapı” işlevi görür(25).

Kanguru Bakımı sırasında sağlanan çoklu duyuşal uyarm (ebeveynin kalp atımı, kokusu ve vücut ısısı), ağrı uyaranlarıyla rekabet ederek ağrı algısını azaltır(27). Bu süreçte yavaş ve nazik dokunuşa duyarlı C-afferent lifler uyarılır, otonom sinir sistemi parasempatik yönde aktive olur ve böylece kalp hızı stabilizasyonu ile davranışsal sakinleşme sağlanır(28).

Ayrıca kanguru bakımı hem bebekte hem de bakım verende oksitosin salınımını artırır. Oksitosin parasempatik aktivasyonu güçlendirerek stres yanıtını baskılar, kortizol düzeylerini azaltır ve endojen opioid sistemini aktive eder(29). Buna bağlı olarak β -endorfin salınımı artar ve doğal analjezik etki ortaya çıkar. Sonuç olarak KB, dokusal inhibisyon, multisensoryel düzenleme ve nörohormonal yanıtların eş zamanlı etkisiyle yenidoğanda ağrı algısını azaltan bütüncül bir analjezi mekanizması sağlar(16, 27).

3.LİTERATÜRDE KANGURU BAKIMININ AĞRILI İŞLEMLERDEKİ ETKİSİ

Kanguru Bakımı, yenidoğanlarda ağrılı işlemler sırasında uygulanan en yaygın ve uygulanabilir farmakolojik olmayan girişimlerden biridir. Güncel sistematik derleme ve meta-analizler, KB'nin özellikle akut prosedürel ağrı durumlarında (örneğin topuk delme, kan alma) ağrı skorlarını ve davranışsal distressi anlamlı düzeyde azaltabildiğini göstermektedir (27, 30). Ayrıca bazı çalışmalarda, KB'nin fizyolojik parametreler üzerinde de olumlu etkiler sağlayarak kalp atım hızında daha stabil bir seyir oluşturabildiği bildirilmiştir.

Bununla birlikte literatürde bildirilen etki büyüklüğü; uygulamanın başlatılma zamanı (işlem öncesinde başlatılması ve işlem boyunca sürdürülmesi), yenidoğanın gestasyon yaşı, kullanılan ağrı değerlendirme araçları ve eşlik eden nonfarmakolojik uygulamalar (sukroz, sarmalama, emzik vb.) gibi değişkenlere bağlı olarak heterojenlik göstermektedir (27).

Topuk kanı alma, Yenidoğan Yoğun Bakım Ünitelerinde en sık uygulanan ve tekrarlayan ağrılı işlemlerden biridir(31). Metabolik tarama ve kan örnekleme amacıyla rutin olarak yapılan bu girişim, özellikle prematüre bebeklerde belirgin fizyolojik ve davranışsal ağrı yanıtına yol açabilmektedir(32). Bu nedenle topuk delme işlemi, non-farmakolojik analjezi yöntemlerinin etkinliğini değerlendirmede yaygın olarak kullanılan önemli bir klinik modeldir(33, 34).

Randomize kontrollü ve çapraz desenli çalışmalar, Kanguru Bakımı'nın topuk delme sırasında ağrı şiddetini azalttığını; Prematüre Bebek Ağrı Profili (PIPP) gibi kompozit ölçeklerde daha düşük ağrı skorları ile birlikte kalp atım hızında daha hızlı normalleşme, oksijen saturasyonunda daha az düşüş ve ağlama süresinde kısalma gibi fizyolojik ve davranışsal toparlanma göstergelerinde iyileşme sağladığını göstermektedir(35, 36). Benzer şekilde, Türkiye'de yapılan çalışmalarda da KB'nin topuk kanı alma sırasında ağlama süresini azalttığı rapor edilmiştir (37). Sadece topuk kanı değil, intramusküler enjeksiyonlar sırasında da KB'nin etkisi kanıtlanmıştır. Cochrane kütüphanesinde yayınlanan geniş kapsamlı bir sistematik derlemede, aşı uygulamaları sırasında annesiyle ten tene temas halinde olan bebeklerin, standart bakım alanlara göre kalp atım hızlarının daha stabil olduğu ve yüz ifadelerinde daha az ağrı belirtisi gösterdikleri belirlenmiştir(38).

İntramusküler enjeksiyon ve aşı uygulamaları, yenidoğan ve bebeklik döneminde sık karşılaşılan ağrılı girişimler olup, güncel sistematik derleme ve meta-analizler emzirme, sukroz/glikoz uygulaması, masaj ve Kanguru Bakımı gibi farmakolojik olmayan yöntemlerin ağrı şiddetini azaltmada anlamlı düzeyde etkili olduğunu göstermektedir(39).

Retinopati taraması (ROP muayenesi), preterm bebeklerde belirgin ağrı ve stres yanıtına yol açabilen invaziv bir değerlendirme sürecidir(40). Güncel randomize kontrollü çalışmalar, ROP muayenesi sırasında anne veya baba tarafından uygulanan Kanguru Bakımı'nın (KB), standart bakıma kıyasla işlem sırasındaki ağrı skorlarını anlamlı düzeyde azalttığını ve işlem sonrası dönemde kortizol gibi stresle ilişkili biyobelirteçlerin daha düşük düzeylerde seyrettiğini göstermektedir (41).

Son yıllarda yapılan araştırmalar, oldukça ağrılı ve stresli bir işlem olan ROP muayenesinde KB'nin tek başına tam analjezi sağlamayabileceğini; ancak toparlanma süresini kısaltarak işlem sonrası sakinleşmeyi hızlandırdığını ortaya koymaktadır(42). Bu bulgular doğrultusunda KB, ROP gibi yüksek stres oluşturan işlemlerde tek başına yeterli olmayabilmekle birlikte, multimodal ağrı yönetimi stratejilerine katkı sağlayan ve fizyolojik toparlanmayı destekleyen önemli bir tamamlayıcı yaklaşım olarak değerlendirilmektedir(41).

4.HEMŞİRELİK YAKLAŞIMI VE ÖNERİLER

Yenidoğan Yoğun Bakım Ünitelerinde hemşireler, bebeğin ağrısını değerlendirme ve yönetmeden sorumlu birincil sağlık profesyonelleridir(43). Kanguru Bakımı'nın etkinliği kanıta dayalı olarak gösterilmiş olmakla birlikte, klinik uygulamada çeşitli engellerle karşılaşabilmektedir(44). İş yükü ve zaman kısıtlılığı, ebeveynlerin üniteye kabulündeki sınırlamalar ile entübasyon gibi bebeğin medikal durumuna bağlı instabilite, KB uygulamasını güçleştiren başlıca faktörler arasında yer almaktadır(45).

Ancak, ağrısız bir bakım her yenidoğanın hakkıdır. Bu bağlamda hemşirelerin;

1. Ağrılı işlem öncesinde ebeveynleri sürece dahil etmesi(46-48),
2. Mümkünse işlemi anne ziyareti saatlerine denk getirerek KB eşliğinde uygulaması,
3. KB'nin uygulanmadığı durumlarda dahi ebeveyn dokunuşu veya anne sütü kokusu gibi alternatif duyuusal uyaranları kullanması önerilmektedir(47).

5.SONUÇ

Yenidoğan yoğun bakım ünitelerinde uygulanan invaziv ve tekrarlayan girişimler, yenidoğanların yalnızca akut fizyolojik stabilitesini değil, aynı zamanda uzun dönem nörogelişimsel süreçlerini de etkileyebilen önemli bir stres ve ağrı kaynağı oluşturmaktadır. Güncel literatür, yeterince yönetilemeyen ağrının kardiyorespiratuvar instabilite, enerji tüketiminde artış ve davranışsal düzensizlikler gibi kısa dönem sonuçların yanı sıra, ağrı duyarlılığında değişim ve nörogelişimsel etkilenme gibi uzun dönem sonuçlarla ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu nedenle YYBÜ'de ağrının önlenmesi ve yönetimi yalnızca konfor sağlayıcı bir yaklaşım değil, nöroprotektif bakımın temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Bu derlemede incelenen çalışmalar doğrultusunda Kanguru Bakımı'nın, yenidoğan ağrı yönetiminde etkili, güvenli ve uygulanabilir bir non-farmakolojik yöntem olduğu görülmektedir. Ten tene temasın sağladığı dokunsal inhibisyon, multisensoryel düzenleme ve

nörohormonal yanıtlar sayesinde ağrı skorlarının azalması, fizyolojik parametrelerin stabil seyretmesi ve davranışsal sakinleşmenin artması tutarlı biçimde rapor edilmiştir. Farmakolojik yöntemlerle karşılaştırıldığında solunum depresyonu ve hipotansiyon gibi advers etkiler oluşturmaması, ek maliyet gerektirmemesi ve uygulama için ileri teknolojiye ihtiyaç duyulmaması, Kanguru Bakımı'nı özellikle sık tekrarlanan kısa süreli işlemler sırasında güçlü bir analjezik seçenek haline getirmektedir. Bunun yanı sıra uygulamanın yalnızca ağrı kontrolü sağlamadığı; anne-bebek bağlanmasını güçlendirdiği, ebeveyn katılımını artırdığı ve aile merkezli bakım anlayışını desteklediği de gösterilmiştir.

Bununla birlikte klinik uygulamada Kanguru Bakımı'nın rutin ağrı yönetiminin ayrılmaz bir parçası haline henüz istenen düzeyde entegre edilemediği dikkat çekmektedir. İş yükü, fiziksel ortam koşulları, uygulamaya ilişkin bilgi ve farkındalık düzeyi ile sağlık profesyonellerinin tutumları bu durumun başlıca belirleyicileri arasında yer almaktadır. Bu nedenle YYBÜ bakım protokollerinde Kanguru Bakımı'nın standartlaştırılmış uygulama adımlarıyla tanımlanması, klinik rehberlere dahil edilmesi ve özellikle hemşirelerin eğitim programları aracılığıyla güçlendirilmesi önem taşımaktadır. Hemşirelerin bakımın planlanması, ailelerin bilgilendirilmesi ve uygulamanın sürekliliğinin sağlanmasındaki merkezi rolü, Kanguru Bakımı'nın sürdürülebilirliğinde belirleyici olacaktır.

Sonuç olarak Kanguru Bakımı, yenidoğanda ağrı yönetimine bütüncül yaklaşımı destekleyen, güvenli, maliyetsiz ve etkili bir analjezik girişimdir. YYBÜ'lerde rutin ağrı yönetimi stratejileri içerisine sistematik biçimde entegre edilmesi hem klinik sonuçların iyileştirilmesine hem de aile merkezli bakımın güçlendirilmesine önemli katkı sağlayacaktır. Gelecekte yapılacak yüksek metodolojik kalitede çalışmaların, uygulamanın zamanlaması, süresi ve standart protokollerinin belirlenmesine yönelik kanıtları artırması, klinik uygulamanın yaygınlaştırılması açısından değerli olacaktır.

KAYNAKÇA

- 1.Gupta P, Garg D. A five-year review of in-hospital neonatal mortality: Trends and implications for care. *Annals of the National Academy of Medical Sciences (India)*.61.
- 2.Riley C, Mastropietro C, Darcy-Mahoney A, Pintz C, Zhou QP, Hinds PS. Understanding infant stress in neonatal and pediatric intensive care: a scoping review. *Intensive Care Med Paediatr Neonatal*. 2025;3(1):40.
- 3.Cong X, Wu J, Vittner D, Xu W, Hussain N, Galvin S, et al. The impact of cumulative pain/stress on neurobehavioral development of preterm infants in the NICU. *Early Hum Dev*. 2017;108:9-16.
- 4.Kim SS. Prevention and management of pain in the neonatal intensive care unit. *Clin Exp Pediatr*. 2020;63(1):16-7.
- 5.van den Hoogen NJ, de Kort AR, Allegaert KM, Joosten EA, Simons SHP, Tibboel D, et al. Developmental neurobiology as a guide for pharmacological management of pain in neonates. *Semin Fetal Neonatal Med*. 2019;24(4):101012.

6. Gursul D, Hartley C, Slater R. Nociception and the neonatal brain. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*. 2019;24(4):101016.
7. Ranger M, Chau CM, Garg A, Woodward TS, Beg MF, Bjornson B, et al. Neonatal pain-related stress predicts cortical thickness at age 7 years in children born very preterm. *PLoS One*. 2013;8(10):e76702.
8. Valeri BO, Holsti L, Linhares MB. Neonatal pain and developmental outcomes in children born preterm: a systematic review. *Clin J Pain*. 2015;31(4):355-62.
9. Moore ER, Brimdyr K, Blair A, Jonas W, Lilliesköld S, Svensson K, et al. Immediate or early skin-to-skin contact for mothers and their healthy newborn infants. *Cochrane Database Syst Rev*. 2025;10(10):Cd003519.
10. Lim Y, Godambe S. Prevention and management of procedural pain in the neonate: an update, American Academy of Pediatrics, 2016. *Archives of Disease in Childhood-Education and Practice*. 2017;102(5):254-6.
11. Stevens B, Yamada J, Ohlsson A, Haliburton S, Shorkey A. Sucrose for analgesia in newborn infants undergoing painful procedures. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016;7(7):Cd001069.
12. Campbell-Yeo ML, Disher TC, Benoit BL, Johnston CC. Understanding kangaroo care and its benefits to preterm infants. *Pediatric Health Med Ther*. 2015;6:15-32.
13. Gebuza G, Kaźmierczak M, Leńska K. The effects of kangaroo mother care and music listening on physiological parameters, oxygen saturation, crying, awake state and sleep in infants in NICU. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2022;35(19):3659-69.
14. Conde-Agudelo A, Díaz-Rossello JL. Kangaroo mother care to reduce morbidity and mortality in low birthweight infants. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016;2016(8):Cd002771.
15. Ludington-Hoe SM, Hosseini R, Torowicz DL. Skin-to-skin contact (Kangaroo Care) analgesia for preterm infant heel stick. *AACN Clin Issues*. 2005;16(3):373-87.
16. Wang Y, Zhang L, Dong W, Zhang R. Effects of Kangaroo Mother Care on Repeated Procedural Pain and Cerebral Oxygenation in Preterm Infants. *Am J Perinatol*. 2023;40(8):867-73.
17. Avcin E, Kucukoglu S. The Effect of Breastfeeding, Kangaroo Care, and Facilitated Tucking Positioning in Reducing the Pain During Heel Stick in Neonates. *J Pediatr Nurs*. 2021;61:410-6.
18. Seo YS, Lee J, Ahn HY. Effects of Kangaroo Care on Neonatal Pain in South Korea. *J Trop Pediatr*. 2016;62(3):246-9.
19. Akcan E, Yiğit R, Atici A. The effect of kangaroo care on pain in premature infants during invasive procedures. *Turk J Pediatr*. 2009;51(1):14-8.
20. Lago P, Garetti E, Savant Levet P, Arenga I, Pirelli A, Frigo AC, et al. Current practices in neonatal pain management: a decade after the last Italian survey. *Ital J Pediatr*. 2025;51(1):48.
21. Fitzgerald M. The development of nociceptive circuits. *Nat Rev Neurosci*. 2005;6(7):507-20.
22. Slater R, Cantarella A, Gallella S, Worley A, Boyd S, Meek J, et al. Cortical pain responses in human infants. *J Neurosci*. 2006;26(14):3662-6.
23. Grunau RE. Neonatal pain in very preterm infants: long-term effects on brain, neurodevelopment and pain reactivity. *Rambam Maimonides Med J*. 2013;4(4):e0025.

24. Health WHOR. Kangaroo mother care: a practical guide: World Health Organization; 2003.
25. Melzack R, Wall PD. Pain Mechanisms: A New Theory: A gate control system modulates sensory input from the skin before it evokes pain perception and response. *Science*. 1965;150(3699):971-9.
26. Katz J, Rosenbloom BN. The golden anniversary of Melzack and Wall's gate control theory of pain: Celebrating 50 years of pain research and management. *Pain Res Manag*. 2015;20(6):285-6.
27. Wang F, Zhang Q, Ni ZH, Lv HT. Effects of kangaroo care on pain relief in premature infants during painful procedures: A meta-analysis. *J Spec Pediatr Nurs*. 2022;27(4):e12390.
28. Portnova GV, Proskurnina EV, Sokolova SV, Skorokhodov IV, Varlamov AA. Perceived pleasantness of gentle touch in healthy individuals is related to salivary oxytocin response and EEG markers of arousal. *Exp Brain Res*. 2020;238(10):2257-68.
29. Vittner D, D'Agata A, Choi BY, McGrath J. Release of Oxytocin and Cortisol Is Associated With Neurobehavioral Patterns in Premature Infants. *J Obstet Gynecol Neonatal Nurs*. 2023;52(3):248-56.
30. Teles LA, Arcanjo FPN, Cardoso KM, Justino JS. Impact of skin-to-skin contact on acute procedural pain in newborns: a systematic review and meta-analysis. *J Pediatr (Rio J)*. 2025;101(6):101442.
31. Britto C, S PNR. Assessment of Neonatal Pain During Heel Prick: Lancet vs Needle-A Randomized Controlled Study. *J Trop Pediatr*. 2017;63(5):346-51.
32. Anne RP, Rahiman EA. Analgesic utility of automatic lancing device for heel prick in neonates: a systematic review and meta-analysis. *Pain Manag*. 2024;14(7):375-83.
33. Chidambaram AG, Manjula S, Adhisivam B, Bhat BV. Effect of Kangaroo mother care in reducing pain due to heel prick among preterm neonates: a crossover trial. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2014;27(5):488-90.
34. Harrison D, Reszel J, Bueno M, Sampson M, Shah VS, Taddio A, et al. Breastfeeding for procedural pain in infants beyond the neonatal period. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016;10(10):Cd011248.
35. Johnston CC, Filion F, Campbell-Yeo M, Goulet C, Bell L, McNaughton K, et al. Kangaroo mother care diminishes pain from heel lance in very preterm neonates: a crossover trial. *BMC Pediatr*. 2008;8:13.
36. Johnston CC, Filion F, Campbell-Yeo M, Goulet C, Bell L, McNaughton K, et al. Enhanced kangaroo mother care for heel lance in preterm neonates: a crossover trial. *J Perinatol*. 2009;29(1):51-6.
37. Yiğit D, Sezici E. Effect of Kangaroo Care on Pain in Infants: A Randomized Controlled Trial. *Akdeniz Hemşirelik Dergisi*. 2025;4(1):1-9.
38. Johnston C, Campbell-Yeo M, Disher T, Benoit B, Fernandes A, Streiner D, et al. Skin-to-skin care for procedural pain in neonates. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017;2(2):Cd008435.
39. Halemani K, Vitale E, Shetty A, Thimmappa L, Issac A, Vr V, et al. Nonpharmacological Interventions on Intramuscular Vaccination Pain among Infants: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Control Trials. *J Caring Sci*. 2025;14(3):139-50.

40. Moral-Pumarega MT, Caserío-Carbonero S, De-La-Cruz-Bértolo J, Tejada-Palacios P, Lora-Pablos D, Pallás-Alonso CR. Pain and stress assessment after retinopathy of prematurity screening examination: indirect ophthalmoscopy versus digital retinal imaging. *BMC Pediatr.* 2012;12:132.
41. Huang HB, Xue Y, Liang Y, Wan XQ, Wu J, Zhang QS, et al. Effects of Kangaroo care during retinopathy screening examination: a randomised clinical trial. *BMJ Paediatr Open.* 2026;10(1).
42. Padhi TR, Sareen D, Pradhan L, Jalali S, Sutar S, Das T, et al. Evaluation of retinopathy of prematurity screening in reverse Kangaroo Mother Care: a pilot study. *Eye (Lond).* 2015;29(4):505-8.
43. Cai Q, Zhou Y, Hong M, Chen D, Xu X. Healthcare providers' perceptions and experiences of kangaroo mother care for preterm infants in four neonatal intensive care units in China: a qualitative descriptive study. *Front Public Health.* 2024;12:1419828.
44. Mathias CT, Mianda S, Ohdihambo JN, Hlongwa M, Singo-Chipofya A, Ginindza TG. Facilitating factors and barriers to kangaroo mother care utilisation in low- and middle-income countries: A scoping review. *Afr J Prim Health Care Fam Med.* 2021;13(1):e1-e15.
45. Shi Z, Li X, Hu Y, Yang R, Zeng Z, Hou S. Barriers and facilitators to the implementation of the kangaroo mother care in NICUs of high-income and low- and middle-income countries: a scoping review. *Front Public Health.* 2025;13:1701738.
46. Ullsten A, Andreasson M, Eriksson M. State of the Art in Parent-Delivered Pain-Relieving Interventions in Neonatal Care: A Scoping Review. *Front Pediatr.* 2021;9:651846.
47. Wu HP, Yang L, Lan HY, Peng HF, Chang YC, Jeng MJ, et al. Effects of Combined Use of Mother's Breast Milk, Heartbeat Sounds, and Non-Nutritive Sucking on Preterm Infants' Behavioral Stress During Venipuncture: A Randomized Controlled Trial. *J Nurs Scholarsh.* 2020;52(5):467-75.
48. Peng HF, Yin T, Yang L, Wang C, Chang YC, Jeng MJ, et al. Non-nutritive sucking, oral breast milk, and facilitated tucking relieve preterm infant pain during heel-stick procedures: A prospective, randomized controlled trial. *Int J Nurs Stud.* 2018;77:162-70.

ÇOCUKLARDA KİSTİK FİBROZİS: MULTİDİSİPLİNER BAKIM, AİLE EĞİTİMİ VE DESTEK MODELLERİ

Uzman Hemşire, Dilek Muslu

Gaziantep Üniversitesi/Şahinbey Araştırma ve Uygulama Hastanesi

muslu.dilek67@gmail.com- 0000-0002-2875-3413

Dr. Öğr. Üyesi, Alev Sivash

Nişantaşı Üniversitesi/ Sağlık Bilimleri Fakültesi Hemşirelik Bölümü

aesivasli@gmail.com-0000-0002-0747-2698

ÖZET

Kistik fibrozis (KF), çocukluk çağında görülen, multisistemik tutulumla seyreden ve yaşam boyu karmaşık bakım gerektiren genetik bir hastalıktır. 0–16 yaş arası çocuklarda hastalığın yönetimi; solunum tedavileri, beslenme desteği, enfeksiyon kontrolü ve düzenli izlem gibi çok boyutlu girişimleri içermekte olup, bu süreç multidisipliner ekip yaklaşımını zorunlu kılmaktadır. Bu derlemenin amacı, güncel literatür doğrultusunda KF’li çocuklarda hemşirelik bakımının rolünü, aile eğitimi yaklaşımlarını ve aile destek modellerini bütüncül bir bakış açısıyla incelemektir. Literatür bulguları, pediatrik hemşirelerin yalnızca klinik bakım uygulamalarında değil, aynı zamanda aile eğitimi, öz yönetim becerilerinin geliştirilmesi ve psikososyal destek sağlanmasında merkezi bir role sahip olduğunu göstermektedir. Aile merkezli bakım yaklaşımı; işbirliği, karşılıklı güven ve etkili iletişim ilkeleri doğrultusunda tedavi uyumunu, yaşam kalitesini ve hasta memnuniyetini artırmaktadır. Bununla birlikte, ailelerin hastalık yönetimine ilişkin bilgi gereksinimleri, psikososyal yükleri ve uzun dönem destek ihtiyaçları devam etmektedir. Güncel rehberler, yapılandırılmış eğitim programları, hemşire koordinatörlüğü ve disiplinler arası işbirliğini önermektedir. Ancak standardize edilmiş aile eğitim programlarının uzun dönem etkinliği ve farklı sağlık sistemlerindeki karşılaştırmalı sonuçlarına ilişkin veriler sınırlıdır. Sonuç olarak, hemşirelik temelli aile güçlendirme modellerinin yaygınlaştırılması ve kanıta dayalı uygulamaların geliştirilmesi, KF’li çocukların klinik sonuçlarını ve aile yaşam kalitesini iyileştirmede kritik öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Kistik fibrozis, pediatrik hemşirelik, aile eğitimi, aile merkezli bakım, multidisipliner bakım, psikososyal destek, tedavi uyumu.

1. GİRİŞ

Kistik fibrozis (KF), CFTR genindeki mutasyonlara bağılı olarak gelişen; başta solunum ve gastrointestinal sistem olmak üzere birçok sistemi etkileyen, kronik ve ilerleyici bir genetik hastalıktır(1). Hastalığın temel patofizyolojisi, koyu ve viskoz sekresyon oluşumuna dayanır. Bu durum özellikle solunum yollarında tekrarlayan enfeksiyonlar ve kronik inflamasyona; gastrointestinal sistemde ise pankreatik yetersizlik, malabsorpsiyon ve büyüme-gelişme geriliğine yol açmaktadır(2, 3).

Çocukluk dönemindeki klinik seyir, uzun dönem akciğer fonksiyonlarının korunması ve yaşam kalitesinin belirlenmesi açısından kritik öneme sahiptir(4). Bu nedenle KF yönetiminin temel hedefleri; akciğer hastalığının erken kontrolü, beslenme durumunun optimize edilmesi, komplikasyonların erken tanınması, tedaviye uyumun artırılması ve çocuk ile ailesi için sürdürülebilir, bütüncül bir bakım modelinin oluşturulmasıdır(5).

Avrupa Kistik Fibrozis Derneği tarafından yayımlanan bakım standartları, KF merkezlerinin yapısını ve multidisipliner ekip üyelerinin rol ve sorumluluklarını ayrıntılı biçimde tanımlamaktadır(6). Bu standartlar, merkez temelli çok disiplinli bakım yaklaşımına kuramsal ve uygulamaya dönük bir çerçeve sunmaktadır. Günümüzde artan yaşam süresi ve özellikle CFTR modülatörlerinin yaygınlaşması, KF'nin yalnızca çocukluk çağıyla sınırlı olmayan, erişkin döneme uzanan bir hastalık olarak ele alınmasını gerektirmektedir(7). Bu durum, bakımın süreklilik ve geçiş yönetimi perspektifiyle yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılmaktadır(8).

Pandemi sonrası dönemde tele-sağlık uygulamaları, evde spirometri ölçümleri ve uzaktan semptom izlem sistemleri birçok merkezde rutin bakımın bir parçası haline gelmiştir(8, 9). Bu yaklaşımlar; enfeksiyon riskinin azaltılması, sağlık hizmetine erişimin kolaylaştırılması ve erken alevlenme belirtilerinin saptanması açısından önemli avantajlar sağlamaktadır(10, 11). Bununla birlikte, dijital bakım modellerinin etkin uygulanabilmesi; dijital sağlık okuryazarlığının artırılmasını, veri güvenliğinin sağlanmasını ve yüz yüze değerlendirme gereksiniminin dengelenmesini gerektirmektedir(10, 12, 13).

Güncel KF bakım yaklaşımı, yalnızca biyomedikal tedaviye odaklanan bir modelden ziyade; beslenme, fiziksel aktivite, psikososyal destek ve eğitim boyutlarını da kapsayan hasta-merkezli ve bütüncül bir çerçeveye evrilmiştir(14). Multidisipliner ekip koordinasyonu, bireyselleştirilmiş bakım planları ve sürekli kalite iyileştirme süreçleri çağdaş bakımın temel bileşenleridir(14-16).

Bu derlemenin amacı, çocuklarda KF yönetimine ilişkin temel bakım bileşenlerini bütüncül bir çerçevede ele almaktır. Bu kapsamda; çok disiplinli bakım yaklaşımı, aile eğitimi ve öz-yönetim becerilerinin geliştirilmesi, psikososyal destek hizmetlerinin entegrasyonu ve güncel bakım sunum modelleri incelenmektedir. Çocukluk dönemine özgü gereksinimler doğrultusunda sürdürülebilir ve hasta-merkezli bir KF bakım modelinin temel yapı taşları sistematik biçimde değerlendirilmektedir.

2.ÇOK DİSİPLİNLİ BAKIMIN TEMEL BİLEŞENLERİ

Kistik fibroziste (KF) bakım kalitesi, yalnızca mevcut tedavi seçeneklerinin varlığına değil, bu tedavilerin planlı, koordineli ve standartlara uygun biçimde sunulmasına bağlı olup; etkin bir bakım modeli düzenli izlem, ekip içi iletişim ve disiplinler arası iş birliğini gerektirmektedir(14, 17).

Avrupa Kistik Fibrozis Derneği, KF merkezlerinin organizasyonunu ve ekip üyelerinin rol ve sorumluluklarını ayrıntılı biçimde tanımlamaktadır(6). Bu çerçevede; pediatrik göğüs hastalıkları/KF uzmanı hekim liderliğinde çalışan multidisipliner ekipte hemşire, fizyoterapist, diyetisyen, psikolog veya psikiyatri desteği, sosyal hizmet uzmanı ve eczacı yer almakta; ayrıca gereksinim doğrultusunda endokrinoloji, gastroenteroloji ve diğer ilgili branşlarla koordinasyon sağlanmaktadır(6).

Hava yolu temizleme teknikleri, kistik fibrozise bağlı akciğer hastalığının yönetiminde temel tedavi bileşenlerinden biridir ve bronş sekresyonlarının uzaklaştırılmasını sağlayarak enfeksiyon riskini azaltmayı ve akciğer fonksiyonlarını korumayı amaçlar(18, 19). Kistik Fibrozis Vakfı kılavuzu, tüm KF'li bireylerde düzenli hava yolu temizleme teknikleri uygulanmasını önermekte(20); ancak belirli bir yöntemin üstünlüğü gösterilemediğinden, seçimin yaş, klinik durum ve aile koşulları doğrultusunda bireyselleştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır(18). Tedaviye uyum açısından yöntemin uygulanabilir ve sürdürülebilir olması önem taşımaktadır(21).

Enfeksiyon kontrolü, kişiler arası patojen bulaşma riski nedeniyle KF bakımının temel unsurlarındandır. Güncel kılavuzlar; sağlık kuruluşlarında temas önlemleri, çevresel düzenlemeler ve eğitim süreçlerine ilişkin ayrıntılı öneriler sunmakta, ancak bu önerilerin etkin uygulanabilmesi için sağlık profesyonellerinin bilgi ve uyum düzeyinin güçlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir(22).

Beslenme durumu, KF'de morbidite ve mortalite ile yakından ilişkili olup klinik izlemin temel göstergelerindedir(23). Güncel Avrupa rehberleri, beslenme izlemi ve müdahalelerinin kanıta dayalı ve bireyselleştirilmiş biçimde planlanmasını önermekte; özellikle tuz desteği gibi bazı alanlarda uygulama farklılıklarına dikkat çekmektedir(24, 25).

Yaş ilerledikçe KF'ye bağlı diyabet, kemik mineral yoğunluğu kaybı ve karaciğer hastalığı gibi komplikasyonların sıklığı artabilmektedir(26). Bu nedenle düzenli ve yapılandırılmış tarama programları ile çok disiplinli kliniklerde risk temelli izlem ve uygun branşlara yönlendirme sistemlerinin uygulanması, uzun dönem morbiditenin azaltılması ve bakım kalitesinin artırılması açısından önem taşımaktadır(14, 27).

3.AİLE EĞİTİMİ

Kistik fibrozis (KF) yönetimi; inhalasyon tedavileri, hava yolu temizleme teknikleri, pankreatik enzim kullanımı, yüksek enerjili beslenme ve enfeksiyon kontrol önlemleri gibi çok sayıda günlük uygulamayı içermekte olup, bu durum aile eğitiminin yalnızca bilgi

aktarımla sınırlı olmaması gerektiğini göstermektedir(28). Eğitim programları; teknik beceri kazandırmanın yanı sıra günlük yaşama entegrasyonu kolaylaştırmayı, problem çözme ve öz-yeterlik becerilerini güçlendirmeyi ve tedaviye yönelik motivasyonu artırmayı hedeflemelidir(29, 30).

Öz-yönetim modellerine ilişkin çalışmalar, bilgi artışının tek başına davranış değişikliği için yeterli olmadığını; düzenli izlem, geri bildirim ve sürdürülebilirliği destekleyen yapılandırılmış yaklaşımların gerekli olduğunu ortaya koymaktadır(31, 32). Bu kapsamda geliştirilen programların, aile ve çocukların bilgi düzeyini artırdığı ve tedaviye ilişkin davranışları olumlu yönde etkilediği bildirilmekle birlikte, müdahale içeriklerinin ve uygulama yöntemlerinin heterojenliği nedeniyle kanıtların dikkatli değerlendirilmesi gerekmektedir(33, 34).

Tedaviye uyum büyük ölçüde aile dinamiklerinden etkilenmektedir(35, 36). Zaman yönetimi güçlükleri, aile içi çatışmalar ve ergenlik döneminde ebeveyn katılımının azalması gibi faktörler uyumu olumsuz etkileyebilmektedir(37, 38). Bu nedenle aile eğitimi; teknik uygulamaların öğretiminin ötesinde, motivasyonel ve davranışsal stratejilerle desteklenmelidir(39).

Eğitimin sürdürülebilirliği açısından kısa, tekrarlı ve uygulamaya dayalı oturumlar önerilmekte; “teach-back” yöntemi öğrenmenin doğrulanmasında etkili bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır(40). Ayrıca ev rutini planlaması, okul ile iletişim stratejileri ve güvenilir yazılı/dijital kaynaklara yönlendirme, aile eğitiminin sürekliliğini destekleyen önemli unsurlardır(28).

4. PSİKOSOSYAL DESTEK VE RUH SAĞLIĞI ENTEGRASYONU

Kistik fibrozis (KF), çocuk ve ailelerin yalnızca fiziksel değil, ruhsal iyilik hâlini de etkileyen kronik bir hastalıktır(41). Çalışmalar, KF’li çocuklarda ve ebeveynlerde depresyon ve anksiyete belirtilerinin genel popülasyona göre daha yüksek olabileceğini; bu belirtilerin akciğer fonksiyonları, beslenme durumu, tedaviye uyum ve yaşam kalitesi ile ilişkili olduğunu göstermektedir(42). Bu nedenle ruh sağlığı, KF bakımının temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmelidir(43).

Uluslararası öneriler doğrultusunda depresyon ve anksiyete taramalarının rutin KF izlemlerine entegre edilmesi ve gerekli durumlarda uygun yönlendirmelerin yapılması önerilmektedir(44, 45). Avrupa’daki uygulamalar da ruh sağlığı değerlendirmelerinin çok disiplinli ekip yaklaşımı içinde giderek daha sistematik biçimde ele alındığını göstermektedir(46, 47).

Ailelerin yaşadığı bakım yükü ve stres göz önüne alındığında, erişilebilir psikolojik destek modelleri önem taşımaktadır(32, 48, 49). Web-tabanlı müdahaleler ve çok aileli psiko-eğitsel programlar, baş etme becerilerini ve sosyal desteği güçlendirmeye yönelik uygulanabilir destek stratejileri olarak öne çıkmaktadır(41, 50).

5. BAKIM SUNUM VE DESTEK MODELLERİ

KF bakımında uzmanlaşmış merkezler, standartlaştırılmış ve kaliteli hizmet sunumunun temelini oluşturmaktadır. Avrupa Kistik Fibrozis Derneği ve Kistik Fibrozis Vakfı tarafından geliştirilen çerçeve ve kılavuzlar(51); ekip yapılanmasını, kalite göstergelerini ve klinik bakım standartlarını tanımlayarak bakımın sürekliliğini ve geliştirilmesini desteklemektedir(52).

Tele-sağlık uygulamaları, özellikle 2020 sonrası dönemde KF bakımına entegre edilmiş; ev spirometrisi, boy-kilo ölçümü ve oksijen satürasyonu gibi parametrelerin uzaktan izlenmesi rutin uygulamalar arasına girmiştir(53, 54). Pediatrik KF’de tele-sağlık modelleri; ekip içi koordinasyon, uygun teknolojik altyapı ve aile deneyiminin dikkate alınmasının önemini vurgulamakta, ancak klinik sonuçlara etkisinin merkez ve uygulama özelliklerine göre değişebileceği bildirilmektedir(19, 55).

Çok disiplinli ekip içinde olgu yöneticisi rolünün tanımlanması, özellikle karmaşık bakım gereksinimleri olan hastalarda ve çocukluktan erişkin bakıma geçiş sürecinde koordinasyonu güçlendirmeyi amaçlamaktadır(56). Artan sağkalım süresi, planlı ve yapılandırılmış bir geçiş sürecini zorunlu kılmakta; bu süreç eğitim, öz-yönetim becerilerinin geliştirilmesi, psikososyal destek ve disiplinler arası iş birliğini içeren bütüncül bir yaklaşım gerektirmektedir(57, 58).

Ayrıca sosyal hizmet uzmanları; tedaviye uyumun desteklenmesi, eğitim süreçlerinin planlanması ve sosyal haklara erişimin sağlanması gibi alanlarda önemli rol üstlenerek KF bakımının sosyal ve çevresel boyutlarını güçlendirmektedir(59).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kistik fibrozisli (KF) çocuklarda etkin yönetim, standartlara dayalı, çok disiplinli ve aile merkezli bir bakım modelini gerektirir. Güncel kanıtlar; hava yolu temizleme teknikleri enfeksiyon kontrolü, beslenme yönetimi ve ruh sağlığının birbirinden bağımsız değil, bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini göstermektedir. Uzman merkezler tarafından yapılandırılmış bakım modelleri, klinik izlem ve ekip organizasyonu açısından güçlü bir çerçeve sunmaktadır.

Bununla birlikte uygulamada bazı temel güçlükler dikkat çekmektedir. Öncelikle, tedavi yükünün yüksek olması özellikle çocukluk ve ergenlik döneminde uyum sorunlarına yol açabilmektedir. Bu nedenle yalnızca bilgi temelli eğitim yeterli olmayıp; davranışsal stratejiler, aile rutinlerinin yeniden yapılandırılması ve motivasyonel yaklaşımlar ile desteklenen müdahalelere ihtiyaç vardır.

İkinci olarak, depresyon ve anksiyete taramasına yönelik öneriler netleşmiş olmakla birlikte, uygulamanın sürekliliği ve merkezler arası standartlaşma değişkenlik gösterebilmektedir. Ruh sağlığının düzenli tarama, uygun yönlendirme ve izlem süreçleriyle bakım modeline entegre edilmesi önem taşımaktadır.

Üçüncü olarak, tele-sağlık ve uzaktan izlem uygulamaları bakım erişimini artırma potansiyeline sahip olmakla birlikte, uzun dönemli klinik sonuçlara etkisinin daha güçlü ve sistematik çalışmalarla değerlendirilmesine gereksinim bulunmaktadır.

Bu çerçevede aşağıdaki uygulama önerileri geliştirilebilir:

- Her çocuk için bireyselleştirilmiş bir hava yolu temizleme teknikleri planı oluşturulmalı ve düzenli aralıklarla etkinliği değerlendirilmelidir.
- Enfeksiyon kontrol uygulamaları; klinik akış düzenlemeleri, aile eğitimi ve izlem mekanizmaları ile sistematik biçimde yürütülmelidir.
- Beslenme yönetimi, güncel uluslararası öneriler doğrultusunda büyüme ve gelişme göstergeleri temel alınarak planlanmalıdır.
- Depresyon ve anksiyete taraması, KF bakımının rutin bir bileşeni hâline getirilmeli ve gerekli durumlarda ruh sağlığı hizmetlerine yönlendirme sağlanmalıdır.
- Tele-sağlık ve ev temelli ölçümler, uygun hasta gruplarında erişimi ve izlem sıklığını artıracak şekilde yapılandırılmalıdır.
- Ergenlik döneminde geçiş programları; öz-yönetim becerilerinin kademeli olarak çocuğa devredildiği, ailenin rolünün yeniden tanımlandığı ve disiplinler arası koordinasyonun sağlandığı bir modelle planlanmalıdır.

Sonuç olarak, çocuklarda KF yönetiminde sürdürülebilir başarı; klinik standartlara uyumun yanı sıra aile katılımını, ruh sağlığını ve bakım koordinasyonunu kapsayan bütüncül bir yaklaşımın benimsenmesine bağlıdır.

KAYNAKÇA

- 1.Ong T, Ramsey BW. Cystic fibrosis: a review. *Jama*. 2023;329(21):1859-71.
- 2.Castellani C, Assael BM. Cystic fibrosis: a clinical view. *Cellular and molecular life sciences*. 2017;74(1):129-40.
- 3.Mall MA, Burgel PR, Castellani C, Davies JC, Salathe M, Taylor-Cousar JL. Cystic fibrosis. *Nat Rev Dis Primers*. 2024;10(1):53.
- 4.Williamson DM, Sharma A. Cystic fibrosis in children: A pediatric anesthesiologist's perspective. *Pediatric Anesthesia*. 2022;32(2):167-73.
- 5.Lusman SS. Update on cystic fibrosis in pediatric patients. *Current Gastroenterology Reports*. 2023;25(11):308-15.
- 6.Smith C, Chadwick HK, Shaw N, Farinha CM, Southern KW, Landau E, et al. Development of a multidisciplinary syllabus to support the education and training of roles in cystic fibrosis care: An ECFS Education initiative. *J Cyst Fibros*. 2025.
- 7.Frost FJ, Peckham DG, Felton IC, Snowball JE, Gray RD, Jones AM, et al. Managing an ageing cystic fibrosis population: challenges and priorities. *Eur Respir Rev*. 2025;34(176).
- 8.Felipe Montiel A, Fernández A, Amigo MC, Traversi L, Clofent Alarcón D, Reyes KL, et al. The ageing of people living with cystic fibrosis: what to expect now? *Eur Respir Rev*. 2024;33(174).
- 9.Paula Í R, Ronchi CF, Oliveira Azevedo VMG. Telerehabilitation in cystic fibrosis: a randomized clinical trial protocol for increasing exercise loads and difficulty levels (TeleCist). *Trials*. 2025;26(1):439.
- 10.Garfan S, Alamoodi AH, Zaidan BB, Al-Zobbi M, Hamid RA, Alwan JK, et al. Telehealth utilization during the Covid-19 pandemic: A systematic review. *Comput Biol Med*. 2021;138:104878.
- 11.Blandford A, Wesson J, Amalberti R, AlHazme R, Allwihan R. Opportunities and challenges for telehealth within, and beyond, a pandemic. *Lancet Glob Health*. 2020;8(11):e1364-e5.
- 12.Saeed SA, Masters RM. Disparities in Health Care and the Digital Divide. *Curr Psychiatry Rep*. 2021;23(9):61.
- 13.Borges do Nascimento IJ, Abdulazeem H, Vasanthan LT, Martinez EZ, Zucoloto ML, Østengaard L, et al. Barriers and facilitators to utilizing digital health technologies by healthcare professionals. *NPJ Digit Med*. 2023;6(1):161.
- 14.Cottin V, Martinez FJ, Smith V, Walsh SLF. Multidisciplinary teams in the clinical care of fibrotic interstitial lung disease: current perspectives. *Eur Respir Rev*. 2022;31(165).
- 15.Serrat M, Almirall M, Musté M, Sanabria-Mazo JP, Feliu-Soler A, Méndez-Ulrich JL, et al. Effectiveness of a Multicomponent Treatment for Fibromyalgia Based on Pain Neuroscience Education, Exercise Therapy, Psychological Support, and Nature Exposure (NAT-FM): A Pragmatic Randomized Controlled Trial. *J Clin Med*. 2020;9(10).

16.Raine R, Wallace I, Nic a' Bháird C, Xanthopoulou P, Lanceley A, Clarke A, et al. Health Services and Delivery Research. Improving the effectiveness of multidisciplinary team meetings for patients with chronic diseases: a prospective observational study. Southampton (UK): NIHR Journals Library

Copyright © Queen's Printer and Controller of HMSO 2014. This work was produced by Raine et al. under the terms of a commissioning contract issued by the Secretary of State for Health. This issue may be freely reproduced for the purposes of private research and study and extracts (or indeed, the full report) may be included in professional journals provided that suitable acknowledgement is made and the reproduction is not associated with any form of advertising. Applications for commercial reproduction should be addressed to: NIHR Journals Library, National Institute for Health Research, Evaluation, Trials and Studies Coordinating Centre, Alpha House, University of Southampton Science Park, Southampton SO16 7NS, UK.; 2014.

17.Burgel PR, Southern KW, Addy C, Battezzati A, Berry C, Bouchara JP, et al. Standards for the care of people with cystic fibrosis (CF); recognising and addressing CF health issues. *J Cyst Fibros.* 2024;23(2):187-202.

18.Raywood E, Shannon H, Filipow N, Tanriver G, Stanojevic S, Kapoor K, et al. Quantity and quality of airway clearance in children and young people with cystic fibrosis. *J Cyst Fibros.* 2023;22(2):344-51.

19.Enochs C, Filbrun AG, Iwanicki C, Moraniec H, Lehrmann J, Stiffler J, et al. Development of an Interdisciplinary Telehealth Care Model in a Pediatric Cystic Fibrosis Center. *Telemed Rep.* 2021;2(1):224-32.

20.Diener BL, Berdella M, DeCelie-Germana J, Stables-Carney T, Kier C. Transforming Care Models in Cystic Fibrosis: A Review. *Healthcare (Basel).* 2025;13(23).

21.Jones M, Moffatt F, Harvey A, Ryan JM. Interventions for improving adherence to airway clearance treatment and exercise in people with cystic fibrosis. *Cochrane Database Syst Rev.* 2023;7(7):Cd013610.

22.Schaffer K. Epidemiology of infection and current guidelines for infection prevention in cystic fibrosis patients. *J Hosp Infect.* 2015;89(4):309-13.

23.Mariotti Zani E, Grandinetti R, Cunico D, Torelli L, Fainardi V, Pisi G, et al. Nutritional Care in Children with Cystic Fibrosis. *Nutrients.* 2023;15(3).

24.Collins S. Nutritional management of cystic fibrosis - an update for the 21st century. *Paediatr Respir Rev.* 2018;26:4-6.

25.Leonard A, Bailey J, Bruce A, Jia S, Stein A, Fulton J, et al. Nutritional considerations for a new era: A CF foundation position paper. *J Cyst Fibros.* 2023;22(5):788-95.

26.Cottin V, Wollin L, Fischer A, Quaresma M, Stowasser S, Harari S. Fibrosing interstitial lung diseases: knowns and unknowns. *Eur Respir Rev.* 2019;28(151).

27.Darukhanavala A, Kremer T. Automatic referrals within a cystic fibrosis multidisciplinary clinic improve patient evaluation and management. *J Clin Transl Endocrinol.* 2021;24:100259.

28.Bell SC, Mall MA, Gutierrez H, Macek M, Madge S, Davies JC, et al. The future of cystic fibrosis care: a global perspective. *Lancet Respir Med.* 2020;8(1):65-124.

29.Savage E, Beirne PV, Ni Chroinin M, Duff A, Fitzgerald T, Farrell D. Self-management education for cystic fibrosis. *Cochrane Database Syst Rev.* 2014;2014(9):Cd007641.

30.Perez A, Vogt H, Pettit RS. Educational Initiative to Increase Knowledge for Transition to Adult Care in Adolescents With Cystic Fibrosis. *J Pediatr Pharmacol Ther.* 2023;28(8):741-6.

31.Saxby N, Beggs S, Battersby M, Lawn S. What are the components of effective chronic condition self-management education interventions for children with asthma, cystic fibrosis, and diabetes? A systematic review. *Patient Educ Couns.* 2019;102(4):607-22.

32. Dawson S, Girling CJ, Cowap L, Clark-Carter D. Psychological interventions for improving adherence to inhaled therapies in people with cystic fibrosis. *Cochrane Database Syst Rev.* 2023;3(3):Cd013766.
33. Catarino M, Macedo L, Santos J, Charepe Z, Festas C. Self-Management in Children and Adolescents With Chronic Illness: An Evolutionary Analysis of the Concept. *J Adv Nurs.* 2025;81(8):4519-41.
34. Wildman MJ, O'Cathain A, Maguire C, Arden MA, Hutchings M, Bradley J, et al. Self-management intervention to reduce pulmonary exacerbations by supporting treatment adherence in adults with cystic fibrosis: a randomised controlled trial. *Thorax.* 2022;77(5):461-9.
35. Kvarnström K, Westerholm A, Airaksinen M, Liira H. Factors Contributing to Medication Adherence in Patients with a Chronic Condition: A Scoping Review of Qualitative Research. *Pharmaceutics.* 2021;13(7).
36. Everhart RS, Fiese BH, Smyth JM, Borschuk A, Anbar RD. Family Functioning and Treatment Adherence in Children and Adolescents with Cystic Fibrosis. *Pediatr Allergy Immunol Pulmonol.* 2014;27(2):82-6.
37. Whitehead L, Jacob E, Towell A, Abu-Qamar M, Cole-Heath A. The role of the family in supporting the self-management of chronic conditions: A qualitative systematic review. *J Clin Nurs.* 2018;27(1-2):22-30.
38. Goodfellow NA, Hawwa AF, Reid AJ, Horne R, Shields MD, McElnay JC. Adherence to treatment in children and adolescents with cystic fibrosis: a cross-sectional, multi-method study investigating the influence of beliefs about treatment and parental depressive symptoms. *BMC Pulm Med.* 2015;15:43.
39. McDonald CM, Haberman D, Brown N. Self-efficacy: empowering parents of children with cystic fibrosis. *J Cyst Fibros.* 2013;12(5):538-43.
40. Sreenivasulu H, Muppalla SK, Vuppalapati S, Shokrolahi M, Reddy Pulliahgaru A. Hope in Every Breath: Navigating the Therapeutic Landscape of Cystic Fibrosis. *Cureus.* 2023;15(8):e43603.
41. Bathgate CJ, Smith ED, Murphy NH, Quittner AL, Riekert KA, Goralski JL, et al. Coping and learning to Manage Stress with cystic fibrosis (CALM): A multisite telehealth randomized controlled trial to reduce depression and anxiety symptoms in adults with cystic fibrosis. *J Cyst Fibros.* 2025;24(2):310-8.
42. Hogeia L, Bernad B, Costea I, Levai CM, Marinca A, Papava I, et al. The Role of Psychological Interventions in Enhancing Quality of Life for Patients with Cystic Fibrosis-A Systematic Review. *Healthcare (Basel).* 2025;13(9).
43. Graziano S, Spanò B, Majo F, Righelli D, Vincenzina L, Quittner A, et al. Rates of depression and anxiety in Italian patients with cystic fibrosis and parent caregivers: Implementation of the Mental Health Guidelines. *Respir Med.* 2020;172:106147.
44. Quittner AL, Abbott J, Georgiopoulos AM, Goldbeck L, Smith B, Hempstead SE, et al. International Committee on Mental Health in Cystic Fibrosis: Cystic Fibrosis Foundation and European Cystic Fibrosis Society consensus statements for screening and treating depression and anxiety. *Thorax.* 2016;71(1):26-34.
45. Lord L, McKernon D, Grzeskowiak L, Kirsa S, Ilomaki J. Depression and anxiety prevalence in people with cystic fibrosis and their caregivers: a systematic review and meta-analysis. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol.* 2023;58(2):287-98.
46. Abbott J, Havermans T, Jarvholm S, Landau E, Prins Y, Smrekar U, et al. Mental Health screening in cystic fibrosis centres across Europe. *J Cyst Fibros.* 2019;18(2):299-303.
47. Landau EC, Verkleij M, Graziano S, Quittner AL, Georgiopoulos AM, Smith BA, et al. Mental health screening in Cystic Fibrosis as an intervention: Patient and caregiver feedback on improving these processes. *Respir Med.* 2022;202:106955.

48. Quittner AL, Goldbeck L, Abbott J, Duff A, Lambrecht P, Solé A, et al. Prevalence of depression and anxiety in patients with cystic fibrosis and parent caregivers: results of The International Depression Epidemiological Study across nine countries. *Thorax*. 2014;69(12):1090-7.
49. Borschuk AP, Molitor S, Everhart RS, Siracusa C, Filigno SS. Executive functioning in pediatric cystic fibrosis: A preliminary study and conceptual model. *Pediatr Pulmonol*. 2020;55(4):939-47.
50. Fidika A, Herle M, Lehmann C, Weiss C, Knaevelsrud C, Goldbeck L. A web-based psychological support program for caregivers of children with cystic fibrosis: a pilot study. *Health Qual Life Outcomes*. 2015;13:11.
51. Kapnadak SG, Dimango E, Hadjiliadis D, Hempstead SE, Tallarico E, Pilewski JM, et al. Cystic Fibrosis Foundation consensus guidelines for the care of individuals with advanced cystic fibrosis lung disease. *J Cyst Fibros*. 2020;19(3):344-54.
52. Weber HC, Robinson PF, Saxby N, Beggs SA, Els I, Ehrlich RI. Do children with cystic fibrosis receiving outreach care have poorer clinical outcomes than those treated at a specialist cystic fibrosis centre? *Aust J Rural Health*. 2017;25(1):34-41.
53. Albon D, Ong T, Horton B, Brighton D, Shen S, List R, et al. Cystic Fibrosis Learning Network Telehealth Innovation Lab During the COVID-19 Pandemic: Impact on Access to Care, Outcomes, and a New CF Care Model. *Pediatr Pulmonol*. 2025;60(5):e71102.
54. Rimbaldo K, Frayman KB, Shanthikumar S. The impact of telehealth based care on paediatric cystic fibrosis outcomes. *J Cyst Fibros*. 2023;22(4):706-9.
55. Russo Krauss A, Lastrucci A, Petrini V, Gualtieri N, Ricci R, Tomaiuolo M, et al. Integrating Case Management in Cystic Fibrosis Units: A Key to Enhancing Patient-Centered Care. *Healthcare (Basel)*. 2025;13(9).
56. Conway S, Balfour-Lynn IM, De Rijcke K, Drevinek P, Foweraker J, Havermans T, et al. European Cystic Fibrosis Society Standards of Care: Framework for the Cystic Fibrosis Centre. *J Cyst Fibros*. 2014;13 Suppl 1:S3-22.
57. O'Hayer CV, O'Loughlin CM, Nurse CN, Smith PJ, Stephen MJ. ACT with CF: A telehealth and in-person feasibility study to address anxiety and depressive symptoms among people with cystic fibrosis. *J Cyst Fibros*. 2021;20(1):133-9.
58. Singh J, Towns S, Jayasuriya G, Hunt S, Simonds S, Boyton C, et al. Transition to adult care in cystic fibrosis: The challenges and the structure. *Paediatr Respir Rev*. 2022;41:23-9.
59. Goetz DM, Frederick C, Savant A, Cogswell A, Fries L, Roach C, et al. Systematic depression and anxiety screening for patients and caregivers: implementation and process improvement in a cystic fibrosis clinic. *BMJ Open Qual*. 2021;10(2).

NEW GENERATION TECHNOLOGIES IN FOOD SAFETY

Asst. Prof. Dr. Selçuk ALAN

Kafkas University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Food Hygiene and Production
selcuk.alan@kafkas.edu.tr, 0000-0002-4473-7835

Betül İNCE

Kafkas University, Faculty of Veterinary Medicine
bince0123@gmail.com, 0009-0009-9959-0963

ABSTRACT

Global climate change and rapid population growth threaten food security, forcing conventional production models to undergo a necessary transformation towards sustainability. This study takes a holistic approach to innovative technologies aimed at optimizing efficiency and minimizing food safety risks in the food industry. In response to increasing protein demand, edible insects, plant-based proteins, and mycoproteins, which have a lower environmental burden and carbon footprint compared to animal production, are considered strong alternatives in future nutrition strategies. Parallel to this change in raw material supply, processing and logistics processes are also becoming digitized. 3D food printers enabling personalized nutrition, robotic systems ensuring hygiene standardization in the production line, and drone technologies accelerating delivery processes are concrete manifestations of Industry 4.0 in the food sector. In terms of protecting consumer health, smart packaging technologies that track the product's history and current status are prominent. Radio frequency identification (RFID), biosensors, and time-temperature indicators (TTI) enable traceability of food from farm to fork, allowing for the control of microbiological and chemical risks. Furthermore, biopolymer-based edible films and coatings, enriched with antimicrobial properties and offering a solution to the synthetic plastic waste problem, are increasingly gaining a share in the food industry as environmentally friendly barrier technologies that extend shelf life. In this context, the hybrid use of digitalization and biotechnological innovations with conventional methods will increase resource efficiency on an industrial scale. Future projections foresee the creation of a proactive management model to prevent food losses and ensure global food security with the widespread adoption of these smart systems.

Keywords: Food safety, Smart packaging, Alternative proteins, Edible films, 3D food printers.

GIDA GÜVENLİĞİNDE YENİ NESİL TEKNOLOJİLER

ÖZET

Küresel iklim değişikliği ve hızlı nüfus artışı, gıda güvencesini tehdit ederken, konvansiyonel üretim modellerini de sürdürülebilirlik ekseninde zorunlu bir dönüşüme itmektedir. Bu çalışmada, gıda endüstrisinde verimliliği optimize etmeyi ve gıda güvenliği risklerini minimize etmeyi hedefleyen inovatif teknolojiler bütüncül bir yaklaşımla ele alınmaktadır. Artan protein talebine karşılık, hayvansal üretime kıyasla çevresel yükü ve karbon ayak izi düşük olan yenilebilir böcekler, bitkisel bazlı proteinler ve mikoproteinler, geleceğin beslenme stratejilerinde güçlü birer alternatif olarak değerlendirilmektedir. Hammadde tedarikindeki bu değişime paralel olarak, işleme ve lojistik süreçleri de dijitalleşmektedir. Kişiselleştirilmiş beslenmeye imkân tanıyan 3D gıda yazıcıları, üretim hattında hijyen standardizasyonu sağlayan robotik sistemler ve teslimat süreçlerini hızlandıran dron teknolojileri, Endüstri 4.0'ın gıda sektöründeki somut yansımaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüketici sağlığının korunması noktasında ise ürünün tarihçesini ve anlık durumunu izleyen akıllı ambalaj teknolojileri öne çıkmaktadır. Radyo frekansı ile tanımlama (RFID), biyosensörler ve zaman-sıcaklık indikatörleri (TTI) sayesinde, gıdaların tarladan çatala izlenebilirliği sağlanarak mikrobiyolojik ve kimyasal riskler kontrol altına alınabilmektedir. Ayrıca, sentetik plastik atık sorununa çözüm sunan ve antimikrobiyal özelliklerle zenginleştirilen biyopolimer esaslı yenilebilir film ve kaplamalar, raf ömrünü uzatan çevre dostu bariyer teknolojileri olarak her geçen gün gıda endüstrisinde payını arttırmaktadır. Bu bağlamda, dijitalleşme ve biyoteknolojik yeniliklerin konvansiyonel yöntemlerle hibrit kullanımı, endüstriyel ölçekte kaynak verimliliğini artıracaktır. Gelecek projeksiyonlarında, bu akıllı sistemlerin yaygınlaşmasıyla birlikte gıda kayıplarının önlenmesi ve küresel gıda güvencesinin temini adına proaktif bir yönetim modelinin oluşturulması öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gıda güvenliği, Akıllı ambalajlar, Alternatif proteinler, Yenilebilir filmler, 3D gıda yazıcıları.

SOME GENETIC PARAMETERS IN FORESTRY

Prof. Dr. Nebi BİLİR

Isparta University of Applied Sciences,

nebibilir@isparta.edu.tr 0000-0001-9911-4304

ABSTRACT

Aim of forestry is to produce the highest quality and quantity wood and non-wood products per hectare based on balancing of supply and demand, and sustainable forestry. The products of forestry could also include unmeasurable such as erosion control, water quality, landscape and air quality. Genetic parameters play important roles to increase in quality and quantity of the products, and to reach to unmeasurable products' purpose in plant genetic-breeding and other forestry practices such as forest tending. Some genetic parameters estimated in plant science such as heritability, genetic diversity, genetic gain, genetic correlation, fertility variation and effective population size were discussed based on published papers to contribute genetic-breeding and other forestry practices in this review paper. For instance, genetic diversity is used in selection of gene conservation and seed collection areas, while fertility variation and effective population size are used in establishment, selection and management of seed sources.

Key Words: Breeding, genetic, correlation, diversity, heritability.

1. INTRODUCTION

Forestry practices aim to produce the highest quality and quantity wood, non-wood products, and also for unmeasurable (i.e., erosion control, water quality, landscape and air quality) serves per hectare based on balancing of supply and demand, and depend on sustainable forestry. Genetic parameters estimated by various software are important tools to be increased or reached to these products. They are also environmental friendly contributors to these products and sustainable forestry. Quantitative and molecular genetics are including many genetic parameters in plant science, as well as forest genetics. Parameters of quantitative genetics are mainly estimated by progeny test based on genetic and/or environmental variations (Figure 1). Forest tree breeders establish progeny tests primarily to predict breeding values and related parameters of parents based on the performance of their offspring. The breeder then ranks parents according to their predicted breeding values to make selections. Progeny tests are generally replicated over a number of years and planting locations with the objective of sampling a wide range of environmental conditions. Because of large numbers of parents being evaluated, economic incentives to establish tests quickly, differential survival,

etc. there is often a great deal of unbalance across all progeny tests in forest tree breeding programs [1]. Progeny test is also defined shortly as “often a test established to compare the offspring of different parents for the purpose of evaluating the breeding value of the parents. However, progeny tests can often be used for other purposes also and it would be more accurate to call those which mainly head at ranking parents for parental ranking test or selection of parent trees based on the performance of their progeny by Kang and Bilir [2].



Figure 1. A progeny trial of Brutian pine.

Some quantitative genetic parameters estimated in plant science such as heritability, genetic diversity, genetic gain, genetic correlation, fertility variation and effective population size are discussed based on published papers to contribute genetic-breeding and other forestry practices in this review paper.

2. SOME GENETIC PARAMETERS

It can be said that main source of genetic parameters are genetic and phenotypic/environmental variations, and variance components. They are estimated with Analyses of Variance (ANOVA) or Multiple Analyses of Variance (MANOVA) by various software [i.e., 3,4]. An example from Özbey and Bilir [5] of MANOVA model can be as:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + S_j + P(S)_{i(j)} + e_{ijk} \quad (1)$$

Where Y_{ijk} is the observation from the k^{th} tree of i^{th} block/replicate of j^{th} provenance, μ is overall mean, P_i is the effect of the i^{th} block, S_j is the effect of j^{th} provenance, $P(S)_{i(j)}$ is the effect of interaction between block and provenance, e_{ijk} is random error.

2.1. Heritability

Broad-sense heritability (H^2) is estimated as [3,6]:

$$H^2 = \frac{\sigma_C^2}{\sigma_C^2 + \sigma_e^2} \quad (2)$$

Where σ_C^2 is the variance among clones, σ_e^2 is the variance within clone.

Individual (narrow sense) heritability (h_i^2) is estimated as [7,8]:

$$h_i^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2} = \frac{k\sigma_F^2}{\sigma_P^2}$$

(3) Where σ_A^2 is the additive genetic variance, σ_F^2 is the genetic variance of families, σ_P^2 is the phenotypic variance, k is the covariance coefficient between half-sibs.

Heritability (\sim repeatability) is estimated to be between 0 and 1. It could be used for mass and individual selection of plants for heritable characteristics. Heritable characteristics can be used to produce the highest quality and quantity wood and non-wood products together with establishing resistance plantation to biotic and abiotic damages (i.e., insect damages, arid or semi-arid areas) or selection of mother trees in natural regeneration.

2.2. Genetic gain

Genetic gain is in a narrow sense the genetic change achieved for a specific trait by artificial selection. Gain is dependent on selection intensity, genetic variation and heritability. Gain can be seen as the average genetic value of an improved population compared to that of the initial population. Genetic gain (ΔG %) is estimated as [9]:

$$\Delta G = \frac{(\overline{ID}_S - ID_K)}{MID_K} \times 100 \quad (4)$$

Where \overline{ID}_S is the average of breeding value estimated by BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) of the highest families, ID_K is the breeding value of the control material, and MID_K is the absolute breeding value of the control material. The parameter can provide an additional increase in quality and quantity of forest products by intensive selection practices.

2.3. Genetic correlation

Significant ($p < 0.05$) genetic correlation between or among characteristics plays important roles such as easy and cheap selection to be increased in forest products by interactions of the characteristics. Genetic correlation (r_g) between the characteristics is estimated as [3,6]:

$$r_g = \frac{COV_{f(x,y)}}{\sqrt{\sigma_{f(x)}^2} \sqrt{\sigma_{f(y)}^2}} \quad (5)$$

Where $COV_{f(xy)}$ is the genetic covariance between traits x and y, $\sigma_{f(x)}^2$ and $\sigma_{f(y)}^2$ are the additive genetic variances of traits x and y, respectively.

2.4. Genetic diversity

Genetic diversity, is the genetic variation present in a population or species different from biodiversity, may be given more specific meanings or be assigned quantitative values in somewhat different ways, the most obvious one is "expected heterozygosity", cf gene diversity (Kang-Bilir, 2021). Genetic diversity ensures that forest trees can survive, adapt and evolve under changing environmental conditions. It is vital to maintain the vitality of forests and to cope with pests and diseases. Despite their fundamental importance, forest genetic resources are under threat [10]. The parameter estimated also by molecular genetics serves to better selection and sustainability of species and biodiversity, practices of tree genetics and breeding such as identification of gene conservation areas.

2.5. Fertility variation and effective population size

Fertility is an individual's ability to give progeny (cf. reproductive success), while effective population size (effective number) can be defined as from some aspect a population could be characterized by the corresponding size of an ideal population with the same characteristic [2].

Fertility variation occurs, not only among seed parents, but also among pollen parents. Thus, the sibling coefficient for parental fertility can be divided into female (ψ_f) and male (ψ_m) parents as [2,11]:

$$\psi_f = N \sum_{i=1}^N f_i^2 = CV_f^2 + 1 \quad \text{and} \quad \psi_m = N \sum_{i=1}^N m_i^2 = CV_m^2 + 1 \quad (6 \text{ a and b})$$

Where CV_f and CV_m are the coefficients of variation in female and male fertilities, respectively.

Sibling coefficient (Ψ) is defined and estimated directly from observations as the sum of squared parental contributions multiplied by the census number (N). Expected fertility of an individual is an average of maternal and paternal fertilities as follow [2,11]:

$$\Psi = N \sum_{i=1}^N p_i^2 = N \sum_{i=1}^N \left(\frac{f_i + m_i}{2} \right)^2 \quad (7)$$

The sibling coefficient (Ψ) expresses how fertility varies among parents as the increase in the probability that sibs occur compared to the ideal situation where parents have equal fertility. The sibling coefficient cannot be smaller than one. If $\Psi = 1$, all individuals have the same fertility. Fertility differences among population members can also be described by the coefficient of variation (CV) in fertility as: $\Psi = CV^2 + 1$ (8)

The effective number of parents were calculated based on the fertility variations and the census number (N) as [12]:

$$N_P^{(C)} = \frac{\Psi C}{N} \quad (9)$$

The effective number of parents (N_P) is also related to gene diversity (GD) as [13,14]:

$$GD = \frac{0.5}{N_P} \quad (10)$$

3. CONCLUSIONS

The parameters and others which are environmental friendly should be used intensively in forestry practices to be increased quality and quantity of the products, and serves. However, they can be discussed for natural structure of forests.

REFERENCES

1. White, T.L., Hodge, G.R. Concepts of progeny test analysis. In: predicting breeding values with applications in forest tree improvement. Forestry Sciences, vol. 33, Springer, Dordrecht, 1989.
2. Kang, K.S., Bilir, N., Seed Orchards (Establishment, Management and Genetics). OGEM-VAK Press: Ankara, Türkiye, 2021.
3. SAS. Statistical analysis system. SAS Institute, Inc. Cary., N.C., 2004.
4. SPSS. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0., NY: IBM Corp., 2011.
5. Özbey A. A., Bilir, N. (2022). Block effect on genetic parameters in a 23-year-old progeny trial of *Pinus brutia*. Forest Engineering Journal, 2, 5-13, 2022.

6. Falconer D.S. Introduction to quantitative genetics. Harlow Longman Sci Tech., 1989.
7. Namkoong, G., Synder, E.B., Stonecyper, R.W. Heritability and gain concepts for evaluating breeding systems such as seedling orchards. *Silvae Genetica*, 15(3), 61-100, 1966.
8. Zobel, B.J., Talbert, J. Applied Forest Tree Improvement. John Wiley and Sons, New York, England, 2003.
9. Shelbourne, C. J. A. Genetic gain from different kinds of breeding population and seed or plant production population. Paper presented at the IUFRO symposium “Intensive Forestry: The Role of Eucalypts”, held in Durban, South Africa, in September 1991 (1992).
10. EUFORGEN. Website of Forest Genetic Research (EUFORGEN)
<https://www.euforgen.org/forest-genetic-resources>
11. Kang K.S. Genetic gain and gene diversity of seed orchard crops. PhD Thesis. Swedish University of Agricultural Science, Umeå, Sweden. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria*, 187, 2001.
12. Kamalakannan, R., Varghese, M., Park, J.M., Kwon, S.H., Song, J.H., Kang, K.S. Fertility variation and its impact on effective population size in seed stands of *Tamarindus indica* and *Azadirachta indica*. *Silvae Genetica*, 64, 91-99, 2015.
13. Lindgren, D., Gea, L., Jefferson, P. Loss of genetic diversity monitored by status number. *Silvae Genetica*, 45, 52-59, 1996.
14. Lindgren, D., Mullin, T.J. Relatedness and status number in seed orchard crops. *Canadian Journal of Forest Research*, 28, 276-283, 1998.

SEED ORCHARD AND ITS IMPORTANCE IN FORESTRY

Prof. Dr. Nebi BİLİR

Isparta University of Applied Sciences,
nebibilir@isparta.edu.tr- 0000-0001-9911-4304

ABSTRACT

Seed orchard is one of the most important seed source together with seed stand and seed plantation for various practices such as conversion of unproductive forest (i.e., 9.6 million ha in Türkiye) to productive forest (i.e., 13.8 million ha in Türkiye) in forest science. Improved genetically and morphological seeds are produced from the seed orchards established with vegetative materials of superior trees selected genotypic or phenotypic. The seeds play important roles in biological and economical successful of forestry practices. Türkiye has 189 seed orchards established at 1485.7 ha of 12 species. They are mainly in Brutian pine (*Pinus brutia* Ten., 84 seed orchards at 689.8 ha), Black pine (*Pinus nigra* Arnold., 54 orchards at 483.7 ha), Scots pine (*Pinus sylvestris* L., 21 orchards at 113.0 ha), Oriental spruce (*Picea orientalis* (L.) Link., 9 orchards at 34.9 ha) Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich., 7 orchards at 46.4 ha), and Stone pine (*Pinus pinea* L., 7 orchards at 93.6 ha). However, there could be large differences for area and number of clones, among species or among orchards within species in establishment of seed orchards. Importance, establishment and management strategies of seed orchards are discussed in this review paper.

Key Words: Clone, plantation, ramet, seed.

3. INTRODUCTION

Seed orchard, seed stand and seed plantations are main seed sources in forestry. While, seed stands are selected phenotypically (i.e., branch number, tree height, diameter at breast height, stem straight) [1] from natural forests (Figure 1), seed orchards and seed plantations are established by vegetative (clonal seed orchards) and generative (seed plantation) materials collected from superior trees (Figure 1). Seed orchards and seed plantations are established for slow and fast growing species based on by vegetative and generative materials collected from superior trees, respectively (Figure 1). The seed sources produce to seeds improved genetically to contribute economic and biological success of forestry practices. They have also many advantages such as easy and cheap seed harvest together with improved seeds [2], and also a link between tree breeding and plantation forestry [3]. Seed orchards are also defined, a seed orchard is an area where seeds are mass-produced to increase the genetic quality as quickly and inexpensively as possible [4]. In another definition, seed orchards have

been established with selected superior trees to produce that are physiologically and genetically better seeds than those obtainable from natural stands [5]. Seed orchards have been established with clones or seedlings, collected from plus trees selected phenotypically from natural stands (Figure 1) or plantations [6]. In the last definition, seed orchard is a plantation of assumed superior genotypes established for the production of tree seeds. Typical, it is clones or seedlings from selected trees, isolated to reduce pollination from outside sources, even ground and wide spacing to facilitate cone harvest, and managed for early, easily accessible and abundant seed production [2]. However, there are large variations for area and number of clones, among species or among orchards within species in various countries in establishment of seed orchards [*i.e.*,7,8,9].



Figure 1. A seed stand of Black pine.

Importance, establishment and management strategies of clonal seed orchards for forestry practices are discussed based on observation, experience of the author and search of published papers, in this review paper.

4. SEED ORCHARDS

Seed orchards are artificial areas where produce improved seeds. They are established with vegetative (clonal seed orchards) or generative (seed plantation) materials of superior trees (Figures 2 and 3) selected from natural forests. Generally, 30 superior trees of a single seed stand are used in establishment of each clonal seed orchard in Turkish forestry [2,6]. However, there are large variations for established area and number of clones, among species or among orchards within species in various countries in seed orchards [*i.e.*,7,8,9]. For instance, large differences were reported for area, number of clones and number of ramets

among clones and among orchards in clonal seed orchards of Taurus cedar [9] and Scots pine in Türkiye [8] or in other forest tree species in various countries [7].



Figure 2. Some superior trees from seed stands of Black pine.



Figure 3. A seed orchard of Black pine.

There are 189 clonal seed orchards established at 1485.7 ha of 12 species in Türkiye [10]. Some details of the seed orchards are given in Table 1. The number and amount of the orchards can be related to size of natural distribution of the species [11], balancing of seed supply and demand, commercial importance of wood and non-wood products of the species.

Table 1. Some details of the seed orchards.

Species		Number of orchards	Area (ha)	
			Total	Average
Brutian pine	<i>Pinus brutia</i>	84	689.8	8.2
Black pine	<i>Pinus nigra</i>	54	483.7	9.0
Scots pine	<i>Pinus sylvestris</i>	21	113.0	5.4
Oriental spruce	<i>Picea orientalis</i>	9	34.9	3.9
Taurus cedar	<i>Cedrus libani</i>	7	46.4	6.6
Stone pine	<i>Pinus pinea</i>	7	93.6	13.4
Aleppo pine	<i>Pinus halepensis</i>	2	9.5	4.8
The wild service tree	<i>Sorbus torminalis</i>	1	4.2	4.2
Maritime pine	<i>Pinus pinaster</i>	1	3.3	3.3
Sweetgum tree	<i>Liquidambar orientalis</i>	1	3.1	3.1
Jujuba	<i>Ziziphus jujuba</i>	1	3.1	3.1
Phoenician juniper	<i>Juniperus phoenicea</i>	1	1.1	1.1
Total		189	1485.7	7.9

As seen from Table 1, there are large variation among seed orchards for average of establishment area. It can be also said for among orchards within species [10]. But, it is known that 15-30 clones [2,6,12] are enough in forest tree species to transmit present gene diversity in seed crop to next generation by forestry practices.

3. CONCLUSIONS

Number of clones and ramets within clone should be balanced for low establishment cost, easy and cheap management practices of seed orchards.

REFERENCES

1. Zobel, B.J., Talbert, J., Applied Forest Tree Improvement. John Wiley and Sons, New York, England, 2003.
2. Kang, K.S., Bilir, N., Seed Orchards (Establishment, Management and Genetics). OGEM-VAK Press: Ankara, Türkiye, 2021.
3. Bilir, N., Prescher, F., Ayan, S., Lindgren, D., Growth characters and number of strobili in clonal seed orchards of *Pinus sylvestris*. Euphytica, 152, 293-301, 2006.

4. Zobel, B.J., Barber, J., Brown, C.L., Perry, T.O., Seed orchards-their concept and management. *J. Forestry*, 56, 815–825, 1958.
5. Harju, A., Genetic functioning of Scots pine seed orchards. Ph.D. thesis. University of Oulu, Finland. *Acta Universitatis Ouluensis* 271, 1995.
6. Bilir, N., Kang K.S., Zang, D., Lindgren, D., Fertility variation and status number between a base population and a seed orchard of *Pinus brutia*. *Silvae Genet.* 53, 161-163, 2004.
7. Kang, K.S., Harju, A.M., Lindgren, D., Nikkanen, T., Almqvist, C., Suh, G.U., Variation in effective number of clones in seed orchards. *New Forests*, 21(1), 17-33, 2001.
8. Bilir, N., Uluhan, M.D., Seed orchards and seed collection stands of Scots pine in Turkey. *In Proceedings of Seed Orchard Conference*, 26-28 September, Edited by Dag Lindgren, SLU, Umeå, pp.25-36, 2007.
9. Uluhan, M., Bilir, N., Effective number of clones in seed orchards of *Cedrus libani*. *P.J. Biological Sciences*, 11, 2159-2162, 2008.
10. ORTOHUM. Website of the Research Directorate of Forest Tree Seeds and Tree Breeding (www.ortohum.gov.tr), Ankara, (Date of access: 08.10.2021), 2021.
11. OGM. Forestry Statistics-2024. General Directorate of Forestry of Türkiye (www.ogm.gov.tr). Ankara (Date of access: 15.10.2025), 2025.
12. Prescher, F., Seed Orchards-Genetic Considerations on Function, Management and Seed Procurement. PhD Thesis, Swedish University of Agricultural Science, 2007.

KONUT ÇEVRESİ TASARIMINDA ÖZGÜN SENARYO GELİŞTİRME SÜRECİ: BİR STÜDYO DENEYİMİ

Dr. Öğr. Üyesi, Alperen MERAL

Bingöl Üniversitesi, alperenmeral@bingol.edu.tr - 0000-0001-6714-7187

Dr. Öğr. Üyesi, Ayşenur AKBANA

Bingöl Üniversitesi, abektas@bingol.edu.tr - 0000-0003-0394-7278

Arş. Gör., İlknur YAZICI

Bingöl Üniversitesi, iyazici@bingol.edu.tr - 0009-0003-9134-2654

ÖZET

Peyzaj mimarlığı eğitimi, tasarım düşüncesini merkeze alan ve kuramsal bilgi ile stüdyo pratiğini bütünleştiren bir öğrenme sürecidir. Tasarım, yalnızca fiziksel bir ürün ortaya koyma eylemi değil; problem tanımlama, yorumlama, kavramsallaştırma ve mekânsal karar üretme aşamalarını içeren çok katmanlı bir süreçtir. Bu süreçte öğrencinin esin kaynaklarını nasıl seçtiği, yorumladığı ve tasarım kararlarına nasıl dönüştürdüğü, ortaya çıkan ürünün özgünlüğünü belirleyen temel unsurlardandır. Bu çalışma, Bingöl Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü'nde 2024–2025 Eğitim-Öğretim Yılı bahar döneminde yürütülen Peyzaj Tasarım II dersi kapsamında gerçekleştirilen stüdyo çalışmalarını ele almaktadır. Çalışmada, öğrencilerin proje paftaları değerlendirilmiştir. Araştırmanın amacı, öğrencilerin konut çevresi tasarımı problemine yönelik geliştirdikleri özgün tasarım senaryolarını; kavramsal yaklaşım, mekânsal kurgu ve tasarım dili bağlamında incelemektir. Bulgular, öğrencilerin tasarım sürecinde kültürel, doğal ve yerel referanslardan beslenerek kişisel yorumlarını mekâna aktardıklarını göstermektedir. Esin kaynaklarının, özellikle konseptin oluşumunda ve tasarımın bütüncül kurgusunda belirleyici olduğu; bu durumun projeler arasında belirgin bir çeşitlilik ve özgünlük yarattığı tespit edilmiştir. Yerel bağlamın bilinçli biçimde tasarım sürecine dâhil edilmesi, yalnızca estetik değil, anlam üretimi açısından da tasarımın niteliğini artırmaktadır. Çalışmanın, peyzaj mimarlığı tasarım eğitiminde süreç odaklı değerlendirme yaklaşımlarına katkı sunması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Peyzaj mimarlığı eğitimi, tasarım süreci, konsept geliştirme, konut çevresi tasarımı.

**THE PROCESS OF DEVELOPING ORIGINAL DESIGN SCENARIOS IN
RESIDENTIAL LANDSCAPE DESIGN: A STUDIO EXPERIENCE**

Asst. Prof., Alperen MERAL

Bingöl University, alperenmeral@bingol.edu.tr - 0000-0001-6714-7187

Asst. Prof., Ayşenur AKBANA

Bingöl University, abektas@bingol.edu.tr - 0000-0003-0394-7278

Research Assistant, İlknur YAZICI

Bingöl University, iyazici@bingol.edu.tr - 0009-0003-9134-2654

ABSTRACT

Landscape architecture education is a learning process that places design thinking at its core and integrates theoretical knowledge with studio practice. Design is not merely the act of producing a physical outcome; rather, it is a multi-layered process that involves problem definition, interpretation, conceptualization, and spatial decision-making. In this process, how students select, interpret, and transform their sources of inspiration into design decisions constitutes one of the key factors determining the originality of the final product. This study examines the studio works carried out within the scope of the Landscape Design II course conducted in the spring semester of the 2024–2025 academic year at the Department of Landscape Architecture, Bingöl University. Within the study, students' project boards were evaluated. The aim of the research is to analyze the original design scenarios developed by students in response to a residential landscape design problem, in terms of conceptual approach, spatial organization, and design language. The findings indicate that students drew upon cultural, natural, and local references during the design process and translated their personal interpretations into spatial solutions. Sources of inspiration were found to be particularly influential in the formation of the concept and in establishing a holistic design framework, resulting in notable diversity and originality among the projects. The conscious integration of local context into the design process enhances not only the aesthetic quality but also the production of meaning within the projects. The study is expected to contribute to process-oriented evaluation approaches in landscape architecture design education.

Keywords: Landscape architecture education, design process, concept development, residential environment design.

1. GİRİŞ

Peyzaj mimarlığı, tasarım stüdyoları ile bu stüdyoları kuramsal açıdan destekleyen derslerin birlikte yürütüldüğü bir akademik disiplindir. Günümüzde pek çok meslek alanında yenilikçi üretimlerin temelinde tasarım düşüncesi yer almaktadır. Tasarım, belirli bir probleme yönelik çözüm geliştirmeyi amaçlayan sistematik bir karar üretme süreci olarak tanımlanabilir. Diğer bir ifadeyle tasarım, herhangi bir olaya ya da gereksinime yönelik planlama ve uygulama aşamalarına zemin hazırlayan kurgulama ve hazırlık sürecinin bütünüdür (Newel ve Simon, 1972). Tasarım süreci, tasarımcının karşılaştığı bir problem durumuna ilişkin düşünsel ve algısal değerlendirmelerini sözel ya da görsel ifadeler aracılığıyla ortaya koymasıyla başlar. Süreç ilerledikçe, elde edilen veriler, analizler ve geçmiş deneyimlerden beslenen çok katmanlı bir değerlendirme aşaması devreye girer. Bu dinamik ve yoğun üretim süreci, farklı alternatiflerin sınanması ve geliştirilmesiyle olgunlaşarak çözüm önerisinin biçimlenmesiyle sonuçlanır (Vries, 1994). Steinitz (1990)'e göre peyzaj mimarlığı tasarım süreci estetik, algısal, ekolojik, tarihsel ve doğal yapıdan oluşmaktadır (Bayramoğlu vd., 2019).

Tasarım çoğu zaman somut bir ürünle görünür hâle gelse de, bu ürüne ulaşmayı sağlayan düşünsel sürecin soyut niteliği göz ardı edilemez. Bu nedenle tasarım eğitiminde odak noktası, ortaya çıkacak sonucun kendisinden ziyade, sonuca ulaşmayı mümkün kılan sürecin nasıl kurgulandığı olmalıdır. Tasarım sürecinde gelişen yaratıcılık ise bilişsel temelli bir yapıya sahiptir; sorgulama, üretme ve keşfetme aşamalarını içeren çok yönlü bir zihinsel etkinlik olarak şekillenir (Smith vd., 1995). Yaratıcı sürecin sonucu ortaya konulan tasarım süreci tasarım eyleminin ayrılmaz parçası olan “bilgi-tasarımcının yorumu-yorumun ifade edilme biçimi” boyutlarındaki etkileşim arasındaki bağlantıları kurma eylemidir (Kahvecioğlu, 2001). Yaratıcı tasarımlar yapmanın en uygun zamanı ise eğitim süreci dönemindedir. Çünkü öğrenci araştırmaya yeni fikirler ortaya koyma açısından farklı teorilerden yardım alabilir (Bayramoğlu vd., 2019). Mimarlık, peyzaj mimarlığı, şehir ve bölge planlama, iç mimarlık ile endüstriyel tasarım gibi tasarım temelli disiplinlerde, sürecin başlangıcında belirlenecek konseptin ve bu konsepte dayalı olarak geliştirilen hayal gücü odaklı mekânsal kurguların nasıl aktarılacağı ve öğretileceği önemli bir pedagojik tartışma alanı oluşturmaktadır (Casakin, 2007). Peyzaj mimarlığı eğitimi ülkelere, çalışılan konulara, üniversitelere ve fakültelere bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir (Güzel ve Kaya, 2020).

Peyzaj mimarlığı insanların istek ve ihtiyaçlarına yönelik açık alanlarda mekân yaratan sanat ve bilimi sentezleyerek yaratıcı ve özgün bir disiplindir (Düzenli ve Alpak, 2016). Peyzaj Mimarlığı disiplini, farklı alanlara ait kavram ve yaklaşımları bir araya getiren çok katmanlı bir yapıya sahip olduğundan, eğitim sürecinde çeşitli sistem ve bileşenlerin bütüncül bir anlayışla ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda öğrencilerden, tasarım sürecinin farklı aşamalarını entegre ederek amaç ve bağlama uygun, yaratıcı çözümler geliştirmeleri beklenmektedir. Tasarım stüdyoları ise kuramsal bilgiyi uygulamayla buluşturan, eleştirel düşünmeyi teşvik eden ve yaratıcı üretimi destekleyen temel öğrenme ortamları olarak bu sürecin tamamlayıcı unsurunu oluşturmaktadır (Özkan vd., 2016).

Çevrenin en iyi ne şekilde kullanılacağı konusunda ipuçları veren ve yol gösteren peyzaj tasarımında temel hedef peyzajları ve mekânları oluşturma ve değiştirme bağlamında; ekolojik, teknik, sanatsal ve estetik kriterler göz önüne alınarak fiziksel stratejiler ve biçimler

oluşturmak, bitkisel tasarım ile insan ve çevresi arasında sürdürülebilir alışverişi temin etmektir (Dong, 2009). Peyzaj tasarımı sürecinin başlangıç evresini, problematik bir durumun kabulü ve buna bir çözüm bulma kararlılığı oluşturmaktadır (Ching, 2002).

Bingöl Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü'nde uygulamalı stüdyo dersleri, öğretim elemanları ile öğrenciler arasında birebir etkileşime dayalı olarak yürütülmektedir. Bu çalışmada, 2024–2025 Eğitim-Öğretim Yılı bahar döneminde Peyzaj Mimarlığı Bölümü 2. sınıf müfredatında yer alan zorunlu Peyzaj Tasarım II dersi kapsamında yürütülen tasarım eğitimi ele alınmıştır. Ders kapsamında öğrencilerin bir dönem boyunca geliştirdikleri tasarım projelerinin süreç aşamaları ve ortaya çıkan nihai ürünleri incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Proje çalışmasında tasarım alanı olarak konut çevresi seçilmiş olup, öğrenciler bu bağlamda konut peyzajına yönelik tasarım önerileri geliştirmiştir. Bu çalışma kapsamında, belirlenen tasarım problemi doğrultusunda öğrencilerin geliştirdikleri özgün tasarım senaryoları ele alınmıştır. Öğrencilerin senaryo oluşturma sürecinde hangi kaynaklardan esinlendikleri, bu esin kaynaklarını nasıl yorumladıkları ve tasarım kararlarına nasıl yansıtıtları incelenmiştir. Özellikle esin kaynaklarının konsept oluşumu, mekânsal kurgu ve tasarım dili üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu çalışmanın ana materyalini, Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü 2. sınıfında 2024–2025 bahar yarıyılında yürütülen Peyzaj Tasarımı II dersi kapsamında gerçekleştirilen çevrimiçi stüdyo çalışmaları oluşturmaktadır. Ders haftada 3 saat teorik ve 2 saat uygulama olmak üzere toplam 5 saat yürütülmekte olup 6 AKTS kredisine sahiptir. İkinci sınıf tasarım stüdyosu kapsamında ele alınan proje çalışmaları; alan analizleri, konsept geliştirme ve tasarım aşamalarını içermektedir. Öğrenciler, belirlenen proje alanının fiziksel ve ekolojik özellikleri doğrultusunda sürdürülebilir alan kullanım yaklaşımı temelinde fikir projesi geliştirmiştir. Çalışma kapsamında üretilen tasarım önerileri araştırmanın temel inceleme materyalini oluşturmaktadır.

2.2. Yöntem

Bu araştırma, nitel araştırma yaklaşımı çerçevesinde kurgulanmış olup doküman incelemesine dayanmaktadır. Çalışmanın araştırma grubunu, Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü 2024–2025 Eğitim-Öğretim Yılı bahar döneminde yürütülen Peyzaj Tasarımı II dersi kapsamında konut çevresi tasarımı problemine yönelik proje geliştiren ikinci sınıf öğrencileri oluşturmaktadır. Araştırma verileri, öğrenci paftalarından elde edilmiştir. Bu dokümanlar, öğrencilerin tasarım sürecinde yararlandıkları esin kaynaklarını, geliştirdikleri kavramsal çerçeveyi ve mekânsal kararlarını ortaya koyan temel veri setini oluşturmuştur. Araştırmada etik ilkelere uygun hareket edilmiş, öğrencilerin kimlik bilgileri gizli tutulmuş ve değerlendirme yalnızca tasarım ürünleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda çalışma, tasarım sürecinde esin kaynaklarının özgünlük üretimine katkısını ortaya koymayı amaçlamaktadır.

3.BULGULAR

3.1. Kavramsal Yaklaşım Odaklı Bulgular

Öğrenci projelerinin incelenmesi sonucunda, tasarım sürecinin güçlü bir kavramsal çerçeve üzerinden yapılandırıldığı görülmüştür. Konut çevresi tasarım problemine yönelik geliştirilen senaryolarda, öğrencilerin öncelikle bir ana fikir belirledikleri ve mekânsal kararlarını bu fikir doğrultusunda şekillendirdikleri tespit edilmiştir. Kavramın yalnızca sözel bir ifade olarak kalmadığı; form, mekânsal organizasyon, donatı seçimi ve bitkisel tasarım kararlarıyla bütüncül biçimde desteklendiği gözlemlenmiştir. Bu durum, tasarım sürecinde kavramın yönlendirici bir araç olarak etkin biçimde kullanıldığını göstermektedir.

Görsel 1’de sürdürülebilirlik kavramı temel alınmıştır. Çevresel duyarlılık ve ekolojik döngü prensipleri tasarımın ana belirleyicisidir. Konut çevresi, yalnızca rekreatif bir açık alan olarak değil; enerji üretimi, su yönetimi ve gıda üretimini destekleyen bütüncül bir yaşam peyzajı olarak kurgulanmıştır. Bu doğrultuda rüzgâr ve güneş enerjisi panelleriyle desteklenen dinlenme alanı tasarlanmış; kullanıcı konforu ile yenilenebilir enerji üretimi aynı mekânsal çözüm içerisinde birleştirilmiştir. Yağmur suyu toplama sistemi ve yağmur bahçesi uygulamalarıyla yüzey akışının kontrol altına alınması ve suyun yeniden kullanımı hedeflenmiş; biyolojik gölet aracılığıyla mikroklimatik etki ve ekolojik çeşitlilik artırılmıştır. Ayrıca permakültür bahçesi önerisiyle üretim–tüketim dengesi gözetilmiş, kullanıcıların doğayla etkileşimini güçlendiren katılımcı bir açık alan senaryosu geliştirilmiştir.

Bu kapsamda geliştirilen mekânsal kararlar; alanın ekolojik, estetik ve sosyal performansının birlikte değerlendirilmesine (Meral vd., 2025) olanak tanımış, sürdürülebilirlik kavramının yalnızca tematik bir söylem olarak değil, işlevsel, mekânsal ve ekolojik karşılığı olan somut tasarım stratejileriyle desteklendiğini ortaya koymuştur.



Görsel 1. Sürdürülebilirlik konsepti doğrultusunda geliştirilen tasarım önerisi

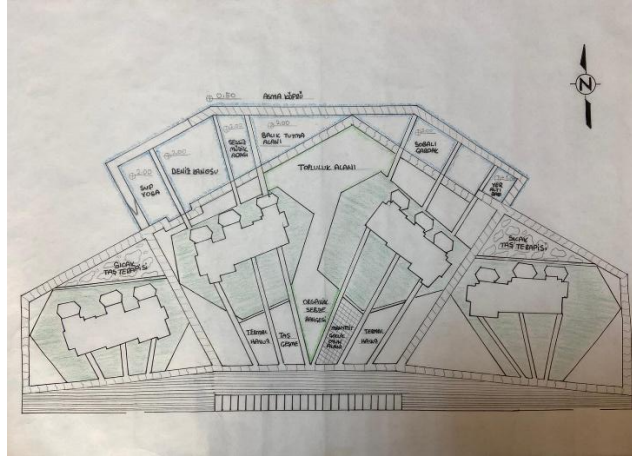
3.2. Mekânsal Kurguya İlişkin Bulgular

Projelerde mekânsal organizasyonun, belirlenen senaryoya paralel olarak geliştiği tespit edilmiştir. Bazı projelerde merkezî bir odak etrafında bütünleşen kompakt çözümler üretilirken, bazı projelerde lineer ya da parçalı mekânsal kurgu tercih edilmiştir. Bu çeşitlilik,

öğrencilerin tasarım problemine tek tip bir çözüm üretmek yerine, farklı mekânsal stratejiler geliştirebildiklerini ortaya koymaktadır.

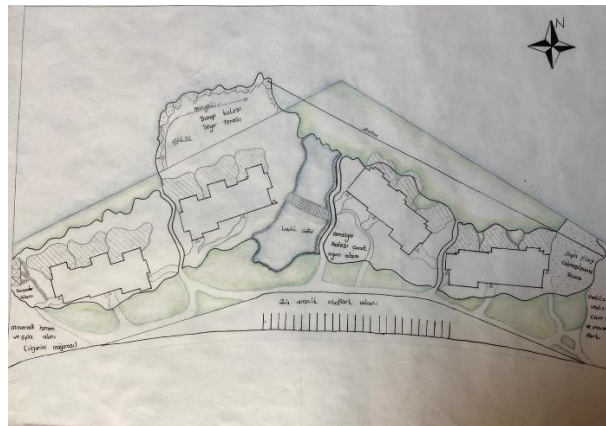
Alanın suya yakınlığı etkinlik bağlamında çeşitlilik sağlamaktadır (Meral vd., 2026). Bu bağlamda öğrenciler, su ögesini tasarımın etkin bir bileşeni olarak ele almış; su yüzeyi ve kıyı hattında gerçekleştirilebilecek farklı etkinliklere yönelik mekânsal öneriler geliştirmiştir.

Görsel 2’de öğrenci açık alan organizasyonunu, ana toplanma mekânı olarak tanımlanan merkezi odak etrafında şekillendirmiş; dolaşım aksları bu odağa yönelerek mekânsal bütünlük sağlamıştır. Fonksiyon alanları merkezden çevreye doğru hiyerarşik biçimde dağıtılmış, sert ve yumuşak zemin kullanımı ile bitkisel düzenlemeler bu organizasyonu desteklemiştir. Bu yaklaşım, mekânsal süreklilik ve kullanıcının yönlendirilmesi açısından güçlü bir kurgu ortaya koyarken, sınırlı alan içerisinde etkin ve okunabilir bir plan şeması oluşturulmasını sağlamıştır.



Görsel 2. Merkezî bir odak etrafında kurgulanan kompakt tasarım çözümü

Görsel 3’te öğrenci açık alan organizasyonunu, tek bir merkez yerine birbirinden yarı bağımsız alt mekânlar aracılığıyla kurgulamıştır. Fonksiyon alanları, belirli kullanım senaryolarına göre parçalı biçimde dağıtılmış; bu alanlar bitkisel sınırlar, zemin farklılaşmalarıyla tanımlanmıştır. Mekânlar arasında hem fiziksel hem görsel geçirgenlik sağlanarak kopukluk yerine kontrollü bir bütünlük oluşturulmuştur. Bu yaklaşım, kullanıcıya farklı deneyim odakları sunarken alan içinde çeşitlilik ve esneklik kazandırmıştır.



Görsel 3. Parçalı mekânsal kurguya sahip tasarım önerisi

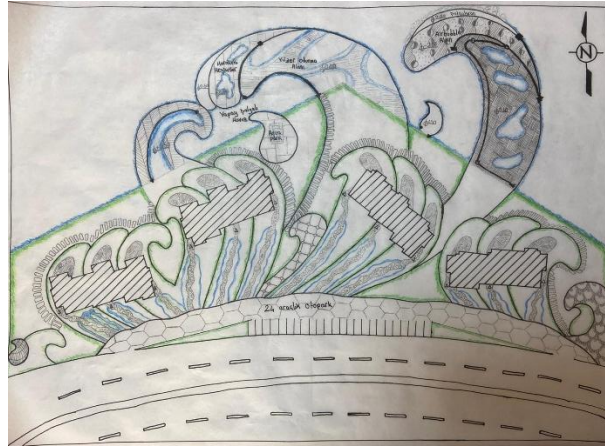
3.3. Tasarım Dili ve Biçimsel Kararlara İlişkin Bulgular

Bitkisel tasarım kararlarında yerel tür kullanımına yönelim olduğu belirlenmiştir. Bitki seçiminin yalnızca estetik değil; gölgeleme, sınır oluşturma ve mekânsal tanımlama gibi işlevsel kriterler doğrultusunda yapıldığı görülmektedir. Bu durum, tasarım kararlarının yalnızca görsel etki üzerinden değil, performans ve sürdürülebilirlik kriterleri çerçevesinde değerlendirildiğini göstermektedir.

3.4. Yerel ve Kültürel Referanslara İlişkin Bulgular

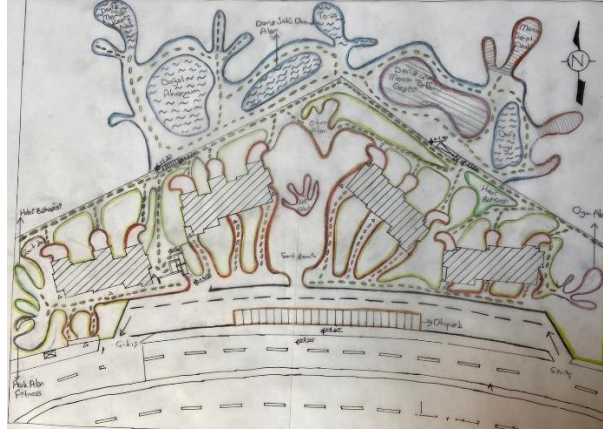
Bazı projelerde kültürel referansların doğrudan metaforik anlatımlar aracılığıyla tasarıma aktarıldığı belirlenmiştir. Geleneksel motiflerden, yerel doğal peyzaj karakterinden veya bölgesel kimlik öğelerinden esinlendiği; bu referansların soyutlanarak mekânsal kurguya entegre edildiği tespit edilmiştir. Bu yaklaşım, tasarımın yalnızca fiziksel değil, anlamsal bir derinlik kazanmasını sağlamaktadır.

Görsel 4’te Karadeniz bölgesini temsilen dalga formu hem mekânsal organizasyonun temel belirleyicisi hem de etkinlik alanlarının kurgulanmasında yönlendirici bir unsur olarak ele alınmıştır. Sert ve yumuşak zemin geçişleri, kıvrımlı dolaşım aksları ve bitkisel düzenlemeler dalga hareketini yansıtan süreklilik anlayışıyla tasarlanmıştır. Konsept yalnızca biçimsel bir ifade olarak kalmayıp mekânsal deneyimi tanımlayan bir tasarım stratejisine dönüşmüştür.



Görsel 4. “Dalga” konsepti doğrultusunda geliştirilen tasarım önerisi

Görsel 5’te öğrenci mekânsal kurguda, mercan ekosisteminin çok katmanlı ve dallanıp budaklanan yapısından esinlenerek tasarım önerisini geliştirmiştir. Alan içerisinde önerilen deniz çiçeği temalı odak mekân, mercan tarlası gezisi rotası, doğal akvaryum alanı ve deniz mercanı keşif noktası gibi etkinlik birimleri, konseptin hem biçimsel hem de işlevsel yansımaları olarak kurgulanmıştır.



Görsel 5. “Mercan” konsepti doğrultusunda geliştirilen tasarım önerisi.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Öğrenciler tarafından hazırlanan arazi yapısı diyagramında belirlenen mekânsal alt bölgeler ile bu alanlara önerilen rekreasyonel aktiviteler, uygun ölçek kararları doğrultusunda değerlendirilmiş; işlev–alan ilişkisi gözetilerek kavramsal tasarım aşamasına aktarılmıştır (Yalçınalp ve Meral, 2018). Bu aktarım süreci, ön proje, tasarım geliştirme ve detaylandırma çalışmalarının sistematik bir kurgu içerisinde ilerlemesine zemin hazırlamıştır. Öğrencilerin proje paftaları üzerinden yapılan değerlendirmelerde; kavramsal yaklaşımın tasarımın omurgasını oluşturduğu, esin kaynaklarının ise özellikle mekânsal kurgu ve tasarım dili üzerinde belirleyici rol oynadığı tespit edilmiştir. Öğrencilerin dönem başında kendi özgün konseptleri doğrultusunda bireysel örnek araştırmaları yapmaları, tasarım sürecini bilinçli ve analitik bir zemine taşımış; bu durum ortaya çıkan projelerin birbirinden farklı ve özgün bir karakter sergilemesini sağlamıştır. Yerel bağlamın tasarım sürecine bilinçli biçimde dâhil edilmesi, projelerde yalnızca estetik çeşitlilik değil, aynı zamanda anlam katmanlarının oluşmasına da katkı sunmuştur. Genel olarak değerlendirildiğinde, öğrencilerin esin kaynaklarını seçme, yorumlama ve mekânsal kararlara dönüştürme becerilerinin geliştiği; kavramsal yaklaşım, mekânsal kurgu ve tasarım dili arasında kurulan ilişkinin tasarımların niteliğini artırdığı görülmektedir. Sonuçlar, tasarım eğitiminde yalnızca sonuç ürüne değil, sürecin kendisine odaklanan bir stüdyo yaklaşımının önemini ortaya koymaktadır.

Peyzaj tasarımında,

- Konsept,
- Peyzaj içinde yer alacak sirkülasyon sistemi,
- Yeşil ve mimari yapı elemanlarının seçimi ve konumlandırması,
- Estetik bir dengenin, sağlanmasına öncelik verilmelidir (Çınar, 2008).

Peyzaj tasarımının yalnızca biçimsel arayışlardan, geleneksel yaklaşımlardan ya da görsel beğeniye dayalı tercihlerden ibaret olmadığı; tüm bu unsurların birim–bütün ilişkisi içinde uyumlu biçimde ele alınmasını gerektiren kapsamlı bir tasarım eylemi olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle tasarım kararları, ekolojik ve sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda şekillendirilmelidir. Zira peyzaj mimarlığında tasarımın temel bileşenlerinden biri olan bitkisel materyal canlı ve dinamik bir öğedir; mevsimsel ve yıllara bağlı değişim

gösteren gelişim süreçlerinin tasarım aşamasında öngörülmesi gerekmektedir (Yaşar ve Düzgüneş, 2013).

Sonuç olarak çalışma, peyzaj mimarlığı tasarım eğitiminde öğrencilerin esin kaynaklarını bilinçli biçimde analiz etmeleri ve tasarım kararlarına dönüştürmeleri yönünde rehberlik edilmesinin, daha özgün ve nitelikli mekânsal çözümler üretilmesine katkı sunduğunu göstermektedir. Bu bağlamda; tasarım stüdyolarında kavramsal tartışmaların güçlendirilmesi, yerel bağlam analizlerinin sistematik biçimde sürece entegre edilmesi ve değerlendirme ölçütlerinin yalnızca nihai ürün yerine tasarım sürecini de kapsayacak şekilde yapılandırılması önerilmektedir. Çalışmanın, peyzaj mimarlığı eğitiminde süreç temelli değerlendirme yaklaşımlarına ve özgün tasarım üretimine yönelik akademik tartışmalara katkı sağlaması beklenmektedir.

Tasarım Stüdyoları İçin Çıkarımlar

- Tasarım sürecinin başlangıç aşamasında öğrencilerin bireysel araştırma yapmaları teşvik edilmeli ve bu araştırmalar stüdyo içi tartışmalarla desteklenmelidir.
- Kavramsal çerçevenin netleştirilmesi amacıyla erken aşamada sözlü sunum ve eleştiri oturumlarına yer verilmelidir.
- Bitkisel ve yapısal tasarım kararları eş zamanlı ele alınmalı; mekânsal kurgu yalnızca sert zemin ve yapı elemanları üzerinden değil, bitkisel tasarım stratejileri üzerinden de geliştirilmelidir.
- Yerel bağlam analizleri yalnızca fiziksel verilerle sınırlı kalmamalı; kültürel ve sosyal referanslar da tasarım sürecine entegre edilmelidir.
- Değerlendirme ölçütleri; analiz, konsept geliştirme ve tasarım kararlarının tutarlılığını kapsayacak biçimde süreç temelli olarak yapılandırılmalıdır.

Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler

- Farklı üniversitelerde yürütülen tasarım stüdyolarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi, tasarım pedagojisine ilişkin daha geniş ölçekli çıkarımlar yapılmasına katkı sağlayabilir.
- Öğrencilerin tasarım sürecindeki düşünsel gelişimini izlemeye yönelik uzunlamasına çalışmalar yapılabilir.
- Esin kaynaklarının tasarım özgünlüğü üzerindeki etkisini ölçmeye yönelik deneysel ya da yarı deneysel araştırma modelleri oluşturulabilir.

KAYNAKÇA

Bayramoğlu, E., Büyükkurt, U., & Yurdakul, N. M. (2019). Peyzaj Mimarlığı Eğitiminde Proje Tasarım Süreci: Trabzon “Karagöz Meydanı” Çevre Tasarım Projeleri. *Social Sciences*, 14(1), 15-24.

Casakin H. P. (2007). Factors of metaphors in design problem-solving: implications for design creativity. *International Journal of Design*, 1, 21-33.

Ching, F. D. K., 2002. Mimarlık. YEM Yayın. Çeviri: Sevgi Gökçe, İstanbul.

Çınar, S. (2008). Ev bahçesinde peyzaj tasarımı süreci. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 58(1), 73-90.

Dong, D. Z. 2009. Study on Sustainable Landscape Design of Abandoned Quarries An Example: Zhushan Ecological Park in Xuzhou. *Procedia Earth and Planetary Science*, (1):1107-1113.

- Düzenli, T. & Alpak, E.M. (2016). Peyzaj Mimarlığı Eğitiminde Doğaya Öykünme Yaklaşımının Yaratıcılık Üzerindeki Etkisi. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 1(1), 13-21.
- Güzel, Z. T., & Kaya, M. E. (2020). Peyzaj Mimarlığı Eğitimindeki Fakülte Yaklaşımlarının Ekolojik Bilinç Kazanımına Etkisinin Değerlendirilmesi. *Journal Of Landscape Research And Practices (JOLARP)*, 2(2), 61-72.
- Kahvecioğlu, N.P. (2001). Mimari Tasarım Eğitiminde Bilgi ve Yaratıcılık Etkileşimi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, ss:1-247.
- Meral, A., Özkan, D. G., Demirci, Ö., & Yazıcı, İ. (2025). Transforming an Urban Void into an Ecological Public Space: Landscape Design and Implementation of Ardahan Nation's Garden (Türkiye). *International Journal of Nature and Life Sciences*, 9(2), 98-115. <https://doi.org/10.47947/ijnls.1807031>
- Meral, A., Özkan, D. G., Demirci, Ö., & Yazıcı, İ. (2026). Ex-ACT Tabanlı Bir Yaklaşımla Kentsel Peyzaj Dönüşümlerinin Karbon Bütçesi Değerlendirmesi: Bingöl Genç Millet Bahçesi Örneği. *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, (2026), 1-9.
- Newell, A. and Simon, H.A. (1972). *Human Problem Solving* (Vol:104, No:9). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Özkan, D. G., Alpak, E. M., & Düzenli, T. (2016). Tasarım Eğitiminde Yaratıcılığın Geliştirilmesi: Peyzaj Mimarlığı Çevre Tasarımı Stüdyo Çalışması. *IJASOS-International E-journal of Advances in Social Sciences*, 2(4), 136-143.
- Smith S.M., Ward T.B. ve Finke R.A. (1995) *Creative Cognition Approach*, MIT Press, Cambridge, London.
- Vries, A.E., (1994). *Structuring Information for Design Problem Solving*, Eindhoven University of Technology, Eindhoven.
- Yalçınalp, E., & Meral, A. (2018). The Design Process of Vakfikebir River Fol Park. *American Journal of Civil and Environmental Engineering*, 3(4), 105-111.
- Yaşar, Y., & Düzgüneş, E. (2013). Peyzaj Tasarımına Sürdürülebilirlik Kavramının Entegrasyonu: Bir Stüdyo Çalışması. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 3(7). <https://izlik.org/JA99DX42YW>

WHITE CABBAGE AS A NATURAL BIOSORBENT IN DYE REMOVAL PROCESSES

Dr. Öğretim Üyesi, Nurşah KÜTÜK

Sivas Cumhuriyet University, nkutuk@cumhuriyet.edu.tr - 0000-0001-5799-3865

ABSTRACT

In recent years, water pollution has become an increasingly significant global issue. This problem poses a direct threat to both human health and ecosystems, making access to clean water more difficult. Therefore, wastewater treatment has become one of the most widely studied research areas. Biosorption and adsorption processes offer simple, safe, and efficient solutions. In this study, the biosorption behavior of white cabbage, an important agricultural product, was investigated. The biosorption process was optimized using white cabbage as a biosorbent for the removal of Titan Yellow (TY), an anionic dye, from wastewater. The effects of pH, biosorbent dosage, and mixing speed on the process were examined. At 200 rpm, pH 1, and a biosorbent dosage of 5 g/L, the highest biosorption efficiency, exceeding 80%, was achieved. The biosorption mechanism and its characteristics were evaluated through isotherm, kinetic, and thermodynamic analyses. The results indicated that chemisorption occurred between white cabbage and TY, and that the process was exothermic and spontaneous. The structure of the biosorbent was characterized using Scanning Electron Microscopy (SEM) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).

Keywords: Biyosorption, dye, white cabbage

MICELLES CONTAINING CATIONIC SURFACTANT AND PROTEIN: DETERMINATION OF CRITICAL MICELLE CONCENTRATIONS

Doç. Dr. Özgür Masalci

Ege Üniversitesi, omasalci@gmail.com – ORCID: 0000-0003-3436-7284

Yüksek Lisans Öğrencisi, Iman Mateen Ikram ALBAYATI

Ege Üniversitesi, imanmetin7@gmail.com – ORCID: 0009-0008-1805-8514

ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine the critical micelle concentration (CMC) in cationic surfactant–protein systems and to investigate the effect of protein presence on micellization behavior. Surfactants are amphiphilic compounds containing both hydrophilic and hydrophobic groups within the same molecule, and they enable micelle formation by reducing surface and interfacial tension in solution. When a certain concentration is reached, surfactant molecules form ordered aggregates due to hydrophobic interactions; this critical point is defined as the critical micelle concentration (CMC). In this study, the interactions between cetyltrimethylammonium bromide (CTAB), a commonly used cationic surfactant, and bovine serum albumin (BSA), a negatively charged protein, were investigated. Under physiological pH conditions, since most proteins possess a net negative charge, cationic surfactants can establish strong electrostatic interactions with proteins. These interactions are known to significantly affect the micellization behavior of surfactants and their CMC values. Electrical conductivity measurements were employed to determine the critical micelle concentration. In conductivity measurements, the breakpoint observed in the conductivity versus concentration plots was used to identify the CMC. Experimental studies were carried out under different BSA concentrations and temperature conditions. The obtained results showed that the CMC value decreased with increasing BSA concentration. This indicates that protein–surfactant electrostatic interactions facilitate micellization. In addition, an increase in temperature led to an increase in the CMC value. The results are consistent with the literature and contribute to a better understanding of micellization behavior in protein–cationic surfactant systems.

Keywords: Critical micelle concentration, CTAB, BSA, Cationic surfactant, Protein–surfactant interaction

İKİ FARKLI FOTOBİYOREAKTÖR TÜRÜNDE *SPİRULİNA PLATENSİS* MİKROALGININ BÜYÜME PERFORMANSININ VE EKONOMİK BOYUTUNUN İNCELENMESİ

Su Ürünleri Yük. Müh., Yalçın Mete COŞKUN

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı,
yalcinmetecoskun@gmail.com - 0000-0002-7361-7808

Doç. Dr. Mustafa Tolga TOLON

Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, tolga.tolon@ege.edu.tr - 0000-
0002-2233-0663

ÖZET

Mikroalgler, su ürünleri endüstrisinde birincil üretim kaynağı olarak kritik bir role sahiptir. Bunun yanı sıra gıda, enerji, ilaç ve katma değeri yüksek biyo-tabanlı ürünlerin endüstriyel üretiminde de umut verici bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Mikroalg yetiştiriciliğinde verimliliği maksimize etmek için sıcaklık, ışık şiddeti, pH, karıştırma hızı ve CO₂ konsantrasyonu gibi büyüme parametrelerinin optimizasyonu büyük önem taşımaktadır. Farklı açık ve kapalı üretim sistemlerinde, sistem karmaşıklığı ile operasyonel sürdürülebilirlik arasındaki denge titizlikle analiz edilmelidir. Bu çalışmada; yetiştirme ortamları, üretim sistemleri ve büyüme üzerinde etkili olan fizikokimyasal parametreler incelenmiş; ayrıca yaygın üretilen mikroalg türlerinin farklı fotobiyoreaktör sistemlerindeki ekonomik boyutları özetlenmiştir. Çalışma, mevcut sistemlerin avantaj ve dezavantajlarını karşılaştırmalı olarak ele alarak, biyokütle verimliliğinin artırılmasına yönelik gelecek tartışmalara ışık tutmaktadır. Sonuç olarak, mikroalg biyokütlesinin etkin bir şekilde elde edilmesinde, teknolojik entegrasyonun yanı sıra sistemlerin ekonomik sürdürülebilirliğinin temel bir gereklilik olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler : Fotobiyoreaktör, Biyokütle verimliliği, Mikroalg kültürü

AN INVESTIGATION OF THE GROWTH PERFORMANCE AND ECONOMIC ASPECTS OF SPIRULINA PLATENSIS MICROALGAE IN TWO DIFFERENT TYPES OF PHOTOBIOREACTORS

MSc, Yalçın Mete COŞKUN

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı,
yalcinmetecoskun@gmail.com - 0000-0002-7361-7808

Assoc. Prof.Dr. Mustafa Tolga TOLON

Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, tolga.tolon@ege.edu.tr - 0000-0002-2233-0663

ABSTRACT

Microalgae play a critical role as primary producers in the aquaculture industry. Additionally, they emerge as a promising option for the industrial production of food, energy, pharmaceuticals, and high-value bio-based products. To maximize efficiency in microalgae cultivation, the optimization of growth parameters such as temperature, light intensity, pH, mixing rate, and CO₂ concentration is of paramount importance. In various open and closed cultivation systems, the interaction between system complexity and operational sustainability must be meticulously evaluated. This study examines cultivation media, production systems, and the physicochemical parameters affecting microalgal growth, while summarizing the economic dimensions of commonly cultivated species in different photobioreactor systems. By providing a comparative analysis of the advantages and disadvantages of current systems, the study sheds light on future research and discussions regarding the improvement of biomass yield. In conclusion, it is established that alongside technological integration, the economic sustainability of these systems is a fundamental requirement for the efficient acquisition of microalgal biomass.

Keywords: Photobioreactors, Biomass Efficiency, Microalgae Cultivation

1. GİRİŞ

Endüstriyel sektörlerde mikroalg üretimi, biyokütle ek olarak değerli yan ürünler elde ederek işletme maliyetlerini düşürmeyi amaçlamaktadır. Mikroalg pazarının farklı dallara ayrılması, pazar payının büyümesini tetikliyor ve bu pazarın 2030 yılında 3,08 milyar ABD dolarına ulaşması bekleniyor. Düşük yatırım, işletme ve enerji maliyetleri nedeniyle açık havuzlar küresel pazara hakim olmaya devam etsede, ilaç, gıda, besin takviyeleri ve kozmetik gibi yüksek kaliteli endüstrilerdeki gelişmelerin fotobiyoreaktör kullanımını artırması bekleniyor. [1]

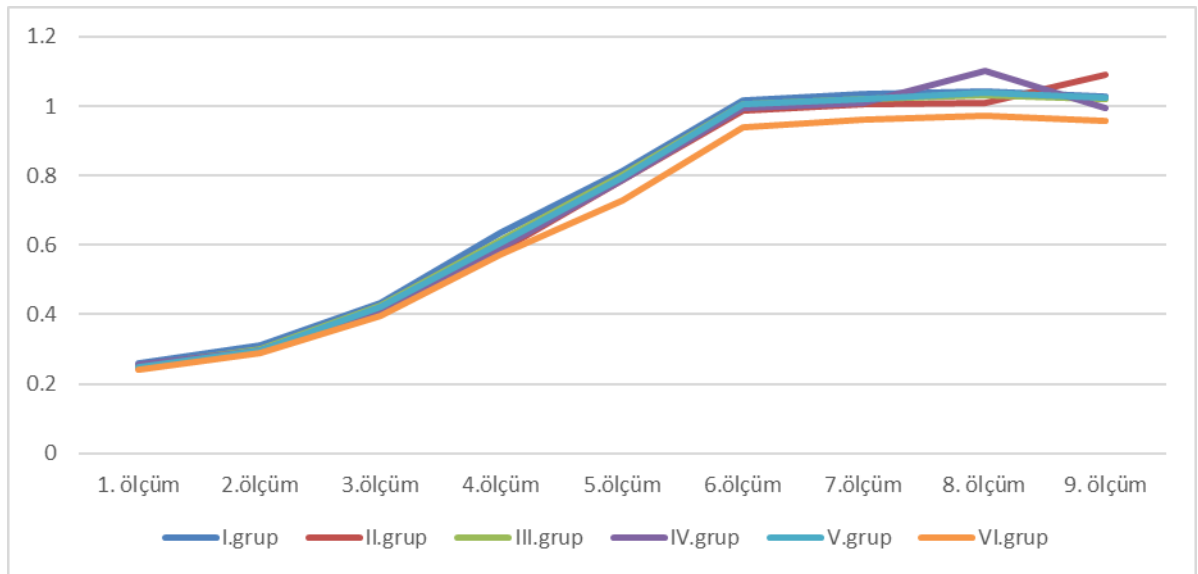
Mikroalgler çoğu uygulamada açık sistemlerde ve fotobiyoreaktörlerde yetiştirilebilmektedir. Açık sistemlerin kontrolü zor olduğundan dolayı büyük ölçekli üretimlerde sorun yaratmaktadır. Fotobiyoreaktörler, sağladıkları steril ortamla bu sorunların üstesinden gelebilmektedir. Işık kaynağı ve ışık yoğunluğu, mikroalglerin büyümesini etkileyen kritik faktörlerdendir. Verimli ve uygun maliyetli foto-biyoreaktör sistemleri için, fotobiyoreaktörlerde yapay ışık kaynağı kullanılmaktadır. Mikroalglerin bölünme ve fotosentez kinetikleri sıcaklık, pH ışık yoğunluğu, karıştırma gibi pek çok etmene bağlı değişiklik göstermektedir. Yapılan deney çalışmaları optimum büyüme koşullarının maksimum biyokütle üretimi ile sonuçlandığını göstermektedir. Sistem optimizasyonunun sağlanması ve azot, oksijen, CO₂ gibi mikroorganizma için gerekli tüm besin maddelerinin ortamda varoluşu, hücre biyokütlesinin aktivitesini, hücre metabolizma modelini ve hücre bileşimindeki değişimin yanı sıra fotosentezin verimliliğini desteklemektedir [2]

Spirulina Platensis ve diğer Spirulina türleri özellikle gıda sektöründe sıkça kullanılmaktadır. Aydınlatma, sıcaklık, aşılama hacmi, karıştırma hızı, pH, su kalitesi ve genel mikro besin zenginliği Spirulina üretimini etkileyen çevresel parametrelerden birkaçıdır. Spirulina için ideal sıcaklıklar, 20 ile 35 °C arasında değişmekte olup 30 °C'de maksimum biyokütle üretimi görülmüştür. Düşük ışık yoğunluğu Spirulina türlerinde büyümede düşüşe neden olmuş yapılan iki farklı çalışmada 6000 lux kırmızı ışıkta ve 9000 lux beyaz ışıkta maksimum biyokütle üretildiği görülmekle birlikte 24 saat ve 18 saat aydınlık gibi farklı fotoperiyotların da büyümede etkili olduğu saptanmıştır. Alkali sularda büyüyen Spirulina türleri için ideal pH aralığı 8,5 – 9,5 değerinde en yüksek kuru ağırlığa, maksimum protein üretimine ve en yüksek antioksidan aktiviteye sahip olmuştur. Hücre duvarının diğer mikroalg türlerine nazaran daha kolay parçalanabilir olmasından dolayı *Spirulina platensis* için hassasiyet ile karıştırma önemli bir nokta olup optimum seviye 0,5 vvm 'dir [3].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada *Spirulina platensis* mikroalginin iki farklı fotobiyoreaktör sisteminde büyümesi incelenmiştir. Deneme çalışmaları 3 tekrarlı olarak yapılmıştır. Özel bir işletmeden temin edilen kültürler aşı olarak kullanılmak üzere çoğaltılmıştır. Kültürler zarrouk medium ortamı kullanılarak çoğaltılmıştır. Zarrouk medium ortamının içeriği şu şekilde hazırlanmıştır; Distile edilmiş 1 L suya NaHCO₃—16.8 g, NaNO₃—2.5 g, K₂HPO₄—0.5 g, K₂SO₄—1.0 g, NaCl—1.0 g, CaCl₂·2H₂O—0.04 g, MgSO₄·7H₂O—0.2 g, FeSO₄·7H₂O 0.01g eklenmiştir. [4] Hava motoru ile kültürler sürekli havalandırma uygulanmıştır.

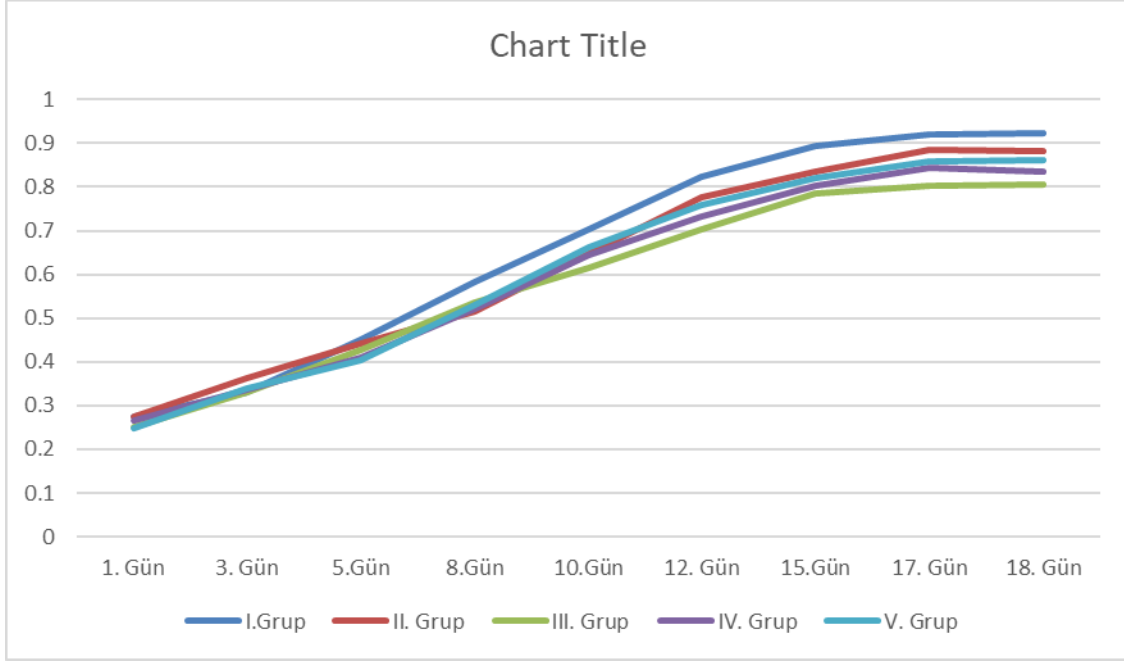
Stok kültürler kontrol grubu çalışmaları için 1'er litrelik erlenlere 100 ml saf kültür 900 ml zarrouk medium içeren su eklenmiştir. Bir hava motoru yardımı ile erlenlerde karışım sürekli olarak sağlanmıştır. 12 saat aydınlık 12 saat karanlık periyot uygulanmış ve bu bir zamanlayıcı yardımıyla kontrol edilmiştir. 14 günün sonunda hücre büyümesi durma noktasına gelmiştir. Günlük olarak spektrofotometre cihazında 650 nM dalga boyunda ölçümler yapılmış ve hücre adetleri mikroskop altında neuber lamında sayılmıştır. Büyüme grafiği aşağıda grafik tablosu ile gösterilmiştir.



Çizelge 1. Kontrol Grubu Büyüme Eğrisi Grafiği

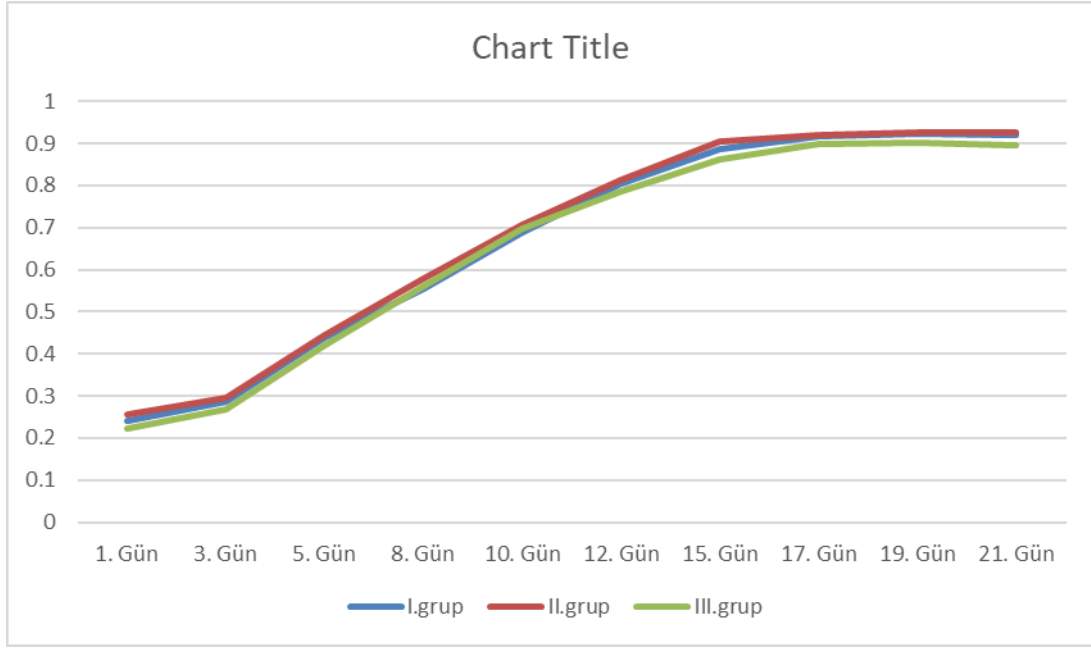
Deneme grubu 1 çalışmaları için 25'er litrelik şeffaf tankların oluşturduğu fotobiyoreaktör sistemine 2500 ml saf kültür kalan miktar kadar zarrouk medium içeren su eklenmiştir. Blower yardımı ile tanklara sürekli olarak hava sağlanmıştır. Aydınlatma şerit ledlerle sağlanmış olup 12 saat aydınlık 12 saat karanlık periyot uygulanmış ve bu bir zamanlayıcı yardımıyla kontrol edilmiştir. 18 günün sonunda hücre büyümesi durma noktasına gelmiştir.

Günlük olarak spektrofotometre cihazında 650 nM dalga boyunda ölçümler yapılmış ve hücre adetleri mikroskop altında neuber lamında sayılmıştır. Büyüme grafiği aşağıda grafik tablosu ile gösterilmiştir.



Çizelge 2. Deneme Grubu 1 Büyüme Eğrisi Grafiği

Deneme grubu 2 çalışmaları için 3000 litrelik fotobiyoreaktör sistemine 300 litrelik saf kültür kalan miktar kadarda zarrouk medium içeren su eklenmiştir. Blower yardımı ile sisteme sürekli olarak hava sağlanmıştır. Aydınlatma fotobiyoreaktör sisteminin içerisinde yer alan tübüler kolanlara şerit ledler konularak sağlanmış olup 12 saat aydınlık 12 saat karanlık periyot uygulanmış ve bu bir zamanlayıcı yardımıyla kontrol edilmiştir. 21 günün sonunda hücre büyümesi durma noktasına gelmiştir. Günlük olarak spektrofotometre cihazında 650 nM dalga boyunda ölçümler yapılmış ve hücre adetleri mikroskop altında neuber lamında sayılmıştır. Büyüme grafiği aşağıda grafik tablosu ile gösterilmiştir.



Çizelge 3. Deneme Grubu 2 Büyüme Eğrisi Grafiği

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Kontrol grubu çalışmasında 1'er litrelik 3 erlende yapılan çalışmada mikroalg kültürünün çökmemesi karışımın sağlanması için 1 adet akvaryum tipi hava motoru 24 saat boyunca çalıştırılmıştır. Mikroalg yetiştirmede ihtiyaç duyulan aydınlatma ise bir led floresan lamba ile 12 saat aydınlık 12 saat karanlık olacak şekilde bir zamanlayıcı priz yardımıyla ayarlanıp sağlanmıştır. Hava motoru günlük 0,084 kW, led aydınlatma ise günlük 0,144 kW enerji harcamış olup 14 gün süren çalışma boyunca toplam harcanan enerji 3.192 kWh'dır. Çalışmanın yapıldığı dönemde elektrik kWh ücreti tarım işletmeleri için 3,95 TL olacak şekilde belirtilmiş ve buna göre hesaplanmıştır. Kontrol grubu çalışmasında toplam enerji maliyeti 12,60 TL'dir. Toplamda 3 litre üretilen mikroalg için birim fiyat olarak 1 litre mikroalg için harcanan birim enerji maliyeti 4.2 TL olmuştur.

Deneme grubu 1 çalışmasında 25'er litrelik 5 tankta yapılan çalışmada mikroalg kültürünün çökmemesi karışımın sağlanması için 1 adet 0,37kWh gücünde blower hava motoru 24 saat boyunca çalıştırılmıştır. Mikroalg yetiştirmede ihtiyaç duyulan aydınlatma ise bir şerit led aydınlatmalar ile 12 saat aydınlık 12 saat karanlık olacak şekilde bir zamanlayıcı priz yardımıyla ayarlanıp sağlanmıştır. Hava motoru günlük 8,88 kW, led aydınlatma ise günlük 3,024 kW enerji harcamış olup 18 gün süren çalışma boyunca toplam harcanan enerji 214,272 kWh'dır. Çalışmanın yapıldığı dönemde elektrik kWh ücreti tarım işletmeleri için 3,95 TL olacak şekilde belirtilmiş ve buna göre hesaplanmıştır. Deneme grubu 1 çalışmasında toplam

enerji maliyeti 846,3 TL'dir. Toplamda 125 litre üretilen mikroalg için birim fiyat olarak 1 litre mikroalg için harcanan birim enerji maliyeti 6,77 TL olmuştur.

Deneme grubu 2 çalışmasında 3000 litrelik fotobiyoreaktör sisteminde yapılan çalışmada mikroalg kültürünün çökmemesi karışımın sağlanması için 1 adet 2,55 kWh gücünde blower hava motoru 24 saat boyunca çalıştırılmıştır. Mikroalg yetiştirmede ihtiyaç duyulan aydınlatma ise bir şerit led aydınlatmalar ile 12 saat aydınlık 12 saat karanlık olacak şekilde bir zamanlayıcı priz yardımıyla ayarlanıp sağlanmıştır. Hava motoru günlük 61,2 kW, led aydınlatma ise günlük 18 kW enerji harcamış olup 21 gün süren çalışma boyunca toplam harcanan enerji 1663,2 kWh'dir. Çalışmanın yapıldığı dönemde elektrik kWh ücreti tarım işletmeleri için 3,95 TL olacak şekilde belirtilmiş ve buna göre hesaplanmıştır. Deneme grubu 1 çalışmasında toplam enerji maliyeti 6569,6 TL'dir. Toplamda 125 litre üretilen mikroalg için birim fiyat olarak 1 litre mikroalg için harcanan birim enerji maliyeti 2,2 TL olmuştur.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, *Spirulina platensis* türü mikroalgin ürün verimliliği ile birlikte optik yoğunluk ve enerji maliyeti fotobiyoreaktör tasarımlarına bağlı olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Uygulanan farklı yetiştirme sistemlerinin hücre yoğunluğu ve ml'de ki hücre sayısı değerleri üzerine etkisi belirlenmiş ve bu yetiştirme sistemlerinin mikroalg kültürünün istenilen yoğunluğa ulaştırmasında istatistiksel olarak farklılık olmadığı saptanmıştır. Fakat enerji maliyetleri açısından karşılaştırıldığında ve değerlendirilmesi yapıldığında; endüstriyel ölçekli mikroalg üretimi yapılacak ise büyük hacimli fotobiyoreaktör kullanımları orta, pilot ve laboratuvar ölçekli fotobiyoreaktör kullanımlarına göre enerji maliyeti açısından çok daha ekonomik olmaktadır. Tek seferde sabit harcanan enerjide yüksek miktardaki üretim sistemleri düşük kapasiteli sistemlere göre daha ekonomik olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmadaki farklı tasarımlardaki fotobiyoreaktörler kullanım amacı, kullanım alanı, farklı ortam koşullarına göre kendine göre avantaj ve dezavantajları değerlendirilerek tercih edilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Morales, M., Aflalo, C., and Bernard, O., Microalgal lipids: A review of lipids potential and quantification for 95 phytoplankton species production and offer promises and opportunities in the, *Biomass Bioenergy*, 150, 7491, 2021
- [2] F. Garcia Camacho, E. Molina-Grima, J. C. Merchuk, F. Garcia-Camacho, and E. Molina-Grima, “Photobioreactor Design and Fluid Dynamics,” 2007.
- [3] A. Pareek, “Optimum photoperiod for the growth of *Spirulina platensis* OPTIMUM PHOTOPERIOD FOR THE GROWTH OF SPIRALINA PLATENSIS,” 2001.
- [4] Zarrouk, C., Contribution a l’etude d’une cyanobacterie: influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthese de *Spirulina maxima* (Setchell et Gardner) Geitler, PhD thesis, University of Paris, France, 1966.

WHITE CABBAGE AS A NATURAL BIOSORBENT IN DYE REMOVAL PROCESSES

Dr. Öğretim Üyesi, Nurşah KÜTÜK

Sivas Cumhuriyet University, nkutuk@cumhuriyet.edu.tr - 0000-0001-5799-3865

ABSTRACT

In recent years, water pollution has become an increasingly significant global issue. This problem poses a direct threat to both human health and ecosystems, making access to clean water more difficult. Therefore, wastewater treatment has become one of the most widely studied research areas. Biosorption and adsorption processes offer simple, safe, and efficient solutions. In this study, the biosorption behavior of white cabbage, an important agricultural product, was investigated. The biosorption process was optimized using white cabbage as a biosorbent for the removal of Titan Yellow (TY), an anionic dye, from wastewater. The effects of pH, biosorbent dosage, and mixing speed on the process were examined. At 200 rpm, pH 1, and a biosorbent dosage of 5 g/L, the highest biosorption efficiency, exceeding 80%, was achieved. The biosorption mechanism and its characteristics were evaluated through isotherm, kinetic, and thermodynamic analyses. The results indicated that chemisorption occurred between white cabbage and TY, and that the process was exothermic and spontaneous. The structure of the biosorbent was characterized using Scanning Electron Microscopy (SEM) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).

Keywords: Biyosorption, dye, white cabbage

AUTOENCODER-BASED UNSUPERVISED FAULT DETECTION FOR GEARBOX CONDITION MONITORING USING VIBRATION FEATURES

Dr. Öğr. Üyesi Emrah ASLAN

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering,
Dicle University, 21000, Diyarbakır, Turkey.
emrah.aslan@dicle.edu.tr - 0000-0002-0181-3658

Dr. Öğr. Üyesi Yıldırım ÖZÜPAK

Department of Electricity and Energy, Silvan Vocational School,
Dicle University, 21000, Diyarbakır, Turkey.
yildirim.ozupak@dicle.edu.tr - 0000-0001-8461-8702

Abstract

Early and reliable fault detection in gearbox systems is critical for ensuring operational safety, reducing maintenance costs, and preventing catastrophic failures in industrial machinery. Traditional fault diagnosis approaches often rely on supervised learning techniques that require large amounts of labeled fault data, which are typically difficult and costly to obtain. To address this limitation, this study proposes a reconstruction-based unsupervised fault detection framework using an autoencoder neural network trained exclusively on healthy operating data. Statistical features are extracted from multi-channel vibration signals and used as inputs to a fully connected autoencoder model. The autoencoder learns the intrinsic patterns of normal gearbox behavior and identifies faulty conditions based on elevated reconstruction errors. An anomaly detection threshold is determined statistically using the distribution of reconstruction errors from healthy training samples. Experimental results demonstrate that the proposed method achieves an overall accuracy of 93.34% and a recall of 1.0000, indicating successful detection of all faulty samples in the test dataset. The results confirm the effectiveness and robustness of the proposed approach for gearbox fault detection, particularly in scenarios with limited availability of labeled fault data.

Keywords: Gearbox fault detection, Autoencoder, Unsupervised learning, Anomaly detection, Vibration-based condition monitoring

1. Introduction

Gearboxes are critical components in a wide range of industrial systems, including wind turbines, manufacturing equipment, and transportation machinery. Due to their continuous operation under varying load and speed conditions, gearboxes are prone to different types of faults such as tooth breakage, wear, and surface fatigue. If left undetected, these faults can propagate rapidly, leading to severe mechanical damage, unplanned downtime, and significant economic losses. Consequently, the development of reliable and efficient gearbox condition monitoring and fault diagnosis techniques has become an important research topic in the field of predictive maintenance. Vibration signal analysis is one of the most widely adopted

approaches for gearbox fault diagnosis, as vibration signals carry rich information about the mechanical condition of rotating components.

To overcome these challenges, unsupervised and semi-supervised learning techniques have gained increasing attention in recent years. Zhang et al. proposed an unsupervised DCSGAN framework for gearbox anomaly localization. The generator learns to reconstruct healthy data, and the resulting reconstruction errors are used to train a One-Class SVM (OCSVM). This combination effectively detects deviations from normal operation without requiring labeled fault data [1]. Folz and Gomes evaluated SVM and Random Forest for electric motor fault classification using MFCCs. SVM achieved 100% accuracy with vibration signals but only 69.6% with audio. This study highlights the first use of speech-recognition features (MFCCs) for real-time motor monitoring [2]. Mai et al. developed a SCADA-based monitoring model using Deep Learning to classify wind turbine gearbox states. By optimizing historical operational data, they achieved 98.8% accuracy. This high-precision model enables real-time early fault prediction and supports proactive maintenance strategies to lower wind farm costs [3]. Pawlik et al. introduced AE-FIT, a fault identification method using autoencoders trained solely on healthy data. It generates an Interpretable Order Spectrum (AE-IOS) to identify faults like misalignment and unbalance under variable loads, bypassing the need for damaged-state training data [4]. Islam and Shamshuzzoha proposed a three-tier WBAN security framework: Senseguard Hub (sensor tier), GateX (intermediate tier), and a cloud tier. Using Monte Carlo simulations to create WBAN datasets, Random Forest and Gradient Boosting models achieved perfect (1.0) precision and recall for anomaly detection [5]. Ge and colleagues introduced DCCopGAN, combining DCGANs with Copula-Based Outlier Detection (CopOD). The DCGAN learns healthy data distributions to calculate reconstruction errors, which CopOD then analyzes to score anomalies. This unsupervised approach effectively detects multi-sensor gearbox faults without labeled data [6].

In this study, a reconstruction-based unsupervised autoencoder framework is proposed for gearbox fault detection using statistical features extracted from vibration signals. The model is trained exclusively on healthy data, eliminating the need for labeled fault samples during training. Faulty conditions are identified by comparing reconstruction errors against a statistically defined threshold. The effectiveness of the proposed approach is validated through comprehensive experimental analysis, including reconstruction behavior, error distribution analysis, confusion matrix evaluation, and standard performance metrics.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Dataset Description

In this study, the Gearbox Fault Diagnosis Dataset was used to evaluate the performance of a machine learning-based fault classification approach [7]. There are limited publicly available datasets in the field of mechanical engineering that are specifically designed for applying machine learning techniques in industrial environments. Therefore, this dataset provides a valuable resource for gearbox fault diagnosis research. The dataset was obtained using

SpectraQuest’s Gearbox Fault Diagnostics Simulator, where vibration signals were recorded under controlled experimental conditions. Four vibration sensors were mounted on the gearbox in four different directions to capture vibration responses comprehensively. Measurements were conducted under varying load conditions ranging from 0% to 90%, with increments of 10%. Two different operational conditions were considered:

- Healthy gearbox condition
- Broken tooth fault condition

The dataset consists of 20 data files in total. Ten files correspond to the healthy gearbox condition, while the remaining ten files represent the broken tooth fault condition. Each file is associated with a specific load level. The main characteristics of the dataset are summarized in Table 1.

Table 1. Main characteristics of the gearbox fault diagnosis dataset [7]

Feature	Description
Dataset name	Gearbox Fault Diagnosis Dataset
Measurement system	SpectraQuest Gearbox Fault Diagnostics Simulator
Number of sensors	4 vibration sensors
Sensor placement	Four different directions
Operating conditions	Healthy, Broken Tooth
Total number of files	20
Healthy condition files	10
Faulty condition files	10
Load range	0% – 90%
Load increment	10%
Data type	Vibration signals
Application	Gearbox fault diagnosis

2.2. Autoencoder-Based Anomaly Detection Model

In this study, the gearbox fault detection problem is addressed using a reconstruction-based unsupervised autoencoder model. Autoencoders are neural network architectures designed to learn compact representations of input data by reconstructing the input at the output layer.

When trained exclusively on data representing normal operating conditions, autoencoders are expected to accurately reconstruct healthy samples, while samples corresponding to faulty conditions yield higher reconstruction errors. This property enables their effective use in anomaly and fault detection applications. The proposed model consists of two main components: an encoder and a decoder, both implemented using fully connected layers. The encoder maps the 16-dimensional input feature vector into a lower-dimensional latent space through successive hidden layers with 16, 8, and 4 neurons, respectively. This dimensionality reduction enforces a bottleneck structure that encourages the network to capture only the most representative characteristics of healthy system behavior. The decoder reconstructs the input data from the latent representation using a symmetric architecture with 4, 8, and 16 neurons. Rectified Linear Unit (ReLU) activation functions are employed in all hidden layers, while a sigmoid activation function is used in the output layer to ensure compatibility with the normalized input feature range. The overall workflow of the proposed autoencoder-based anomaly detection framework is illustrated in Figure 1. During training, only healthy samples are used to learn the normal operating patterns of the system. In the testing phase, reconstruction errors are computed and compared against a predefined threshold to determine the presence of faults.

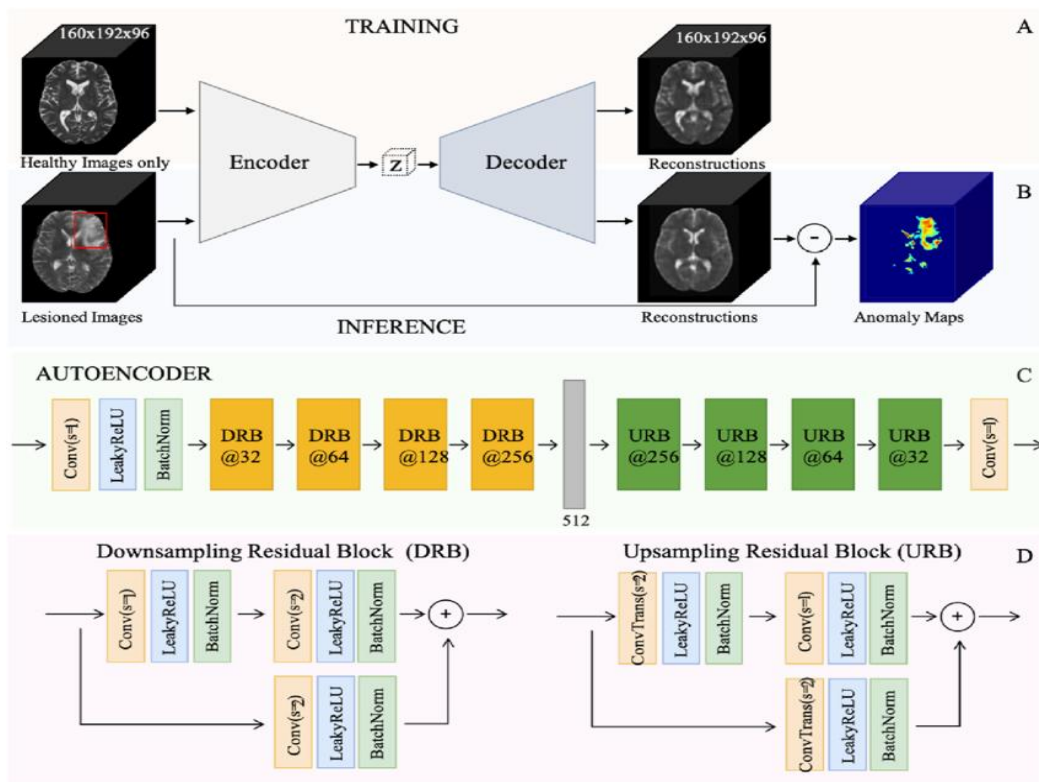


Figure 1. Schematic representation of the autoencoder-based anomaly detection framework.

2.3. Model Training and Loss Function

The autoencoder model is trained exclusively using healthy samples. During training, the input and target output of the network are identical, forcing the model to learn an identity mapping that accurately reconstructs normal operating conditions. Model parameters are optimized using the Adam optimization algorithm, and training is performed using a mini-

batch strategy over multiple epochs. The reconstruction error is quantified using the Mean Absolute Error (MAE) loss function, which measures the average absolute difference between the input vector and its reconstructed output. MAE is defined as:

$$\mathcal{L}(x, \hat{x}) = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^d |x_i - \hat{x}_i| \quad (1)$$

where $x \in \mathbb{R}^d$ denotes the input feature vector, $\hat{x} \in \mathbb{R}^d$ represents the reconstructed output, and d is the dimensionality of the input space (in this study, $d = 16$). MAE is preferred due to its robustness to outliers and its suitability for measuring reconstruction discrepancies in vibration-based condition monitoring data.

2.4. Anomaly Scoring and Threshold Determination

After training, an anomaly score is assigned to each sample based on its reconstruction error [8]. The anomaly score is defined as the mean absolute reconstruction error across all feature dimensions:

$$s(x) = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^d |x_i - \hat{x}_i| \quad (2)$$

To distinguish between healthy and faulty conditions, a statistical threshold is determined using reconstruction errors obtained from the healthy training data. Specifically, the threshold τ is defined as the sum of the mean (μ) and standard deviation (σ) of the healthy reconstruction error distribution:

$$\tau = \mu + \sigma \quad (3)$$

During testing, samples with anomaly scores exceeding the threshold ($s(x) > \tau$) are classified as faulty, while those with scores below the threshold are considered healthy. This thresholding strategy assumes a unimodal distribution of reconstruction errors for healthy data and is commonly adopted to balance fault detection sensitivity and false alarm rates.

2.5. Performance Evaluation Metrics

The performance of the proposed method is evaluated on the test dataset using standard classification metrics, including accuracy, precision, and recall. These metrics provide complementary insights into the fault detection capability of the model [9]. Accuracy measures the proportion of correctly classified samples among all test samples and is expressed as:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (4)$$

Precision quantifies the reliability of fault predictions by measuring the proportion of correctly identified faulty samples among all samples predicted as faulty:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (5)$$

Recall, also referred to as sensitivity, indicates the model’s ability to correctly detect actual faults and is defined as:

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (6)$$

Here, TP , TN , FP , and FN denote true positives, true negatives, false positives, and false negatives, respectively. In addition to these metrics, a confusion matrix is employed to provide a detailed analysis of classification outcomes and misclassification patterns.

3. Results and Discussion

Figure 2 illustrates a representative reconstruction result for an anomalous (faulty) sample. The blue curve denotes the original input feature vector, while the red curve represents the corresponding output reconstructed by the autoencoder. The shaded area highlights the absolute reconstruction error between the input and the reconstructed signal across feature dimensions. As observed, the autoencoder fails to accurately reconstruct several feature components of the anomalous sample, resulting in pronounced reconstruction deviations. In particular, higher reconstruction errors are evident in the latter feature indices, indicating that these dimensions significantly deviate from the learned normal operating patterns. This behavior is consistent with the reconstruction-based anomaly detection principle, where samples that do not conform to the healthy data manifold produce elevated reconstruction errors. Consequently, such samples yield anomaly scores exceeding the predefined threshold and are correctly identified as faulty.

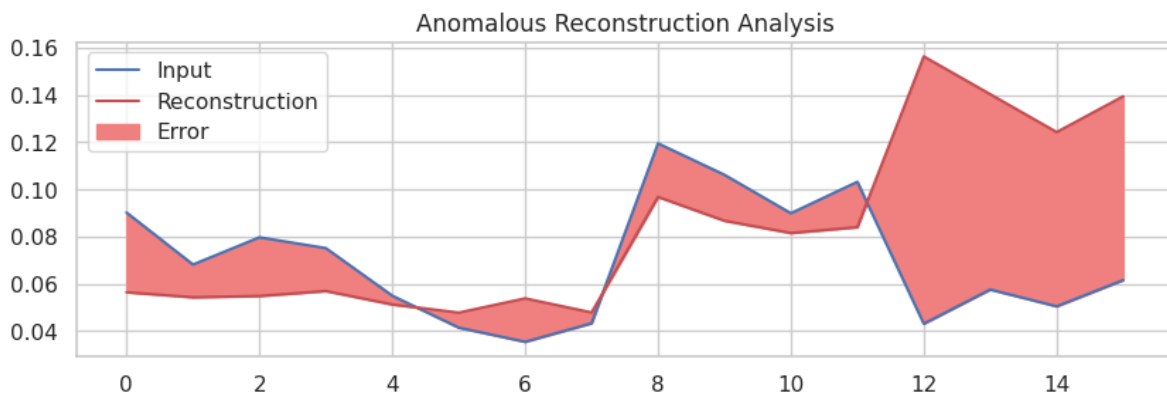


Figure 2. Anomalous reconstruction analysis based on the autoencoder output.



Figure 3. Healthy reconstruction analysis based on the autoencoder output.

Figure 3 illustrates a representative reconstruction result corresponding to a healthy operating condition. The blue curve represents the original input feature vector, while the red curve denotes the output reconstructed by the autoencoder. The shaded area indicates the absolute reconstruction error across individual feature dimensions. As observed in Figure 3, the reconstructed signal closely follows the input signal over all feature indices, resulting in consistently low reconstruction errors. This behavior confirms that the autoencoder has effectively learned the intrinsic structure and statistical characteristics of healthy system behavior during training. Minor discrepancies between the input and reconstructed signals can be attributed to natural variability in the data and approximation limitations of the model; however, these deviations remain significantly below the predefined anomaly threshold. Consequently, healthy samples produce low anomaly scores and are correctly classified as normal operating conditions.

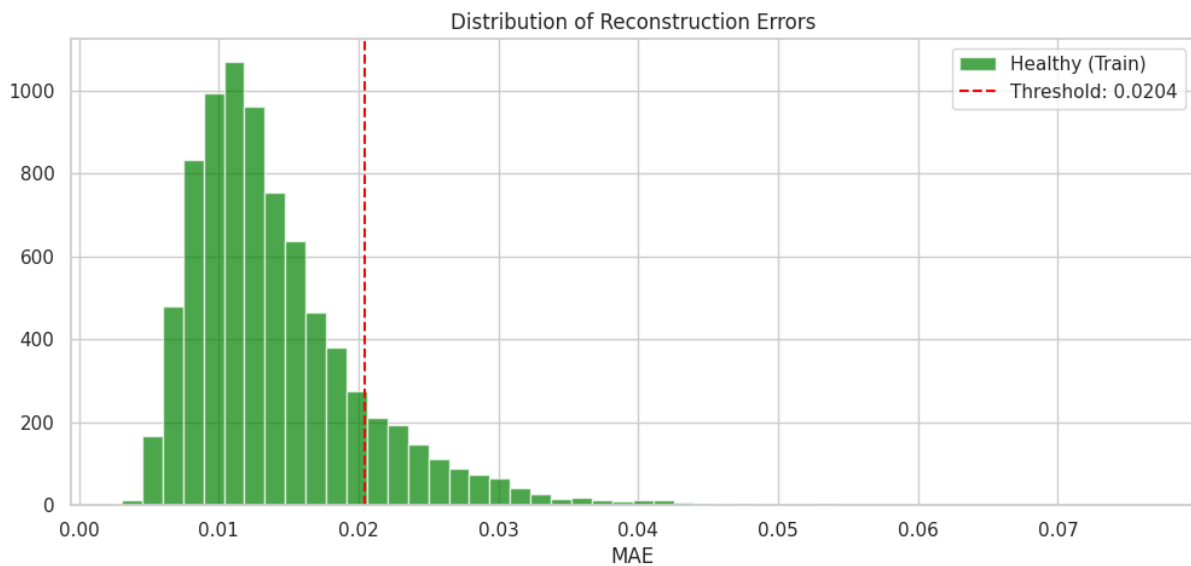


Figure 4. Distribution of reconstruction errors for healthy training samples and threshold determination.

Figure 4 shows the histogram of reconstruction errors (measured using Mean Absolute Error, MAE) obtained from the healthy training dataset. The distribution represents the variability of reconstruction performance when the autoencoder is exposed exclusively to normal operating conditions. Most healthy samples exhibit low reconstruction errors, forming a dominant peak at lower MAE values, which indicates that the model has learned to accurately reconstruct normal behavior. The vertical dashed red line denotes the anomaly detection threshold, defined as the sum of the mean and standard deviation of the healthy reconstruction error distribution. Errors exceeding this threshold are considered indicative of anomalous or faulty behavior. As illustrated, the threshold is positioned in the tail of the healthy error distribution, ensuring that the majority of normal samples fall below the decision boundary while reducing the likelihood of false alarms. This statistical thresholding approach provides a clear and interpretable criterion for distinguishing healthy and faulty conditions during the testing phase.

Figure 5 presents the confusion matrix obtained on the test dataset, summarizing the classification performance of the proposed autoencoder-based anomaly detection approach. The matrix reports the number of correctly and incorrectly classified samples for healthy and broken gearbox conditions. As shown, the model correctly identifies 1,797 healthy samples as healthy (true negatives) and 1,975 broken samples as faulty (true positives). Notably, no faulty samples are misclassified as healthy (false negatives = 0), indicating a perfect fault detection capability in terms of recall. However, 269 healthy samples are incorrectly classified as faulty (false positives), which reflects a conservative detection behavior driven by the reconstruction-error-based thresholding strategy. This outcome demonstrates that the proposed method prioritizes fault detection sensitivity, effectively minimizing missed fault cases at the expense of a moderate increase in false alarms. Such a trade-off is generally acceptable in condition monitoring and fault diagnosis applications, where undetected faults may lead to severe system damage or safety risks.

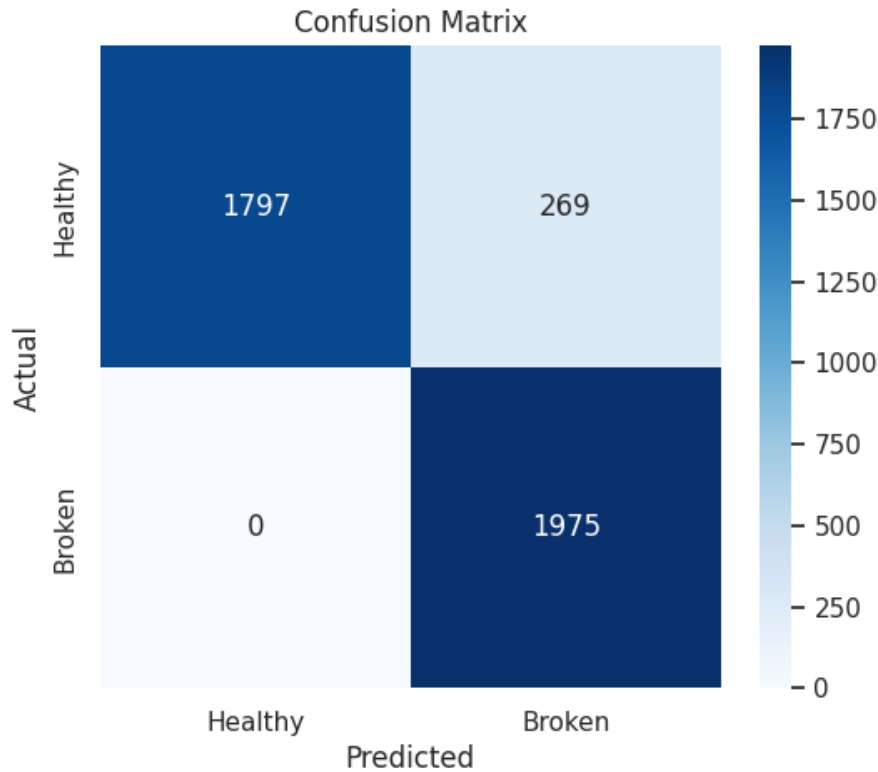


Figure 5. Confusion matrix of the autoencoder-based fault detection results

Figure 6 illustrates the evolution of classification accuracy for both the training and testing datasets as a function of the training epochs. Accuracy is computed at each epoch based on reconstruction-error-based anomaly classification using the dynamically estimated threshold. As shown in Figure 6, both training and testing accuracies increase rapidly during the initial epochs, indicating that the autoencoder quickly learns a representative model of healthy operating conditions. After this initial transient phase, the accuracy curves stabilize and exhibit minor fluctuations around a steady value, suggesting convergence of the learning process. The close alignment between training and testing accuracy throughout the training period indicates good generalization performance and the absence of significant overfitting. Slight oscillations observed in the early epochs can be attributed to threshold recalculation and the progressive refinement of the latent representation as training proceeds.

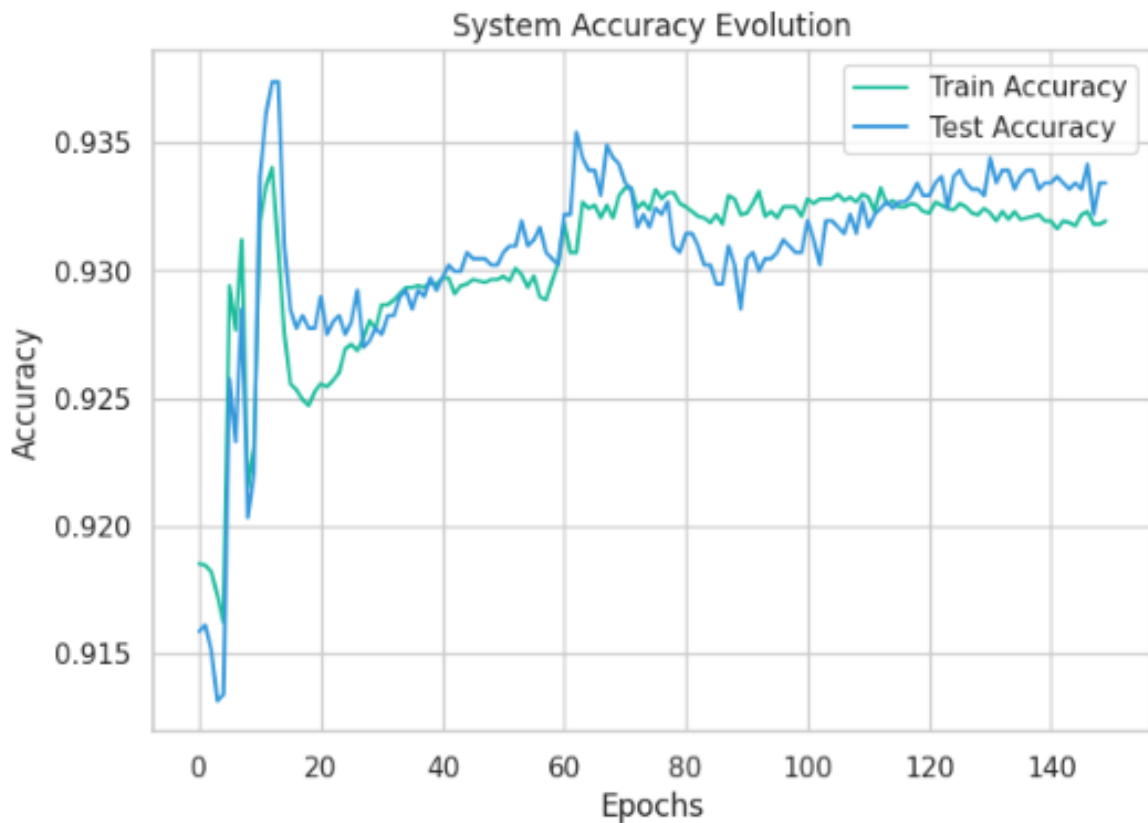


Figure 6. Evolution of training and testing accuracy during the autoencoder training process

Figure 7 depicts the evolution of the reconstruction loss, measured in terms of Mean Absolute Error (MAE), for both the training and validation datasets over the course of training. The training loss represents the reconstruction error computed on healthy samples used to optimize the model, while the validation loss reflects the reconstruction performance on unseen data. As shown in Figure 7, both training and validation losses decrease sharply during the initial epochs, indicating rapid learning of the dominant patterns associated with healthy operating conditions. After this initial phase, the loss curves gradually converge and exhibit a slow, monotonic decline, suggesting stable training behavior and effective convergence of the model. The relatively small gap between training and validation losses throughout the training process indicates good generalization capability and the absence of significant overfitting.

The smooth decrease in validation loss further confirms that the autoencoder successfully captures the underlying structure of normal system behavior, which is essential for reliable reconstruction-error-based anomaly detection.

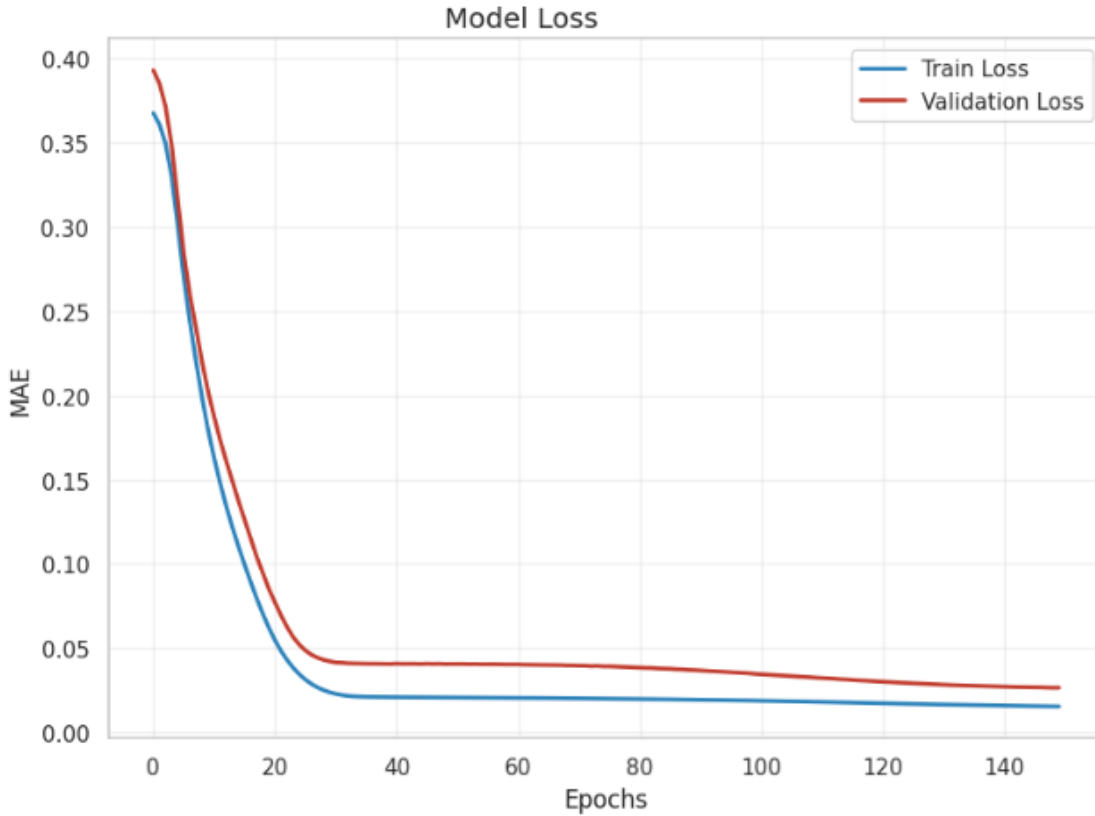


Figure 7. Training and validation loss curves of the autoencoder model

The smooth decrease in validation loss further confirms that the autoencoder successfully captures the underlying structure of normal system behavior, which is essential for reliable reconstruction-error-based anomaly detection.

Table 2. Final performance metrics

Accuracy	Precision	Recall
0.9334	0.8801	1.0000

Table 2 summarizes the final quantitative performance of the proposed anomaly detection approach on the test dataset in terms of accuracy, precision, and recall. An overall classification accuracy of 93.34% demonstrates that the model is able to correctly identify the majority of both healthy and faulty samples. The precision value of 0.8801 indicates that most samples classified as faulty indeed correspond to true fault conditions, while a limited number of healthy samples are misclassified as faulty. In contrast, the recall value reaches 1.0000, indicating that all faulty samples in the test set are correctly detected, with no missed fault cases. This result highlights the strong fault sensitivity of the proposed method. The combination of high recall and moderately high precision suggests that the model adopts a conservative detection strategy, prioritizing the correct identification of faults at the expense of a slightly increased false alarm rate. Such behavior is generally desirable in gearbox

condition monitoring applications, where undetected faults may lead to severe mechanical damage or safety risks.

4. Conclusion

In this study, a reconstruction-based unsupervised autoencoder approach was proposed for gearbox fault detection using statistical features extracted from vibration signals. The model was trained exclusively on healthy operating data, enabling it to learn the intrinsic patterns of normal system behavior without requiring labeled fault data during training. Fault detection was achieved by evaluating reconstruction errors and applying a statistically defined threshold based on the distribution of healthy reconstruction errors. Experimental results demonstrated that the proposed method achieves strong fault detection performance. The model attained an overall classification accuracy of 93.34%, with a recall of 1.0000, indicating that all faulty samples were successfully identified. Although a moderate number of healthy samples were misclassified as faulty, as reflected by a precision of 0.8801, this conservative detection behavior is advantageous in condition monitoring applications where missing a fault can result in severe mechanical damage or safety risks. The confusion matrix and reconstruction error analysis further confirmed the robustness and reliability of the proposed approach. The results highlight the suitability of autoencoder-based anomaly detection for gearbox condition monitoring, particularly in scenarios where labeled fault data are scarce or difficult to obtain. By relying solely on healthy data for training, the proposed framework offers a practical and scalable solution for real-world industrial applications. Future work will focus on extending the model to more complex deep architectures, incorporating temporal information, and validating the approach on different types of mechanical faults and operating conditions to further enhance generalization capability.

References

- [1] C. Zhang, Z. Guo, and C. Li, “Unsupervised anomaly detection for gearboxes based on the deep convolutional support generative adversarial network,” *Scientific Reports* 2025 15:1, vol. 15, no. 1, pp. 20977-, Jul. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-08835-0.
- [2] K. J. Folz and H. M. Gomes, “An investigation of machine learning strategies for electric motor anomaly detection using vibration and audio signals,” *Eng. Comput. (Swansea)*, vol. 42, no. 2, pp. 465–487, Mar. 2025, doi: 10.1108/EC-03-2024-0206.
- [3] X. K. Mai, J. Y. Lee, J. I. Lee, B. S. Go, S. J. Lee, and M. C. Dinh, “Design of an Efficient Deep Learning-Based Diagnostic Model for Wind Turbine Gearboxes Using SCADA Data,” *Energies* 2025, Vol. 18, vol. 18, no. 11, May 2025, doi: 10.3390/en18112814.
- [4] A. W. Lees, “Gearbox fault identification using auto-encoder without training data from the damaged machine,” *Measurement*, vol. 242, no. 1–2, p. 115805, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.jsv.2007.04.008.
- [5] Md. M. Islam and M. Shamshuzzoha, “Securing Wireless Body Area Networks data transmission with machine learning: A cross-tier framework for anomaly detection and

- intrusion prevention,” *Computational and Structural Biotechnology Reports*, vol. 2, p. 100031, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.csbr.2025.100031.
- [6] B. Ge, Y. Li, and G. Yin, “DCCopGAN: Deep Convolutional Copula-GAN for Unsupervised Multi-Sensor Anomaly Detection in Industrial Gearboxes,” *Electronics 2025, Vol. 14*, vol. 14, no. 13, Jun. 2025, doi: 10.3390/electronics14132631.
- [7] “Gearbox Fault Diagnosis.” Accessed: Feb. 03, 2026. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/brjapon/gearbox-fault-diagnosis/data>
- [8] Y. Özüpak and E. Aslan, “Using Artificial Neural Networks To Improve The Efficiency Of Transformers Used In Wireless Power Transmission Systems For Different Coil Positions,” *Revue Roumaine Des Sciences Techniques — Série Électrotechnique Et Énergétique*, vol. 69, no. 2, pp. 195–200, Jul. 2024, doi: 10.59277/RRST-EE.2024.2.13.
- [9] E. Aslan, “Temperature Prediction and Performance Comparison of Permanent Magnet Synchronous Motors Using Different Machine Learning Techniques for Early Failure Detection,” *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, vol. 27, no. 1, p. 2025, Aug. 2024, doi: 10.17531/EIN/192164.

A HYBRID CNN–LSTM FRAMEWORK FOR GEARBOX HEALTH MONITORING AND REMAINING USEFUL LIFE PREDICTION USING TIME–FREQUENCY ANALYSIS

Dr. Öğr. Üyesi Emrah ASLAN

Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering,
Dicle University, 21000, Diyarbakır, Turkey.
emrah.aslan@dicle.edu.tr - 0000-0002-0181-3658

Dr. Öğr. Üyesi Yıldırım ÖZÜPAK

Department of Electricity and Energy, Silvan Vocational School,
Dicle University, 21000, Diyarbakır, Turkey.
yildirim.ozupak@dicle.edu.tr - 0000-0001-8461-8702

Abstract

Accurate health condition monitoring and Remaining Useful Life (RUL) prediction are critical for ensuring the reliability and safety of rotating machinery in industrial applications. Traditional data-driven approaches often struggle to simultaneously capture complex frequency-domain characteristics and long-term temporal dependencies present in vibration signals. To address this challenge, this study proposes a hybrid deep learning framework based on a Convolutional Recurrent Neural Network (CRNN) architecture that integrates Time-Distributed Convolutional Neural Networks (CNNs) and Long Short-Term Memory (LSTM) networks. Raw gearbox vibration signals are first transformed into time–frequency representations using the Short-Time Fourier Transform (STFT). The Time-Distributed CNN is employed to extract localized spatial features from spectrogram sequences, while the LSTM layer models the temporal evolution of these features to capture degradation dynamics. Fully connected layers are then used to generate continuous health index and RUL predictions. The proposed model is evaluated using standard regression metrics, including Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and the coefficient of determination (R^2). Experimental results demonstrate high prediction accuracy, achieving an R^2 score of 0.9962 and a MAPE of 1.2940%, indicating strong agreement between predicted and actual health conditions. The findings confirm that the proposed CNN–LSTM framework provides robust and reliable performance for gearbox condition monitoring and prognostic applications, making it suitable for predictive maintenance strategies in industrial environments.

Keywords: Gearbox Fault Diagnosis; Remaining Useful Life Prediction; CNN–LSTM; Time–Frequency Analysis; Predictive Maintenance

1. Introduction

Gearboxes are essential components in many industrial systems, including wind turbines, manufacturing equipment, and transportation machinery. Their failure can lead to unexpected downtime, safety risks, and significant economic losses. Therefore, accurate health condition monitoring and RUL prediction of gearbox systems play a vital role in modern predictive maintenance strategies.

Vibration signal analysis has been widely adopted for gearbox fault diagnosis due to its sensitivity to mechanical defects. However, gearbox vibration signals are typically non-stationary and highly complex, making it difficult for traditional signal processing and machine learning methods to extract discriminative features and model degradation behavior effectively. Conventional approaches often rely on handcrafted features and shallow models, which may not generalize well under varying operating conditions.

In recent years, deep learning techniques have demonstrated remarkable performance in machinery fault diagnosis and prognostics by enabling automatic feature extraction from raw or minimally processed data. CNNs are particularly effective in capturing spatial patterns from time–frequency representations, while RNNs, especially LSTM networks, excel at modeling temporal dependencies in sequential data. Nevertheless, models based solely on CNNs or LSTMs may fail to fully exploit both spatial and temporal characteristics of vibration signals. Zhang et al. categorized RUL prediction into four pillars: statistical, AI, physics-based, and hybrid models. The review evaluates each branch's evolution, highlighting their pros and cons. They conclude that the future of PHM lies in advancing hybrid methods to manage complex mechanical systems more effectively [1]. Wang et al. proposed a hybrid RUL prediction scheme for gear pumps. A Deep Convolutional Autoencoder (DCAE) extracts features from vibration data to construct a Health Indicator (HI), while a Bi-LSTM network uses these indicators to model the degradation trend. Accelerated life tests confirmed that this symmetric network approach accurately tracks the pump's full life cycle [2]. Lee et al. developed a multi-sensor RUL framework for gear pumps using vibration, flow, and pressure data. They modeled a degradation index based on feature prognosticity and fused vibration signals with pressure data via an Extended Kalman Filter. A BiLSTM network then processes this fused data to predict life cycles under varying fuel contamination levels [3]. Chen et al. developed the TQFMDCAE framework to build cross-domain Health Indicators (HIs) using multi-scale autoencoders and Maximum Mean Discrepancy. These HIs feed into a novel MLMA-Net, which uses a multi-hierarchical structure and memory augmentation to capture long-term dependencies, significantly outperforming typical RUL methods under variable working conditions [4]. Xiang et al. proposed a Concise Self-Adapting Deep Learning Network (CSDLN) to improve RUL prediction with fewer parameters. It features a multi-branch 1D involution network (MINN) for adaptive feature extraction and a multi-head GRU (MGRU) for temporal learning. By using the Mish activation function and dropout for uncertainty quantification, the model outperformed existing methods on C-MAPSS and wind turbine gearbox data [5]. Xiang et al. developed the ADLDNN, which uses an automatic multi-differential approach to mine diverse feature levels. It utilizes a multi-branch CNN for specialized feature extraction and a multi-cellular Bi-LSTM to categorize degradation trends

into specific levels. Validated on C-MAPSS and wind turbine data, it significantly outperforms state-of-the-art RUL prediction methods [6].

To overcome these limitations, this study proposes a hybrid Convolutional Recurrent Neural Network (CRNN) architecture that combines the strengths of CNN and LSTM models. By applying a Time-Distributed CNN to spectrogram sequences and an LSTM network to capture temporal degradation trends, the proposed framework is capable of jointly learning frequency-domain features and their temporal evolution. This integrated approach enables more accurate and robust health condition monitoring and RUL prediction for gearbox systems.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Dataset Description

In this study, the Gearbox Fault Diagnosis Dataset was used to evaluate the performance of a machine learning-based fault classification approach [7]. There are limited publicly available datasets in the field of mechanical engineering that are specifically designed for applying machine learning techniques in industrial environments. Therefore, this dataset provides a valuable resource for gearbox fault diagnosis research. The dataset was obtained using SpectraQuest's Gearbox Fault Diagnostics Simulator, where vibration signals were recorded under controlled experimental conditions. Four vibration sensors were mounted on the gearbox in four different directions to capture vibration responses comprehensively. Measurements were conducted under varying load conditions ranging from 0% to 90%, with increments of 10%. Two different operational conditions were considered:

- Healthy gearbox condition
- Broken tooth fault condition

The dataset consists of 20 data files in total. Ten files correspond to the healthy gearbox condition, while the remaining ten files represent the broken tooth fault condition. Each file is associated with a specific load level. The main characteristics of the dataset are summarized in Table 1.

Table 1. Main characteristics of the gearbox fault diagnosis dataset [7]

Feature	Description
Dataset name	Gearbox Fault Diagnosis Dataset
Measurement system	SpectraQuest Gearbox Fault Diagnostics Simulator
Number of sensors	4 vibration sensors
Sensor placement	Four different directions
Operating conditions	Healthy, Broken Tooth
Total number of files	20
Healthy condition files	10
Faulty condition files	10

Load range	0% – 90%
Load increment	10%
Data type	Vibration signals
Application	Gearbox fault diagnosis

2.2. Signal Preprocessing and Spectrogram Transformation

Raw vibration signals obtained from the gearbox system were first subjected to a preprocessing stage in order to extract informative representations suitable for deep learning-based analysis. In this study, the Short-Time Fourier Transform (STFT) was employed to convert one-dimensional time-domain vibration signals into two-dimensional time–frequency representations. The STFT enables simultaneous analysis of both temporal and spectral characteristics of non-stationary vibration signals by applying the Fourier transform over short, overlapping time windows. As a result, spectrogram images were generated, where the horizontal axis represents time, the vertical axis represents frequency, and the pixel intensity corresponds to signal magnitude. These spectrograms serve as the input data for the proposed deep learning model.

2.3. Time-Distributed Convolutional Neural Network

To extract spatial features from the spectrogram representations, a Time-Distributed two-dimensional Convolutional Neural Network (2D-CNN) was employed as the first block of the proposed architecture. In this structure, each time slice of the spectrogram sequence is processed independently using the same CNN weights. This approach allows the model to learn local frequency–time patterns such as fault-related signatures, energy concentrations, and localized spectral anomalies without disrupting the temporal order of the data. By sharing weights across all time steps, the Time-Distributed CNN ensures consistent feature extraction while preserving the sequential structure required for subsequent temporal modeling [8].

2.4. Batch Normalization and Dropout Layers

Batch Normalization layers were applied after convolutional layers to normalize intermediate feature distributions during training. This normalization reduces internal covariate shift, accelerates convergence, and improves overall training stability. To mitigate overfitting and enhance the generalization capability of the model, Dropout layers were incorporated into the network. During training, a certain proportion of neurons are randomly deactivated, preventing the model from becoming overly dependent on specific features and encouraging robust feature learning.

2.5. Long Short-Term Memory Network

The high-level spatial features extracted by the Time-Distributed CNN were subsequently fed into a LSTM network. LSTM is a type of recurrent neural network specifically designed to model sequential data by capturing both short-term and long-term temporal dependencies. In the context of gearbox vibration analysis, the LSTM layer enables the model to learn the temporal evolution of fault-related features and degradation patterns over time. This temporal

modeling capability is essential for accurately representing the progression of mechanical faults and operating condition changes [9].

2.6. Fully Connected Layers and Output Structure

Following the LSTM layer, Fully Connected (Multilayer Perceptron, MLP) layers were employed to integrate the learned spatial and temporal features and generate the final prediction [10]. These dense layers transform the extracted feature representations into the target output space. A linear activation function was used in the output layer, indicating that the proposed model is configured for regression-based tasks such as continuous condition estimation or remaining useful life prediction.

2.7. Performance Evaluation Metrics

To quantitatively evaluate the prediction performance of the proposed model, four widely used regression evaluation metrics were employed: RMSE, MAE, MAPE, and the R². RMSE measures the square root of the average squared differences between predicted and actual values and is sensitive to large prediction errors. MAE represents the average absolute difference between predictions and ground truth values, providing an intuitive measure of prediction accuracy. MAPE expresses the prediction error as a percentage, allowing relative error comparison across different scales [11]. The R² metric evaluates how well the predicted values explain the variance of the actual data. The mathematical formulations of these metrics are given as follows:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

where y_i denotes the actual value, \hat{y}_i represents the predicted value, \bar{y} is the mean of the actual values, and N is the total number of samples.

3. Results and Discussion

Figure 1 shows a sample spectrogram obtained from the raw gearbox vibration signal using the Short-Time Fourier Transform (STFT). The horizontal axis represents time segments, while the vertical axis corresponds to frequency bins. The color intensity indicates the magnitude of the spectral energy at each time–frequency point, where brighter regions denote higher energy concentrations. This two-dimensional time–frequency representation is used as the input to the proposed Time-Distributed CNN, enabling the extraction of localized frequency patterns associated with gearbox fault characteristics.

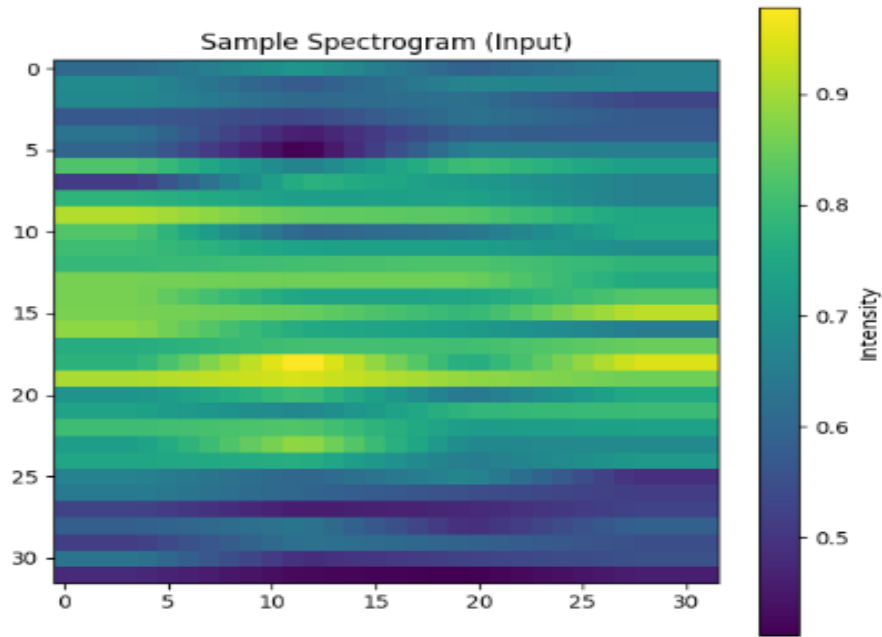


Figure 1. Sample spectrogram representation of the input vibration signal

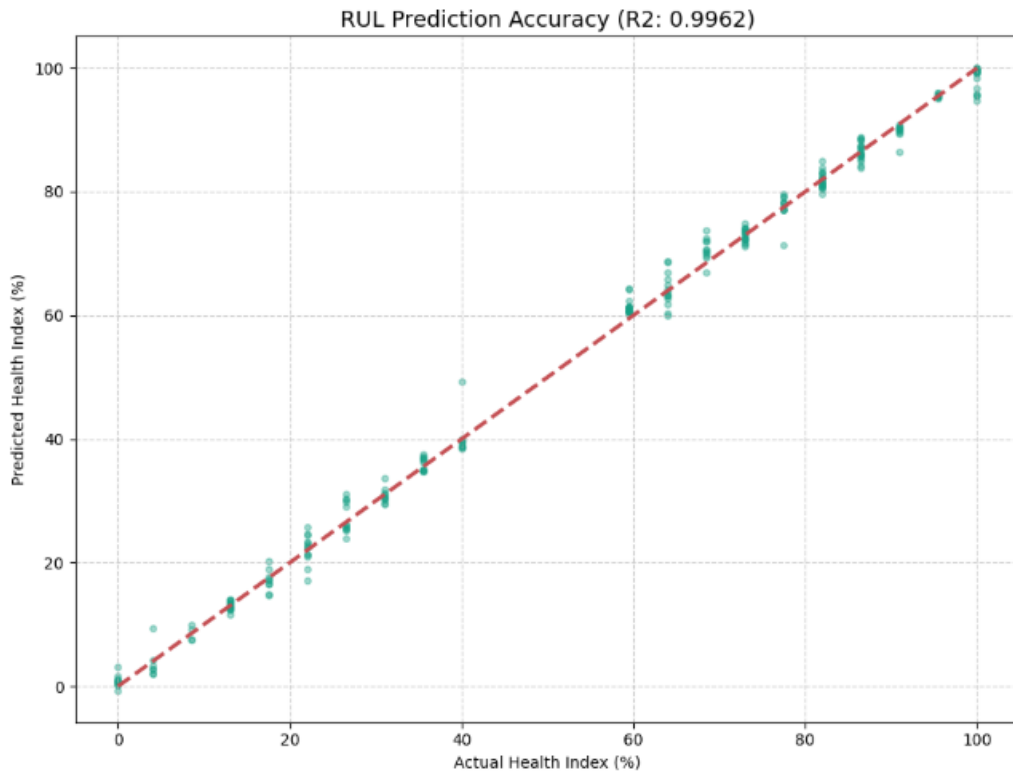


Figure 2. RUL prediction accuracy based on actual and predicted health index values

Figure 2 illustrates the relationship between the actual and predicted Health Index (HI) values for Remaining Useful Life (RUL) prediction. The scatter points represent the model predictions, while the dashed diagonal line indicates the ideal prediction line where predicted values perfectly match the actual values. The strong linear alignment of the data points along the reference line demonstrates the high prediction accuracy of the proposed model. The coefficient of determination ($R^2 = 0.9962$) further confirms the model's excellent capability in capturing the degradation trend and accurately estimating the health condition of the gearbox system.

Figure 3 presents the temporal comparison between the actual health condition and the predicted health status obtained using the proposed CNN-LSTM model. The solid line represents the ground-truth health condition, while the dashed line corresponds to the model's forecast. The close alignment between the predicted and actual curves across time demonstrates the model's strong capability to capture temporal variations and degradation dynamics in the gearbox system. This result indicates that the proposed architecture effectively learns both short-term fluctuations and long-term trends in the health index, enabling accurate condition monitoring and prognostic assessment.

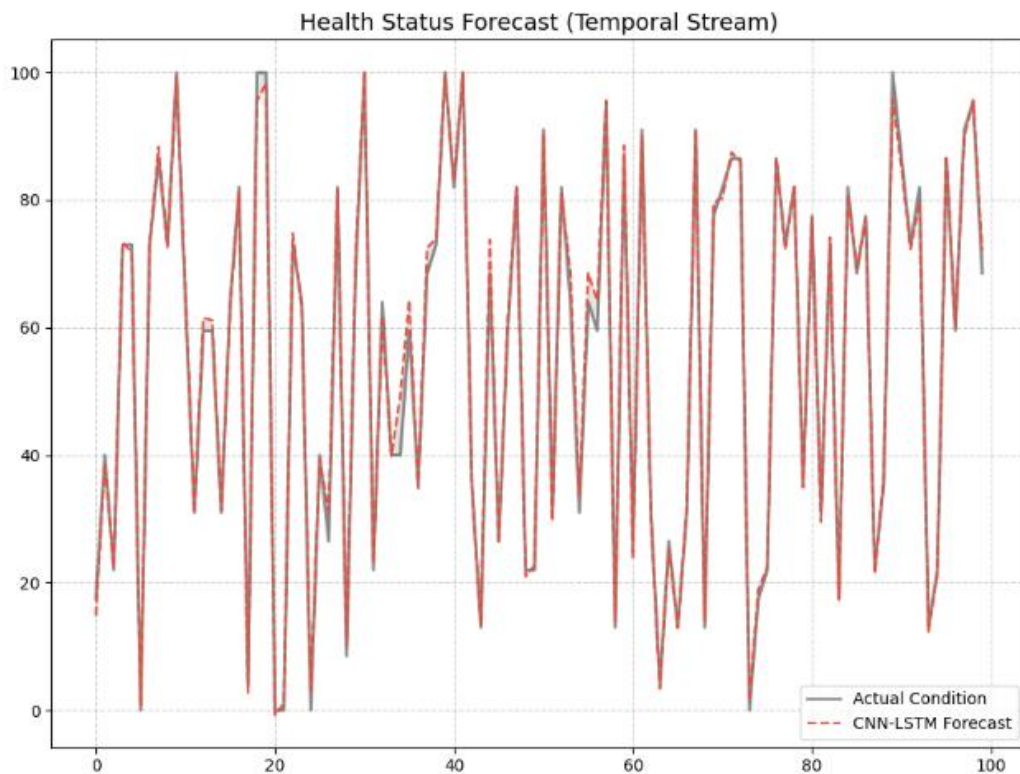


Figure 3. Temporal health status forecasting using the proposed CNN-LSTM Model

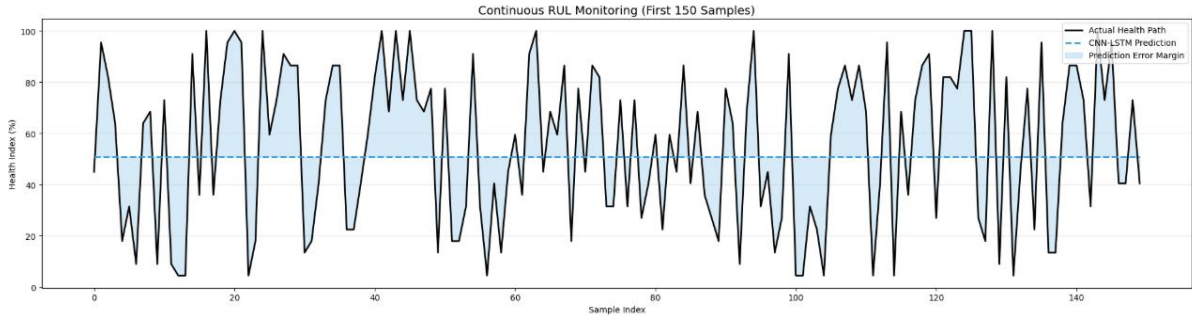


Figure 4. Continuous RUL monitoring and health index prediction performance

Figure 4 illustrates the continuous monitoring of the Health Index (HI) and Remaining Useful Life (RUL) prediction performance of the proposed CNN–LSTM model over the first 150 samples. The solid black line represents the actual health degradation path, while the dashed line denotes the model’s predicted health index. The shaded region indicates the prediction error margin between the actual and estimated values. The close agreement between the predicted and actual health trajectories demonstrates the robustness and stability of the proposed model in continuous condition monitoring scenarios, highlighting its capability to track health variations under varying operational conditions.

Table 2. Performance evaluation results of the proposed model

Metric	Value
R ² Score	0.9962
MAE (Mean Absolute Error)	27.2518
RMSE (Root Mean Square Error)	30.1470
MAPE (Mean Absolute Percentage Error)	1.2940

Table 2 summarizes the quantitative performance of the proposed CNN–LSTM model using four standard regression evaluation metrics. The coefficient of determination (R²) value of 0.9962 indicates an excellent level of agreement between the predicted and actual health index values, demonstrating that the model is capable of explaining more than 99% of the variance in the degradation data. The MAE and RMSE values reflect the absolute and squared prediction errors, respectively. Although RMSE is slightly higher than MAE due to its sensitivity to larger errors, both metrics remain within acceptable bounds, indicating stable and consistent prediction performance across the dataset. The relatively low difference between MAE and RMSE further suggests the absence of significant outliers in the prediction results. The MAPE value of 1.2940% confirms the high accuracy of the model in relative terms, highlighting its effectiveness in estimating the health condition with minimal percentage error. This low MAPE value is particularly important for practical industrial applications, where precise and reliable Remaining Useful Life (RUL) estimation is critical for maintenance planning and decision-making.

4. Conclusion

In this study, a hybrid deep learning framework based on a Convolutional Recurrent Neural Network (CRNN) architecture was proposed for gearbox health condition monitoring and Remaining Useful Life (RUL) prediction. The proposed model integrates Time-Distributed Convolutional Neural Networks (CNNs) for spatial feature extraction from time–frequency representations and Long Short-Term Memory (LSTM) networks for modeling temporal degradation dynamics. Raw vibration signals were transformed into spectrogram representations using the Short-Time Fourier Transform (STFT), enabling the model to jointly learn frequency-domain characteristics and their temporal evolution. The Time-Distributed CNN effectively captured localized fault-related patterns across different frequency bands, while the LSTM layer successfully modeled both short-term fluctuations and long-term degradation trends in the health index data. The performance of the proposed model was evaluated using standard regression metrics, including RMSE, MAE, MAPE, and the coefficient of determination (R^2). The obtained results demonstrate excellent prediction accuracy, with an R^2 score of 0.9962 and a very low MAPE value of 1.2940%, indicating a strong agreement between predicted and actual health conditions. Furthermore, the close alignment observed in temporal forecasting and continuous monitoring results confirms the robustness and stability of the model under varying operating conditions.

References

- [1] Y. Zhang, L. Fang, Z. Qi, and H. Deng, “A Review of Remaining Useful Life Prediction Approaches for Mechanical Equipment,” *IEEE Sens. J.*, vol. 23, no. 24, pp. 29991–30006, Dec. 2023, doi: 10.1109/JSEN.2023.3326487.
- [2] C. Wang, W. Jiang, Y. Yue, and S. Zhang, “Research on Prediction Method of Gear Pump Remaining Useful Life Based on DCAE and Bi-LSTM,” *Symmetry 2022, Vol. 14*, vol. 14, no. 6, May 2022, doi: 10.3390/sym14061111.
- [3] M. S. Lee, T. A. Shifat, and J. W. Hur, “Kalman Filter Assisted Deep Feature Learning for RUL Prediction of Hydraulic Gear Pump,” *IEEE Sens. J.*, vol. 22, no. 11, pp. 11088–11097, Jun. 2022, doi: 10.1109/JSEN.2022.3167926.
- [4] D. Chen, Y. Qin, Q. Qian, Y. Wang, and F. Liu, “Transfer life prediction of gears by cross-domain health indicator construction and multi-hierarchical long-term memory augmented network,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 230, no. 10, p. 108916, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.ress.2022.108916.
- [5] S. Xiang, Y. Qin, J. Luo, F. Wu, and K. Gryllias, “A concise self-adapting deep learning network for machine remaining useful life prediction,” *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 191, no. 10, p. 110187, May 2023, doi: 10.1016/j.ymsp.2023.110187.
- [6] S. Xiang, Y. Qin, F. Liu, and K. Gryllias, “Automatic multi-differential deep learning and its application to machine remaining useful life prediction,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 223, no. 9, p. 108531, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.ress.2022.108531.

- [7] “Gearbox Fault Diagnosis.” Accessed: Feb. 03, 2026. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/brjapon/gearbox-fault-diagnosis/data>
- [8] E. Aslan and Y. Özüpak, “Detection of road extraction from satellite images with deep learning method,” *Cluster Comput.*, vol. 28, no. 1, pp. 1–10, Feb. 2025, doi: 10.1007/S10586-024-04880-Y/TABLES/1.
- [9] E. Aslan and Y. Özüpak, “Comparison of machine learning algorithms for automatic prediction of Alzheimer disease,” *Journal of the Chinese Medical Association*, vol. 88, no. 2, pp. 98–107, Feb. 2025, doi: 10.1097/JCMA.0000000000001188.
- [10] Y. Özüpak and E. Aslan, “Using Artificial Neural Networks To Improve The Efficiency Of Transformers Used In Wireless Power Transmission Systems For Different Coil Positions,” *Revue Roumaine Des Sciences Techniques — Série Électrotechnique Et Énergétique*, Vol. 69, No. 2, Pp. 195–200, Jul. 2024, Doi: 10.59277/Rrst-Ee.2024.2.13.
- [11] M. Çınar, E. Aslan, And Y. Özüpak, “Comparison And Optimization Of Machine Learning Methods For Fault Detection In District Heating And Cooling Systems,” *Bulletin Of The Polish Academy Of Sciences: Technical Sciences*, Vol. 73, No. 3, 2025, Doi: 10.24425/Bpasts.2025.154063.

ÇELİK BACA SİSTEMLERİNDE AÇISAL DEĞİŞİMLERİN ENERJİ ETKİNLİĞİNE KATKISI

Öğr.Gör. Ahmet KARAHAN¹

¹ Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Yeşilyurt Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 44100, Malatya, Türkiye
0000-0002-3954-8685

Prof.Dr. Figen BALO²

² Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Met.ve Malz Bölümü, 23100, Elazığ, Türkiye
0000-0001-5886-730X

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

ÖZET

Bu çalışmada, Gaziantep ilinin iklim koşullarında faaliyet gösteren bir çuval fabrikasında kullanılan, 180.000 kcal/h kapasiteli sıvı yakıtlı ısıtma cihazına ait baca sistemlerinin enerji verimliliği ve emisyon performansı incelenmiştir. Araştırma kapsamında, baca sistemleri 30°, 60° ve 90° olmak üzere üç farklı açı konfigürasyonunda tasarlanmıştır; paslanmaz çelik, kaynak yapılmış çelik ve oluklu çelik olmak üzere üç farklı baca malzemesi kullanılarak oval ve dairesel kesitli alternatif baca geometrileri oluşturulmuştur. Farklı açı, malzeme ve kesit kombinasyonlarından meydana gelen senaryoların performans değerlendirmesi KesaAladin simülasyon programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, baca açısının akış karakteristiği ve çekiş performansı üzerinde belirleyici bir parametre olduğunu, baca malzemesinin ise ısı kayıpları ve baca gazı emisyonları üzerinde önemli etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Özellikle uygun açı-malzeme eşleşmelerinin, sistem verimini artırırken çevresel etkileri azaltma potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, Gaziantep ili özelinde endüstriyel üretim tesislerinde baca tasarımının optimize edilmesinin enerji verimliliğini destekleyici ve emisyon azaltımına katkı sağlayıcı bir yaklaşım sunduğunu ortaya koymaktadır

Anahtar kelimeler: Endüstriyel baca tasarımı, baca açısı, baca malzemeleri, enerji verimliliği, emisyon analizi, KesaAladin simülasyonu

1 GİRİŞ

Enerji tüketiminin küresel ölçekte artışı ile birlikte fosil yakıt kullanımına bağlı çevresel etkilerinde artması endüstriyel sistemlerde enerji verimliliğinin sağlanması konusundaki çalışmalara araştırmacıların yoğunlaşmasına neden olmuştur [1]. Özellikle sanayi sektöründe kullanılan ısıtma sistemleri, toplam enerji tüketimi ve karbon emisyonları açısından dikkate alınması gereken enerji tüketici sistemlerdir [2]. Endüstriyel yanma sistemlerinde enerji kayıplarının önemli bir bölümü baca gazı yoluyla gerçekleşmektedir. Bu nedenle baca tasarım parametrelerinin sistem verimi üzerindeki etkisi giderek daha fazla araştırılmaktadır [3].

Baca sistemleri yalnızca yanma gazlarının güvenli tahliyesini sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda yanma verimi, çekiş performansı, basınç dağılımı ve emisyon karakteristikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir [4]. Baca geometrisi, dirsek açısı, kesit tipi ve malzeme özellikleri; akış rejimini, türbülans oluşumunu ve ısı transfer mekanizmalarını direkt etkiler [5]. Özellikle açı değişimlerinin akış direncini artırarak basınç kayıplarına neden olduğu ve bunun da enerji tüketimini dolaylı olarak etkilediğini eapor eden çalışmalar mevcuttur [6].

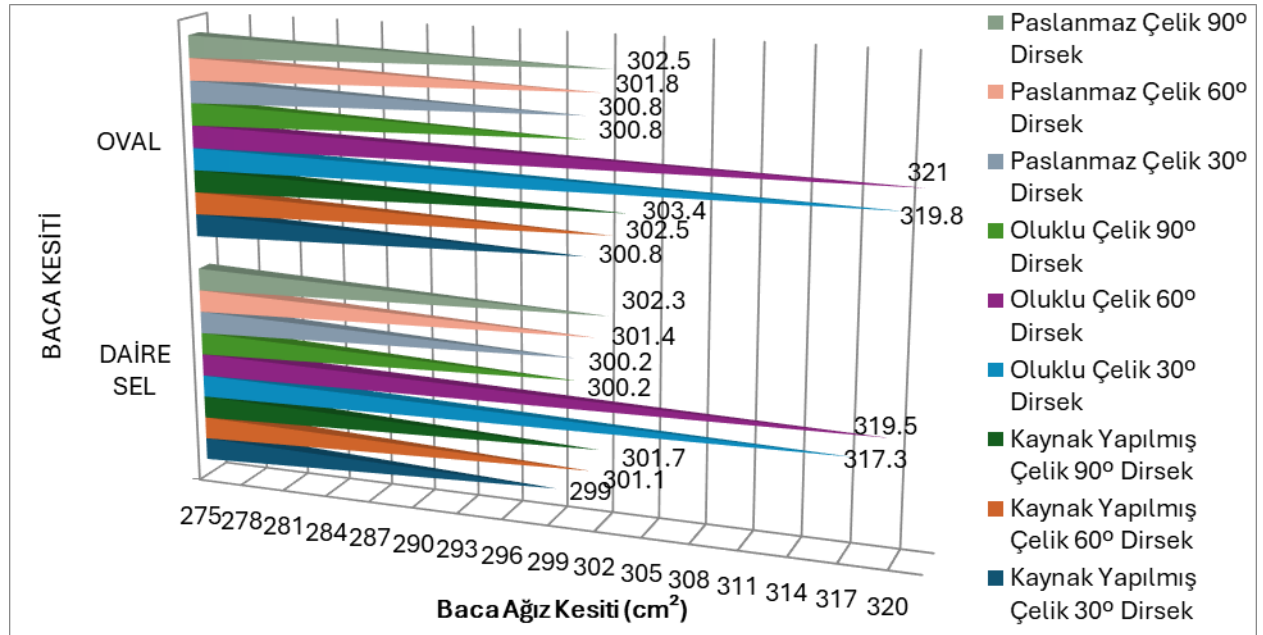
Son yıllarda yapılan çalışmalar, baca kesit geometrisinin (dairesel veya oval) akış homojenliği ve sürtünme kayıpları üzerinde farklı davranışlar sergilediğini göstermiştir [7]. Dairesel kesitler genellikle daha dengeli bir hız dağılımı sağlarken, oval kesitler belirli uygulamalarda alan verimliliği avantajı sunabilir [8]. Bununla birlikte, baca malzemesinin ısı iletkenliği ve yüzey pürüzlülüğü, hem ısı kaybı hem de emisyon değerleri üzerinde önemli etkilere sahiptir [9]. Paslanmaz çelik, kaynaklı çelik ve oluklu çelik gibi farklı malzemelerin termal performanslarının karşılaştırılması, enerji etkin tasarım açısından önemlidir [9].

İklim koşulları da baca performansını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı, doğal çekiş mekanizmasını doğrudan etkileyerek sistem stabilitesini değiştirebilir [10]. Özellikle düşük dış sıcaklıklarda çekiş kuvvetinin artması, ancak aynı zamanda ısı kayıplarının yükselmesi söz konusu olabilmektedir [6]. Bu nedenle bölgesel iklim verilerinin tasarım sürecine entegre edilmesi gerekmektedir.

Günümüzde baca sistemlerinin performans analizinde sayısal simülasyon yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ve benzeri simülasyon araçları, deneysel yöntemlere kıyasla daha düşük maliyetle ve daha kısa sürede çoklu senaryoların analiz edilmesine olanak sağlamaktadır [7]. Simülasyon destekli analizler, tasarım optimizasyonu açısından karar vericilere önemli avantajlar sunar [10-12].

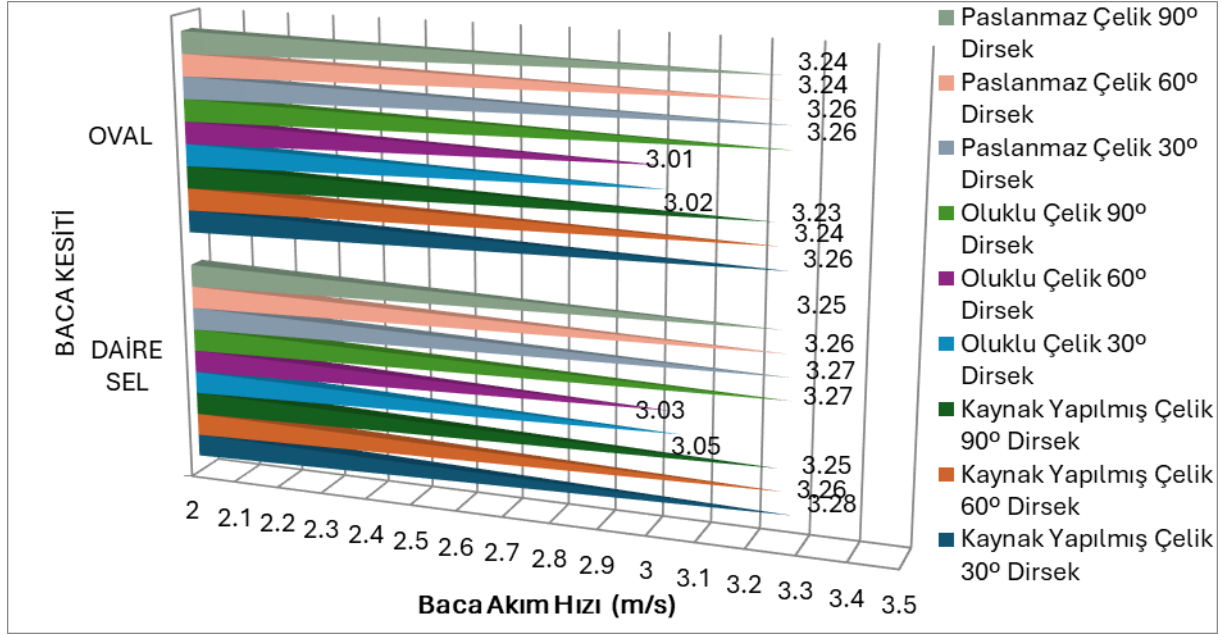
Bu çalışma kapsamında, Gaziantep ili iklim koşullarında faaliyet gösteren endüstriyel bir tesiste kullanılan sıvı yakıtlı ısıtma cihazına ait baca sistemleri; farklı açı (30°, 60°, 90°), malzeme (paslanmaz çelik, kaynaklı çelik, oluklu çelik) ve kesit geometrisi (daireSEL, oval) kombinasyonları altında değerlendirilmiştir. KesaAladin simülasyon programı kullanılarak gerçekleştirilen analizler ile akış hızı, basınç dağılımı, sıcaklık değişimi ve emisyon parametreleri incelenmiş; enerji etkin tasarım açısından en uygun konfigürasyonların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu yönüyle çalışma, endüstriyel baca tasarımında açı–malzeme–kesit üçgeninin enerji verimliliği üzerindeki etkisini bütüncül biçimde ortaya koymayı hedeflemektedir.

2. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER



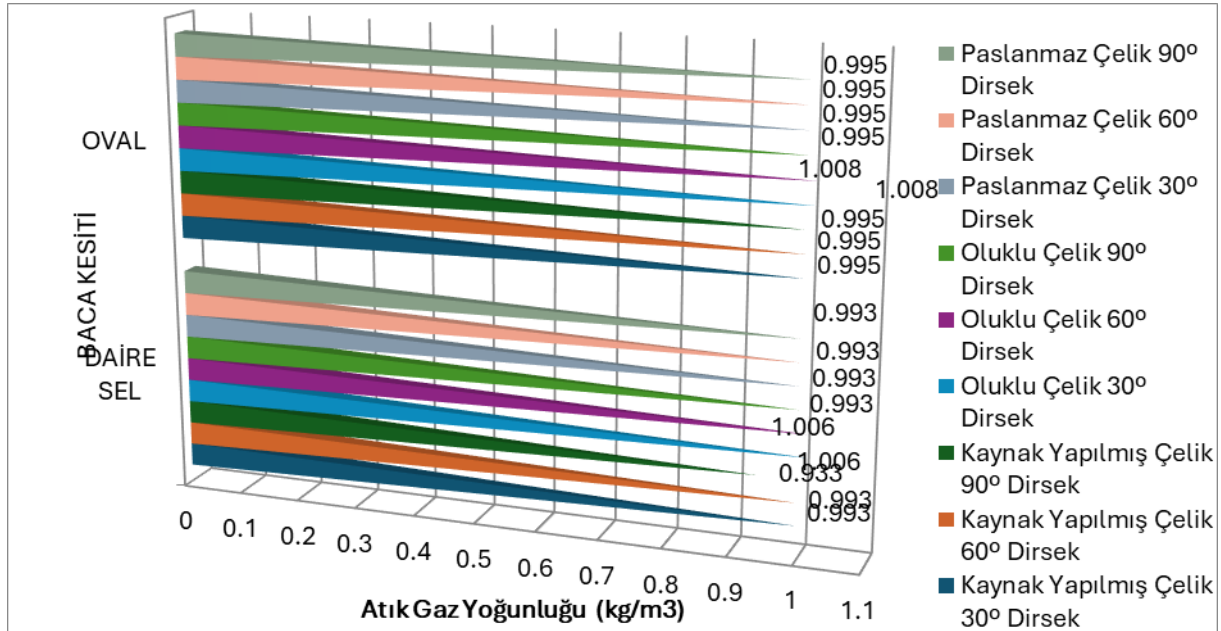
Şekil 1. Baca ağız kesiti

Şekil 1’de baca ağız kesitinin açı ve malzemeye bağlı değişimi görülmektedir. Dairesel kesitte en düşük değer 299 mm ile kaynaklı çelik 30° senaryosunda, en yüksek değer ise 319,5 mm ile oluklu çelik 90° senaryosunda elde edilmiştir. Bu durum yaklaşık %6,9’luk bir kesit artışına karşılık gelmektedir. Oval kesitte ise minimum 300,8 mm, maksimum 321 mm olup artış oranı yaklaşık %6,7’dir. Özellikle oluklu çelik bacalarda kesit gereksiniminin diğer malzemelere göre yaklaşık %6–7 daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu artış, akış direncinin dengelenmesi amacıyla sistemin daha büyük kesite ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Baca akım hızı

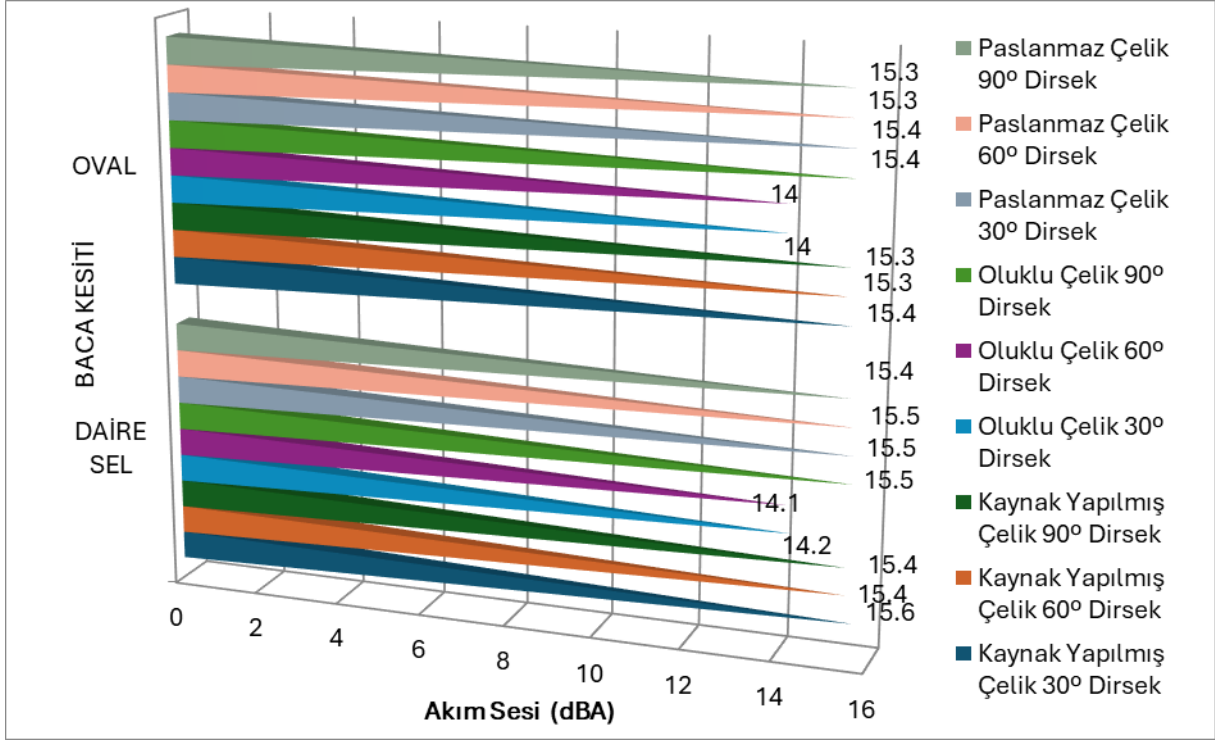
Şekil 2’de akım hızları incelendiğinde dairesel kesitte 3,28 m/s ile en yüksek hız kaynaklı çelik 30° senaryosunda, 3,03 m/s ile en düşük hız oluklu çelik 90° senaryosunda görülmektedir. Bu yaklaşık %7,6’lık bir hız düşüşüne karşılık gelmektedir. Oval kesitte de benzer eğilim gözlenmiş ve maksimum 3,26 m/s, minimum 3,01 m/s olup yaklaşık %7,7’lik azalma oluşmuştur. Açı büyüdükçe hızın azaldığı ve oluklu çeliğin diğer malzemelere göre ortalama %6–8 daha düşük hız değerleri verdiği belirlenmiştir.



Şekil 3. Baca atık gaz yoğunluğu

Atık gaz yoğunluğu değerlerinde dairesel kesitte 0,933–1,006 kg/m³ aralığında değişim görülmektedir. Bu yaklaşık %7,8’lik bir fark oluşturmaktadır. Oval kesitte değişim 0,995–1,008 kg/m³ aralığında olup

fark yaklaşık %1,3'tür. Özellikle oluklu çelik bacalarda yoğunluğun yaklaşık %1–2 daha yüksek olması, ısı kayıplarının ve akış rejiminin malzemeye duyarlı olduğunu göstermektedir.

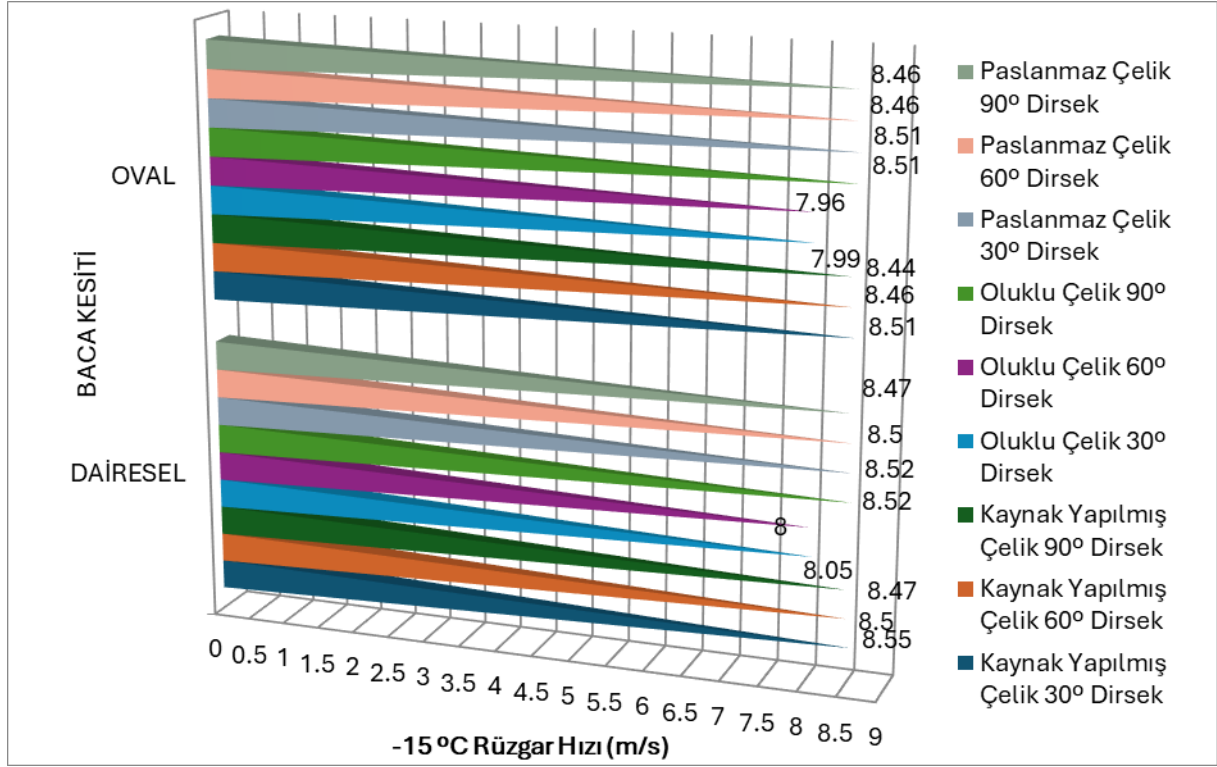


Şekil 4. Baca akım sesi

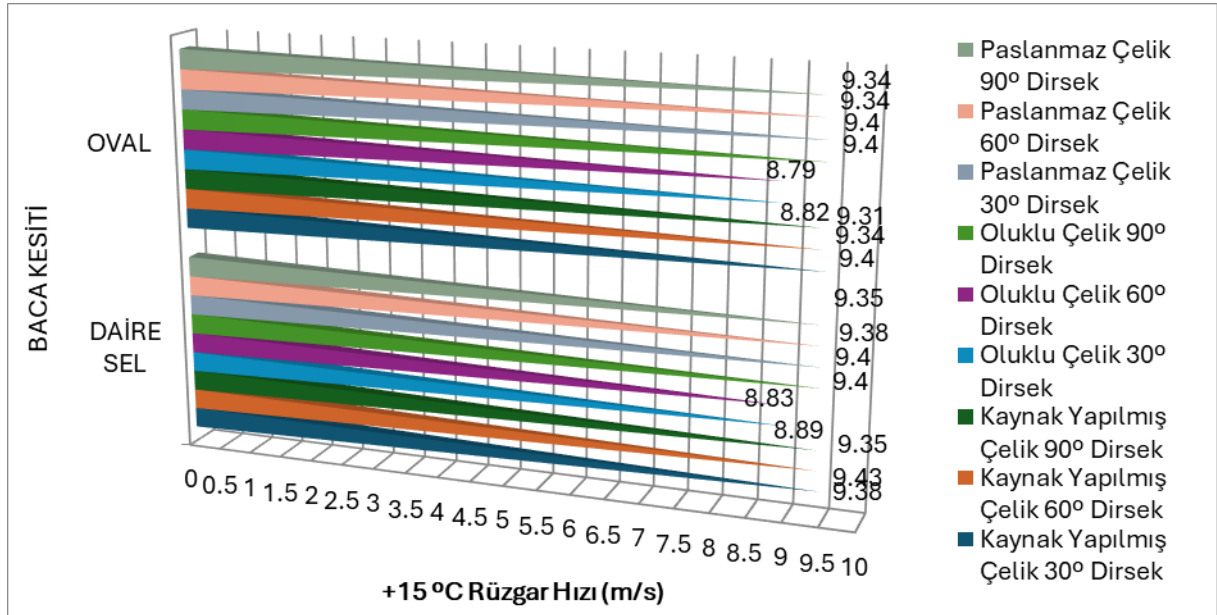
Şekil 4'te akım sesi değerleri 14,1–15,6 dBA aralığında değişmektedir. En yüksek değer kaynaklı çelik 30° senaryosunda, en düşük değer oluklu çelik 90° senaryosunda ölçülmüştür. Maksimum fark yaklaşık %9,6'dır. Açı arttıkça ses seviyesinde yaklaşık %1–2 oranında düşüş görülmekte, malzeme değişimi ise toplamda yaklaşık %8–10'luk bir akustik fark oluşturmaktadır.

Düşük sıcaklık koşullarında rüzgar hızları dairesel kesitte 8–8,55 m/s arasında değişmektedir. Maksimum fark yaklaşık %6,8'dir. Oval kesitte de benzer şekilde %6–7 aralığında fark oluşmuştur. Oluklu çelik bacalarda rüzgar hızının diğer malzemelere göre ortalama %5–6 daha düşük olduğu görülmektedir.

Pozitif sıcaklık koşullarında hız değerleri 8,83–9,43 m/s aralığında değişmiştir. Maksimum fark yaklaşık %6,8'dir. Açı artışıyla hızın yaklaşık %0,5–1 oranında azaldığı, malzeme etkisinin ise toplamda %6–7 düzeyinde olduğu belirlenmiştir. Bu durum çevresel sıcaklığın çekiş performansını doğrudan etkilediğini göstermektedir.

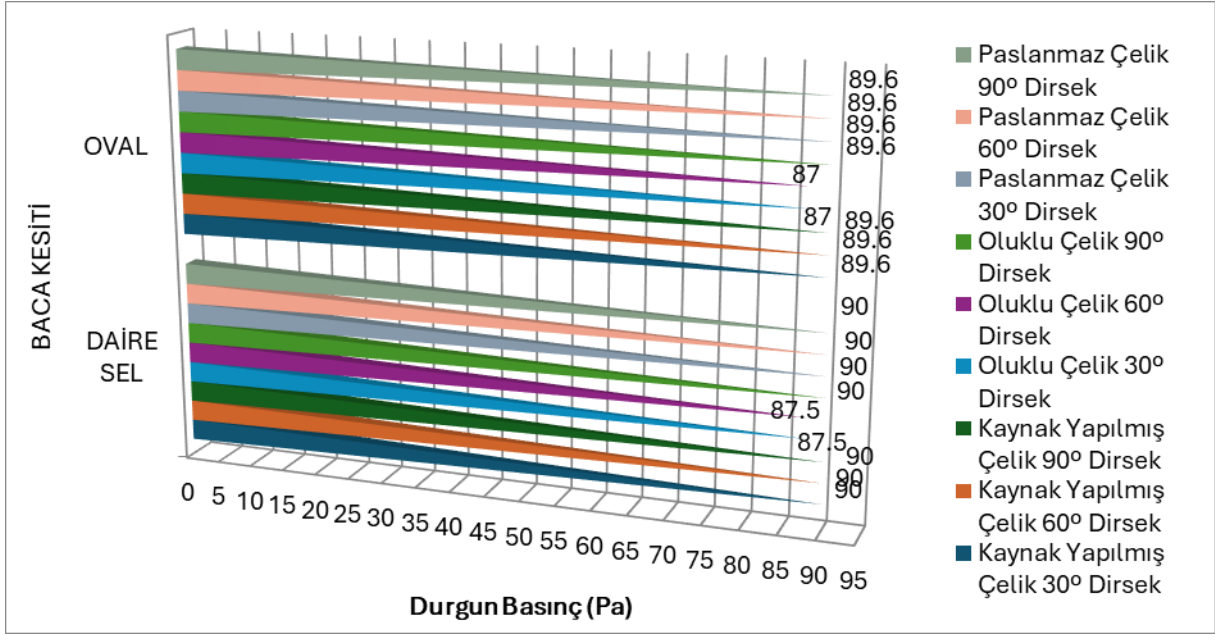


Şekil 5. Baca -15°C rüzgar hızı

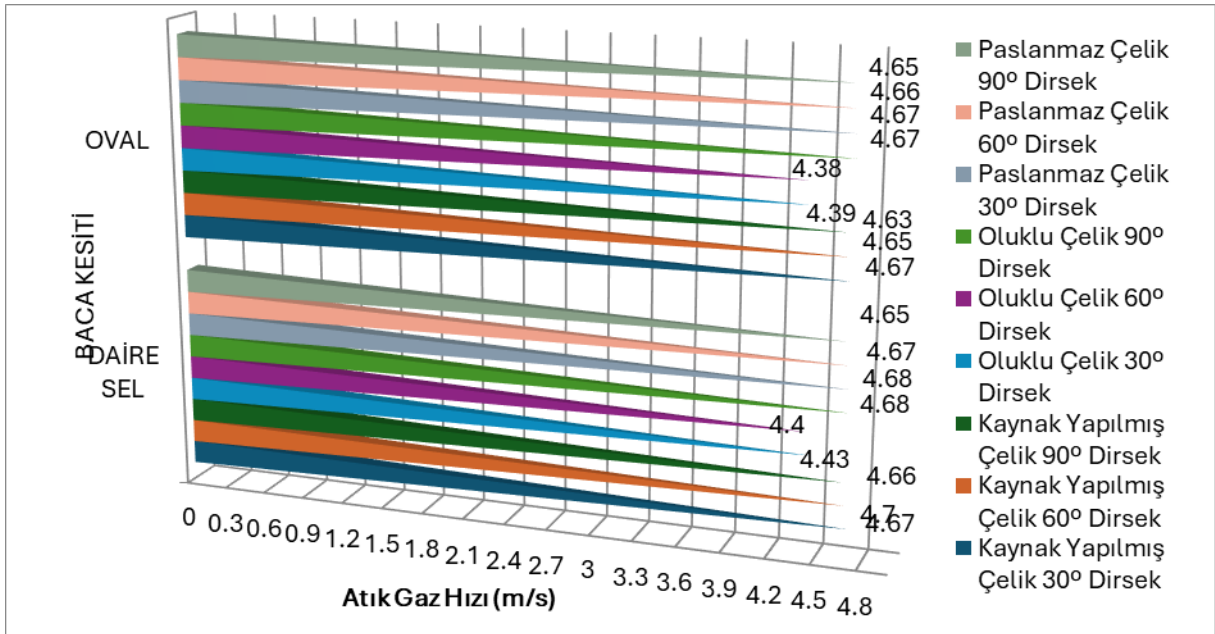


Şekil 6. Baca +15°C rüzgar hızı

Durgun basınç değerleri dairesel kesitte 87,5–90 Pa arasında değişmektedir. Maksimum fark yaklaşık %2,8'dir. Oval kesitte ise fark %2,9'dur. Oluklu çelik bacalarda basınç değerlerinin yaklaşık %2–3 daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum sistem çekiş stabilitesini doğrudan etkilemektedir.

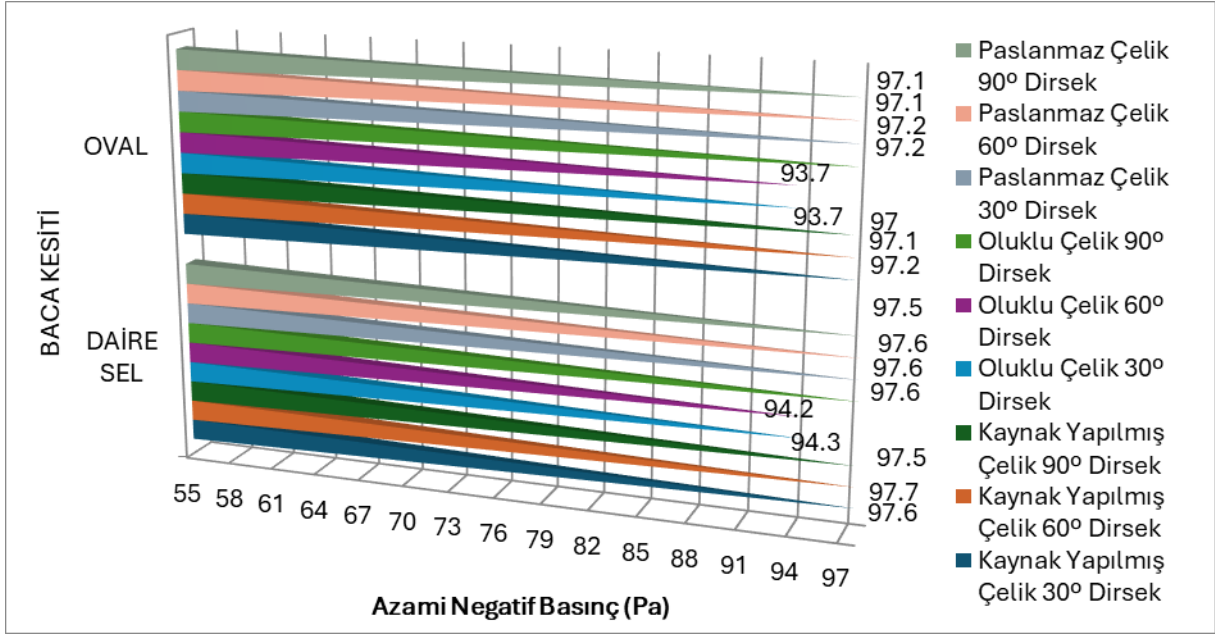


Şekil 7. Baca durgun basınç



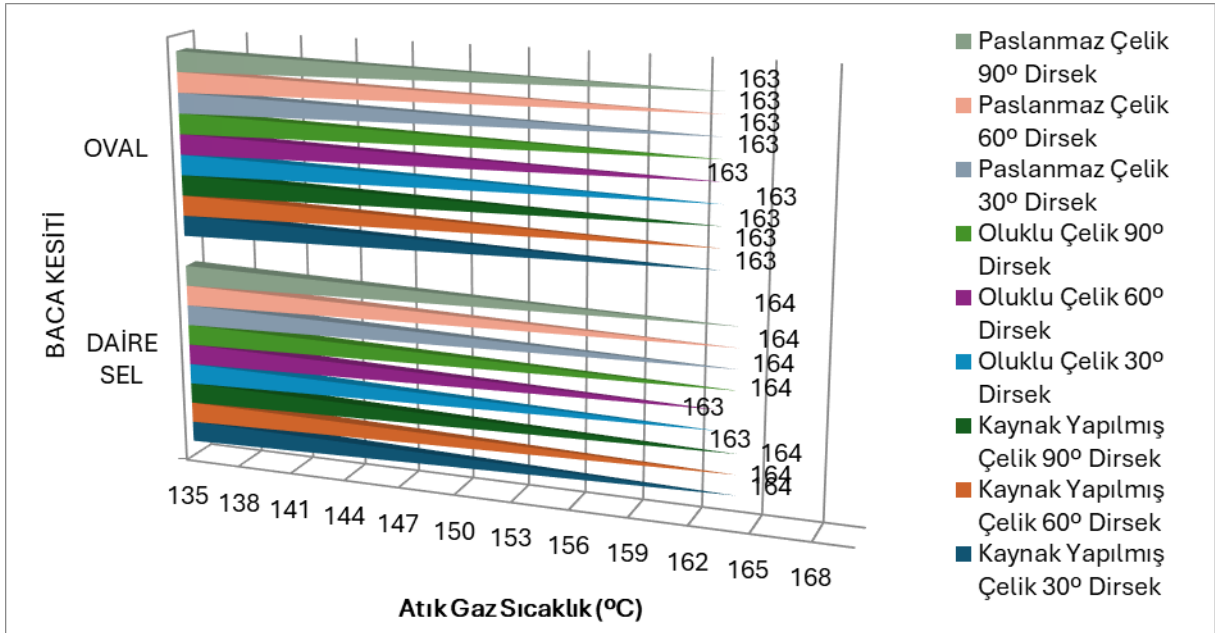
Şekil 8. Baca atık gaz hızı

Atık gaz hızı dairesel kesitte 4,4–4,7 m/s aralığında değişmiş ve yaklaşık %6,8'lik fark oluşmuştur. Oval kesitte fark yaklaşık %6,6'dır. Özellikle 30° senaryolarında hızın 90°'ye göre ortalama %4–6 daha yüksek olduğu görülmektedir.



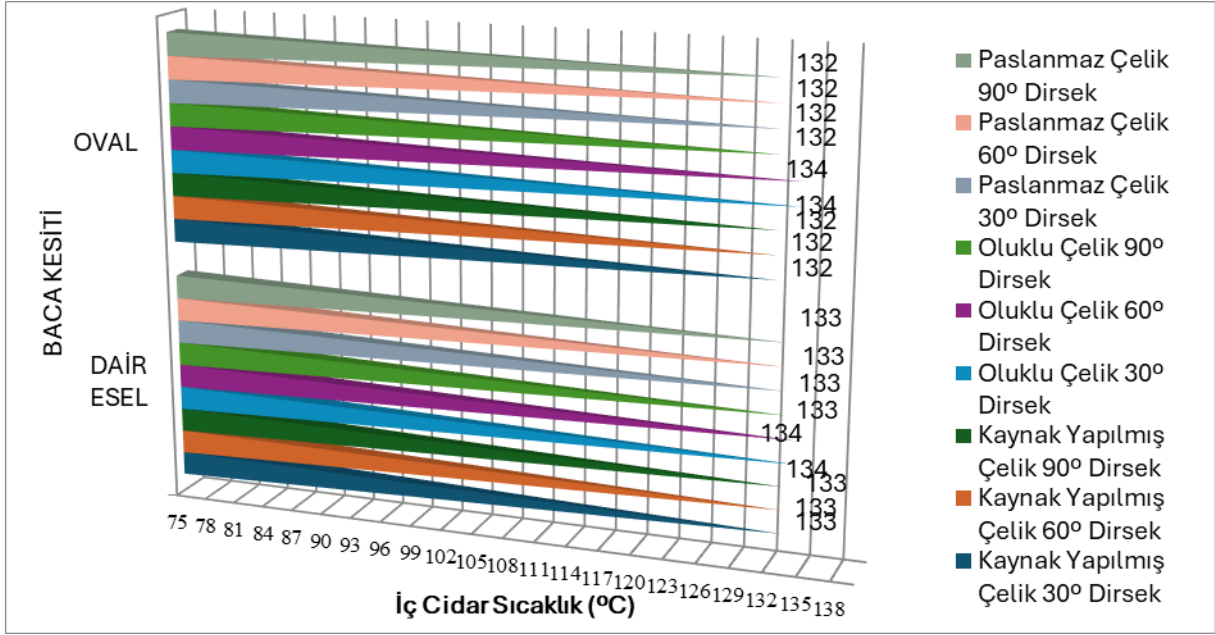
Şekil 9. Baca azami negatif basınç

Azami negatif basınç değerleri dairesel kesitte 94,2–97,7 Pa arasında değişmiş ve yaklaşık %3,7'lik fark oluşmuştur. Oval kesitte fark %3,6'dır. Açı arttıkça negatif basıncın yaklaşık %0,2–0,5 oranında azaldığı görülmektedir.



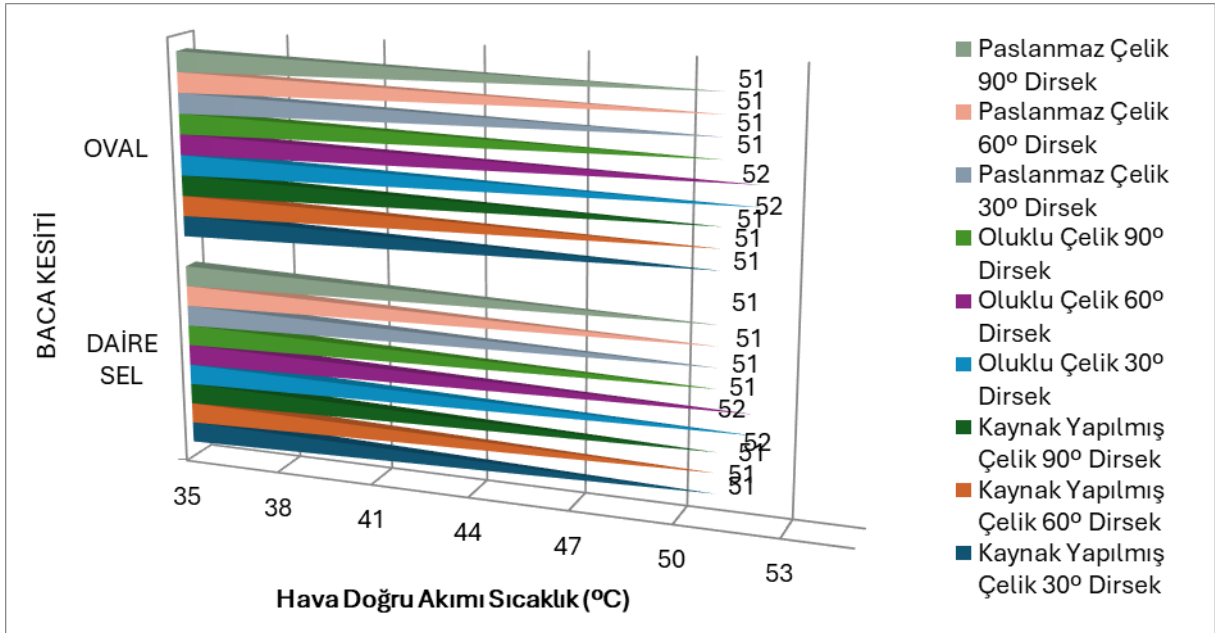
Şekil 10. Baca atık gaz sıcaklık

Atık gaz sıcaklığı 163–164°C aralığında değişmektedir. Maksimum fark yaklaşık %0,6'dır. Bu değer açı ve kesit değişiminin sıcaklık üzerinde sınırlı bir etkisi olduğunu göstermektedir.



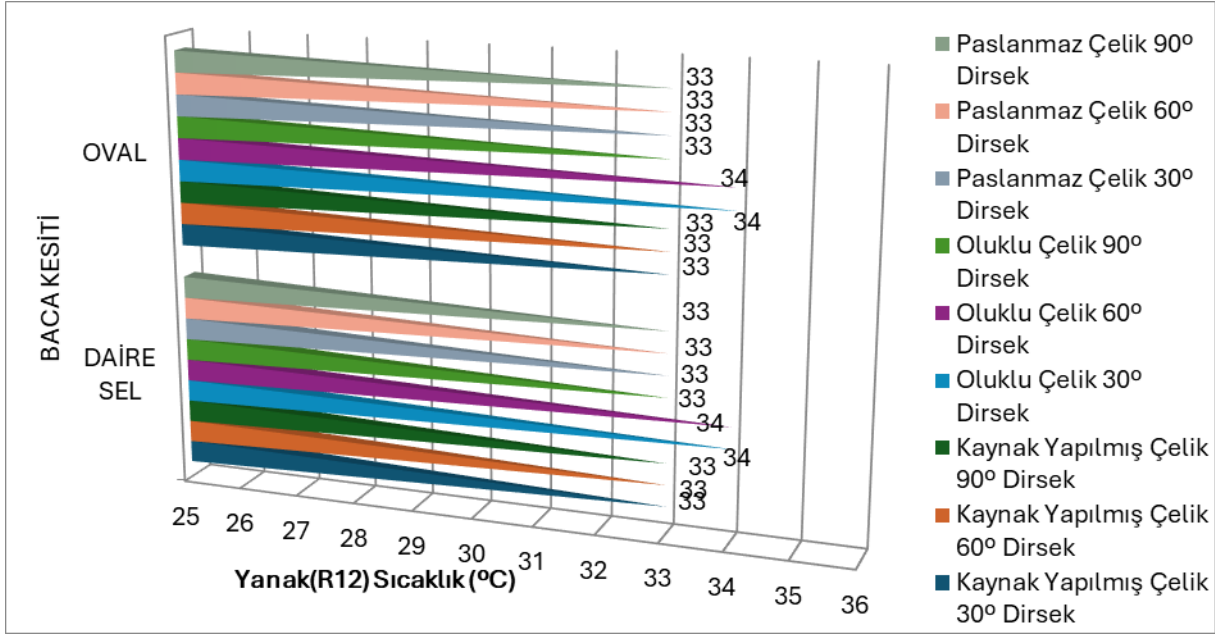
Şekil 11. Bacanın iç cidar sıcaklığı

İç cidar sıcaklığı 132–134°C aralığında değişmiş olup maksimum fark yaklaşık %1,5'tir. Oluklu çelik bacalarda sıcaklık yaklaşık %1 daha yüksek çıkmıştır. Bu durum malzemenin ısıl davranış farklılığından kaynaklanmaktadır.



Şekil 12. Baca hava doğru akımı sıcaklığı

Hava doğru akımı sıcaklığı 51–52°C aralığında değişmekte olup maksimum fark yaklaşık %2'dir. Açık artışı ve oluklu çelik kullanımı sıcaklığı yaklaşık %1–2 artırmıştır.



Şekil 13. Baca yanak (R12) sıcaklık

Yanak sıcaklığı 33–34°C aralığında değişmektedir. Maksimum fark yaklaşık %3'tür. Oluklu çelik senaryolarında yanak sıcaklığının yaklaşık %3 daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum yüzey ısı transferinin malzeme türüne bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, Gaziantep ili iklim koşullarında çalışan sıvı yakıtlı bir ısıtma sistemine ait baca tasarımı; açı (30°, 60°, 90°), malzeme (kaynaklı çelik, paslanmaz çelik, oluklu çelik) ve kesit geometrisi (daireSEL, oval) parametreleri altında sayısal olarak değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları, baca performansının tek bir parametreye bağlı olmadığını; açı–malzeme–kesit etkileşiminin sistem davranışını birlikte şekillendirdiğini göstermiştir.

Akış performansı açısından değerlendirildiğinde, 30° dirsekli sistemlerin 90° konfigürasyonlara kıyasla ortalama %6–8 daha yüksek akım hızı ve %4–6 daha yüksek atık gaz hızı sağladığı belirlenmiştir. Bu durum, açı büyüdükçe akış direncinin arttığını ve çekiş performansının kademeli olarak azaldığını ortaya koymaktadır. Özellikle oluklu çelik bacalarda akım hızının diğer malzemelere göre yaklaşık %6–8 daha düşük gerçekleşmesi, yüzey pürüzlülüğünün akış karakteristiği üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir.

Basınç parametreleri incelendiğinde, durgun basınçta yaklaşık %2–3, azami negatif basınçta ise %3–4 aralığında değişim tespit edilmiştir. En yüksek çekiş değerleri 30° ve 60° konfigürasyonlarda elde edilirken, 90° senaryolarında basınç kayıplarının arttığı görülmüştür. Bu sonuç, özellikle yüksek kapasiteli endüstriyel sistemlerde açı optimizasyonunun enerji verimliliği açısından kritik olduğunu göstermektedir.

Kesit geometrisi karşılaştırıldığında, daireSEL ve oval kesitler arasında performans farkının sınırlı olduğu; ancak oval kesitlerde akım hızının ortalama %0,5–1 daha düşük, kesit ihtiyacının ise yaklaşık %6–7 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum, oval kesitin alan verimliliği sağlamakla birlikte akış direnci açısından sınırlı dezavantaj oluşturabileceğini göstermektedir.

Isıl performans analizlerinde atık gaz sıcaklığının 163–164°C aralığında değiştiği ve maksimum farkın %0,6 düzeyinde kaldığı görülmüştür. İç cidar ve malzeme sıcaklıklarında ise yaklaşık %1–1,5'lik değişim meydana gelmiştir. Oluklu çelik bacalarda yüzey sıcaklıklarının yaklaşık %1–3 daha yüksek olması, ısı transfer karakteristiğinin malzemeye bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Bununla birlikte sıcaklık parametrelerinin açı değişiminden sınırlı düzeyde etkilendiği anlaşılmıştır.

Çevresel koşulların etkisi incelendiğinde, -15°C ve +15°C dış ortam sıcaklıkları arasında rüzgar hızı değerlerinde yaklaşık %6–7 oranında değişim gözlenmiştir. Düşük dış sıcaklıklarda çekiş performansının artma eğiliminde olduğu, ancak buna paralel olarak ısı kaybı riskinin de yükseldiği

değerlendirilmiştir. Bu bulgu, bölgesel iklim verilerinin baca tasarım sürecine entegre edilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Genel değerlendirme yapıldığında, enerji etkinlik açısından en dengeli performansın 30° ve 60° dirsekli, dairesel kesitli ve paslanmaz veya kaynaklı çelik malzemeden oluşan sistemlerde elde edildiği söylenebilir. 90° dirsekli ve oluklu çelik kombinasyonlarının ise akış hızı, basınç kaybı ve yüzey sıcaklığı parametreleri açısından daha düşük performans gösterdiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak, baca tasarımında açı optimizasyonunun akış ve basınç performansı üzerinde %6–8 düzeyinde belirgin bir etki oluşturduğu; malzeme seçiminin ise özellikle yüzey sıcaklığı ve akış direnci üzerinde %3–8 aralığında değişime neden olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, endüstriyel baca tasarımında çok parametrelili optimizasyon yaklaşımının enerji verimliliğini artırmada ve sistem kararlılığını sağlamada önemli bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma, bölgesel iklim koşulları dikkate alınarak gerçekleştirilen simülasyon temelli analizlerin tasarım karar süreçlerine bilimsel katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] International Energy Agency (IEA). (2023). *World Energy Outlook 2023*. Paris: IEA.
- [2] Figen Balo, “Characterization of green building materials manufactured from canola oil and natural zeolite”, *Journal of material cycles and waste management (JMCWM)*, 17:336–349, 2015
- [3] Li, Y. (2013). *Thermal performance analysis of a PCM combined solar chimney system for natural ventilation and heating/cooling* (Doctoral dissertation, Coventry University).
- [4] Salehi, A., Fayaz, R., Bozorgi, M., Asadi, S., Costanzo, V., Imani, N., & Nocera, F. (2019). Investigation of thermal comfort efficacy of solar chimneys under different climates and operation time periods. *Energy and buildings*, 205, 109528.
- [5] Dhahri, M., Nekoonam, S., Hana, A., El Haj Assad, M., Arıcı, M., Sharifpur, M., & Sammouda, H. (2021). Thermal performance modeling of modified absorber wall of solar chimney-shaped channels system for building ventilation. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 145(3), 1137-1149.
- [6] Arzpeyma, M., Mekhilef, S., Newaz, K. M. S., Horan, B., Seyedmahmoudian, M., Akram, N., ... & Mathew, B. (2022). Numerical simulation of the effect of chimney configuration on the performance of a solar chimney power plant. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(3), 2549-2563.
- [7] Cao, F., Zhao, L., Li, H., & Guo, L. (2013). Performance analysis of conventional and sloped solar chimney power plants in China. *Applied Thermal Engineering*, 50(1), 582-592.
- [8] Looser, R., Vivar, M., & Everett, V. (2014). Spectral characterisation and long-term performance analysis of various commercial Heat Transfer Fluids (HTF) as Direct-Absorption Filters for CPV-T beam-splitting applications. *Applied energy*, 113, 1496-1511.
- [9] Lin, Z., Zhang, C., & Zhao, Y. (2025). A direct-fired dual-effect ejector-based flue gas waste heat recovery system: Cascaded energy efficiency and low-carbon applications. *Applied Thermal Engineering*, 127774.
- [10] Figen Balo, Ahmet Karahan, Lutfu S. Sua, A simulation supported chimney design application for greener buildings, Proceedings of Engineering to Thrive 2022: Water, Air, Shelter, and Food Symposium, June 23-24, 2022, University of Windsor, Ontario, CANADA.
- [11] Figen Balo, Evaluation of Ecological Insulation Material Manufacturing with Analytical Hierarchy Process (Ekolojik yalıtım malzemesi üretiminin analitik hiyerarşi prosesi ile değerlendirilmesi), *Journal of polytechnic (Politeknik Dergisi)* 20(3): 733-742, (2017) e-ISSN: 2147-9429
- [12] Figen Balo, Theoretical modelling, experimental testing and simulation analysis of thermal properties for green building-insulation materials, ISSN: 2073-4360, *Polymers (MDPI)*, Jan 2025, 17 (3), page: 340

ELAZIĞ İLİ KOŞULLARINDA KONUT TİPİ ISITMA SİSTEMLERİ İÇİN SİMÜLASYON DESTEKLİ BACA PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİ

Öğr.Gör. Ahmet KARAHAN¹

¹ Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Yeşilyurt Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon
Bölümü, 44100, Malatya, Türkiye
0000-0002-3954-8685

Prof.Dr. Figen BALO²

² Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Met.ve Malz Bölümü, 23100, Elazığ, Türkiye
0000-0001-5886-730X

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

ÖZET

Bu çalışmada, Elazığ ilinin iklim koşullarında yer alan ve 60.000 kcal/h kapasiteli bir ısıtma cihazı ile donatılmış 480 m² büyüklüğündeki bir villaya ait baca sistemlerinin enerji verimliliği ve emisyon davranışı analiz edilmiştir. Araştırma kapsamında, çift cidarlı 35 mm taş yünü yalıtımlı baca sistemi ile tek cidarlı yalıtımsız baca sistemi olmak üzere iki farklı yalıtım durumu ele alınmıştır. Ayrıca Flex çelik boru, alüminyum boru, alüminyum düz boru ve çelik döküm boru olmak üzere dört farklı baca malzemesi kullanılarak dairesel ve oval kesitli, bina içi yerleşime sahip baca tasarımları oluşturulmuştur. Farklı malzeme, kesit, yalıtım ve yerleşim kombinasyonlarından meydana gelen alternatif senaryolar KesaAladin simülasyon programı yardımıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yalıtım durumu ve baca malzemesinin, sistem çekişi, baca gazı sıcaklıkları ve enerji kayıpları üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Çalışma, Elazığ ili özelinde konut ölçekli ısıtma sistemlerinde uygun baca tasarımının emisyonların azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması açısından önemli bir potansiyel sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Konut baca sistemleri, taş yünü yalıtım, baca malzemeleri, enerji verimliliği, emisyon performansı, KesaAladin simülasyonu

1 GİRİŞ

Konut tipi ısıtma sistemlerinde baca tasarımı, sistem verimliliği, yanma kalitesi, emisyon kontrolü ve işletme güvenliği açısından oldukça önemlidir. Bacanın ana sistematiği, yanma sonucu oluşan atık gazları güvenli ve sürekli bir şekilde atmosfere iletmektir. Bu işlem büyük oranda doğal çekiş prensibine dayanmaktadır. Baca içi sıcak gaz ile dış ortam havası arasındaki yoğunluk farkı akış mekanizmasını belirlemektedir [1]. Dolayısıyla baca geometrisi, kesit formu, malzeme özellikleri ve yalıtım durumu gibi parametreler çekiş performansını doğrudan etkileyen parametrelerdir.

Son yıllarda enerji verimliliği ve C-emisyonlarının azaltılması hedefleri için, ısıtma sistemlerinin tüm bileşenlerinin performans odaklı değerlendirilmesi önem kazanmıştır. Baca sistemlerinde meydana gelen ısı kayıpları, yalnızca sistem verimini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda gaz sıcaklığının düşmesine bağlı olarak gelişebilen yoğunlaşma, korozyon ve çekiş zayıflaması gibi teknik sorunlara da neden olabilir [2]. Bu yüzden baca iç yüzey sıcaklığının korunması ve gaz sıcaklığının stabil tutulması enerji verimli tasarım açısından önemlidir.

Yalıtımlı baca sistemleri, atık gaz sıcaklığını daha uzun süre koruyarak yoğunluk farkının sürdürülmesine katkı sağlar. Bu sayede doğal çekiş de iyileştirilebilir [3]. Literatürde yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar, yalıtım uygulamalarının baca içi akış hızı, negatif basınç değeri ve emisyon dağılımı üzerinde bu şekilde önemli iyileşmeler sağlanabildiği rapor edilmiştir [4]. Özellikle düşük dış ortam sıcaklıklarına maruz bölgede kurulan sistemlerde yalıtımın çekiş performansı üzerindeki etkisi daha belirgindir. Bu konu literatürde yapılan çalışmalarla teyit edilmiştir [5].

Baca kesit geometrisi de akış karakteristiği üzerinde önemli parametrelerden biridir. Dairesel kesitli bacalar genellikle daha homojen hız dağılımı ve düşük türbülans kaybı sağlarken, alternatif kesit formlarının akış direnci ve basınç dağılımında farklı sonuçlar doğurabileceği çalışmalarda

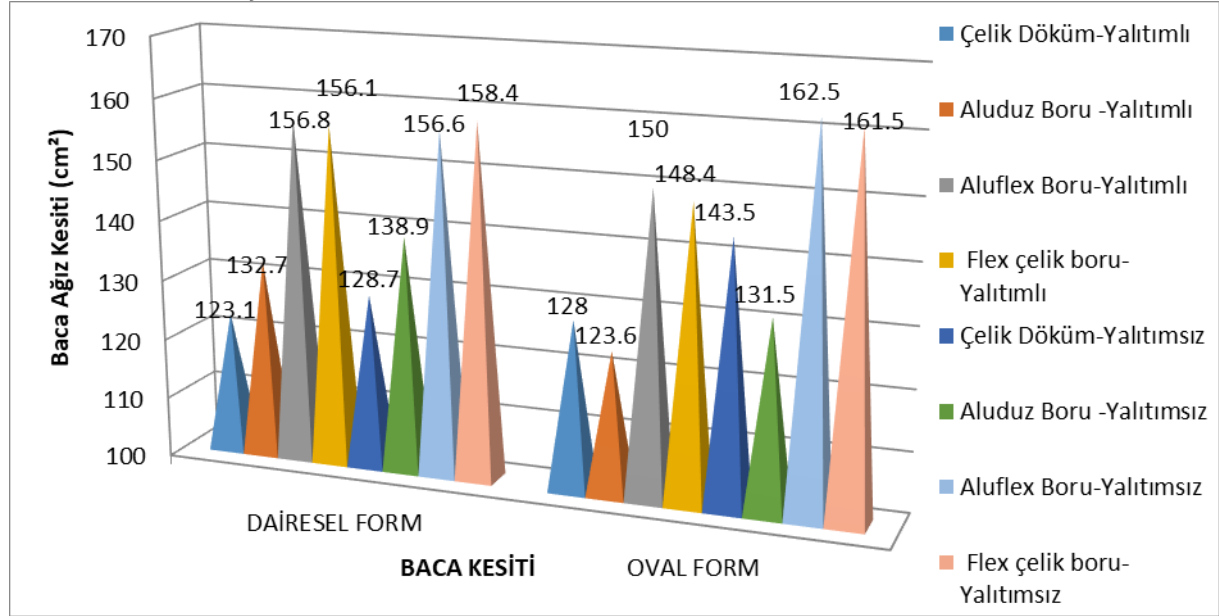
belirtmiştir [6]. Bu, özellikle konut ölçekli sistemlerde malzeme ve form seçimlerinin birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Malzeme türü, ısı iletkenlik katsayısı ve yüzey pürüzlülüğü gibi özellikler aracılığıyla hem ısı transferini hem de akış direncini etkilemektedir. Çelik, alüminyum ve kompozit baca elemanlarının karşılaştırıldığı güncel çalışmalarda, malzeme seçiminin iç cidar sıcaklığı ve yoğunlaşma riski üzerinde belirleyici olduğu üzerine çalışmalar mevcuttur [7]. Ayrıca baca sistemlerinde oluşan akustik davranışın da akış hızı ve kesit alanı ile ilişkili olduğu rapor edilmiştir [8].

Simülasyon ile desteklenen analiz yöntemleri, baca sistemlerinin performansını deneysel uygulamalara kıyasla daha kısa sürede ve daha düşük maliyetle değerlendirme imkânı sunmaktadır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ve bina enerji simülasyon yazılımları kullanılarak yapılan çalışmalar, sıcaklık dağılımı, basınç değişimi ve hız profillerinin detaylı biçimde analiz edilebildiğini göstermektedir [9]. Bu yaklaşım, tasarım aşamasında farklı senaryoların karşılaştırılmasına ve optimum çözümün belirlenmesine olanak sağlamaktadır [10-12].

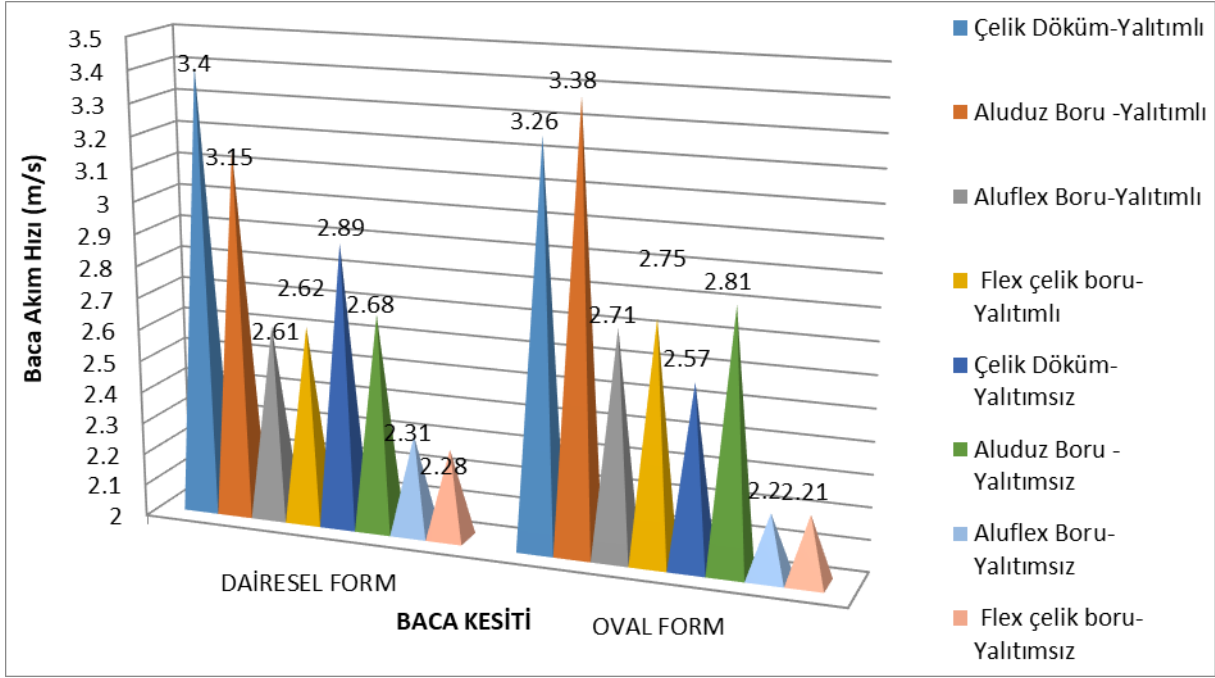
Bu çalışma kapsamında, konut tipi bir ısıtma sisteminde farklı baca malzemeleri, kesit formları ve yalıtım durumları simülasyon destekli olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulguların, konut ölçeğinde baca tasarımına yönelik performans temelli karar verme süreçlerine katkı sağlaması amaçlanmıştır.

2. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER



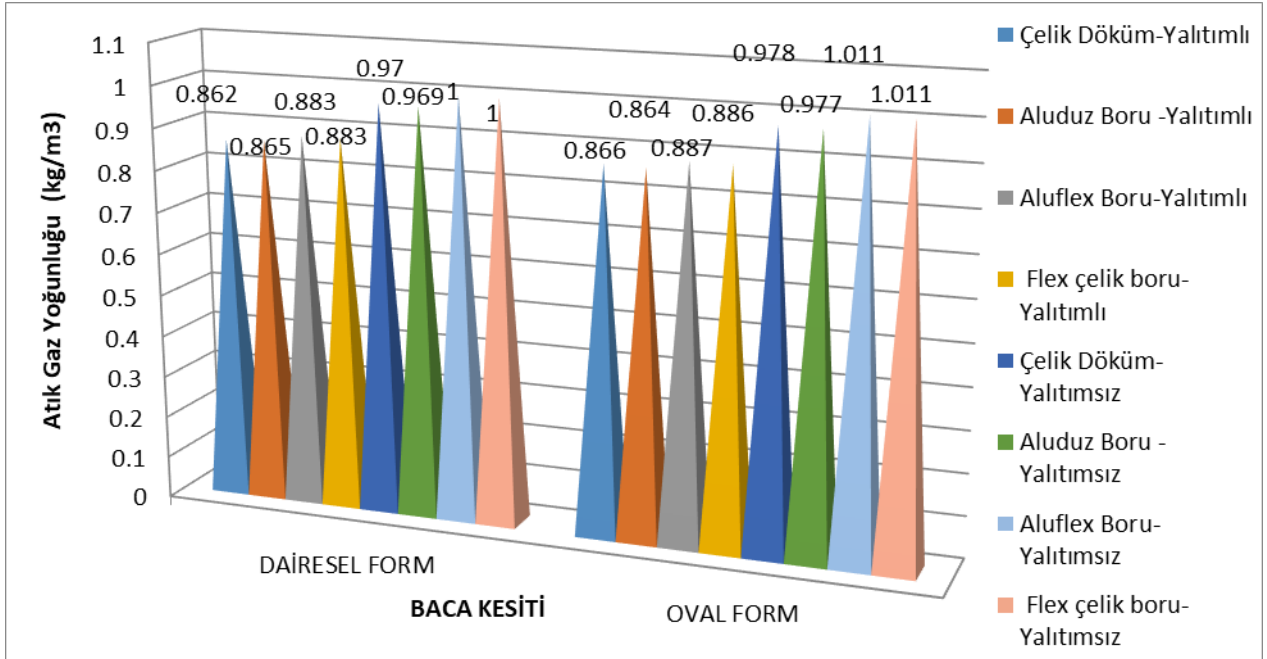
Şekil 1. Baca ağız kesiti

Şekil 1’de, hem dairesel hem oval formlarda yalıtımsız bacalarda ağız kesitinin genel olarak daha büyük olduğu görülmektedir. Özellikle alüminyum flex ve çelik flex borularda kesit artışı mevcuttur. Bu durum, yalıtımsız sistemlerde akış sürekliliğini sağlamak amacıyla daha geniş kesite ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Yalıtımlı sistemlerde ise daha kompakt kesitlerle yeterli çekiş performansı sağlanabilmektedir.



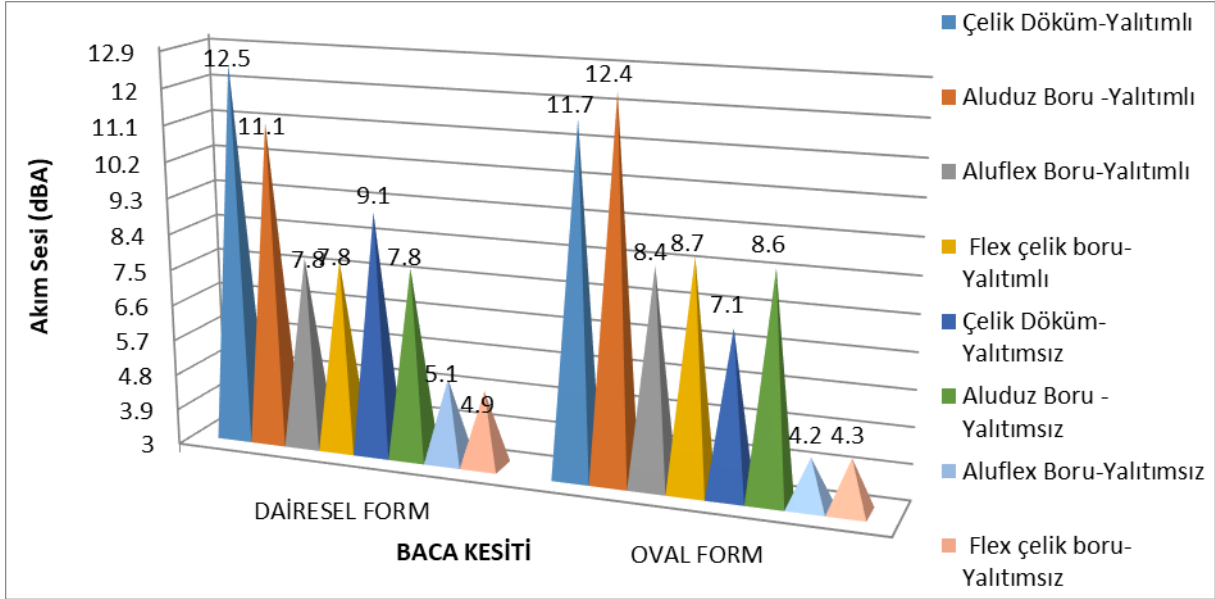
Şekil 2. Baca akım hızı

Şekil 2’de akım hızlarının yalıtımlı bacalarda daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Dairesel formda özellikle çelik döküm ve Al düz borularda hız değerleri 3 m/s’nin üzerine çıkarken, yalıtımsız sistemlerde hızların düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, yalıtımın gaz sıcaklığını koruyarak yoğunluğu azalttığını ve çekişi artırdığını göstermektedir.



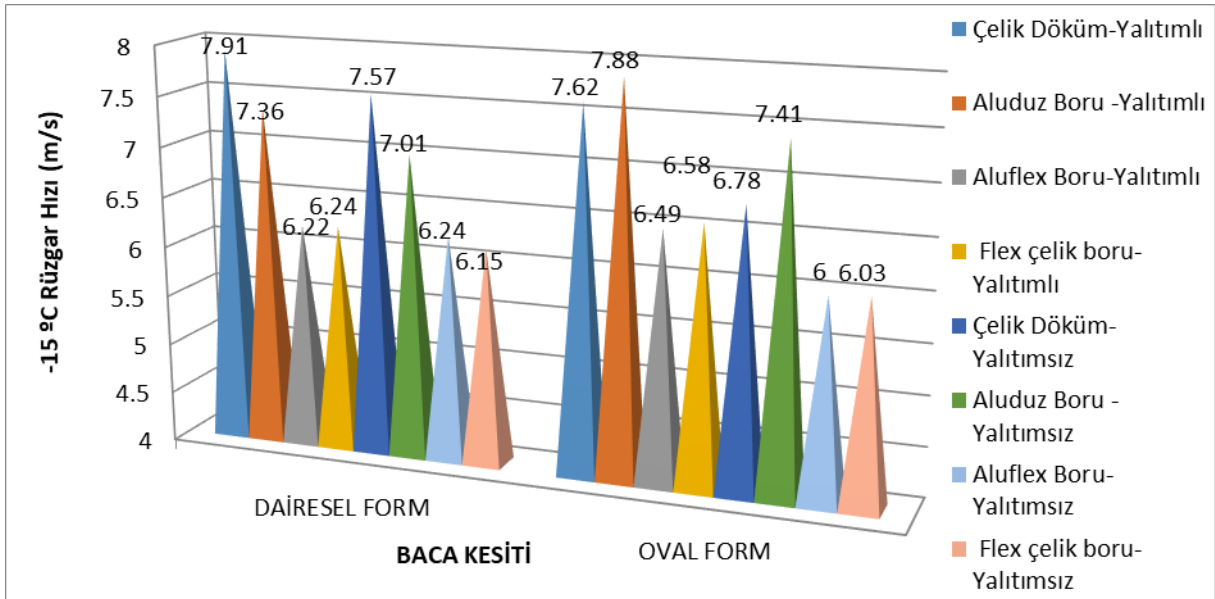
Şekil 3. Baca atık gaz yoğunluğu

Atık gaz yoğunluğu değerleri yalıtımsız bacalarda daha yüksek belirlenmiştir. Bunun ana nedeni, yalıtımsız sistemlerde gaz sıcaklığının daha hızlı düşmesi ve buna bağlı olarak yoğunluğun artmasıdır. Yalıtımlı sistemlerde ise daha düşük yoğunluk değerleri elde edilerek doğal çekiş koşulları iyileştirilmiştir.



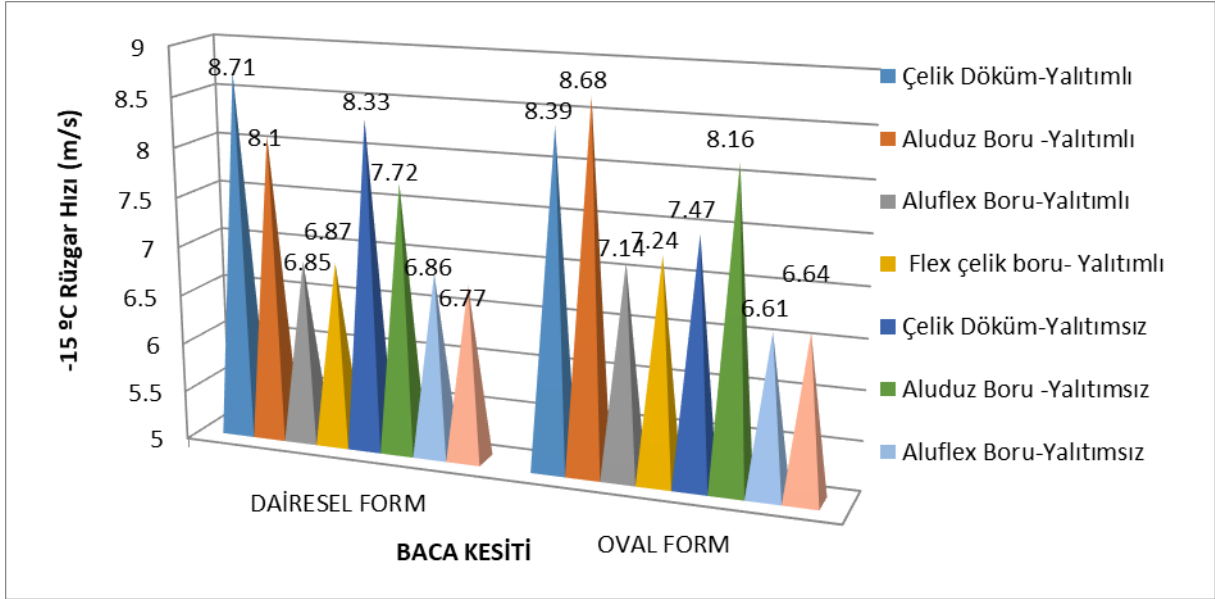
Şekil 4. Baca akım sesi

Şekil 4'e göre en yüksek akım sesi değerleri yalıtımlı ve yüksek hız değerine sahip sistemlerde görülmektedir. Özellikle çelik döküm bacalarda ses seviyesi daha yüksektir. Yalıtımsız ve flex boru kullanılan sistemlerde ise daha düşük ses seviyeleri ölçülmüştür. Bu durum akım hızı ile ses seviyesi arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermektedir.



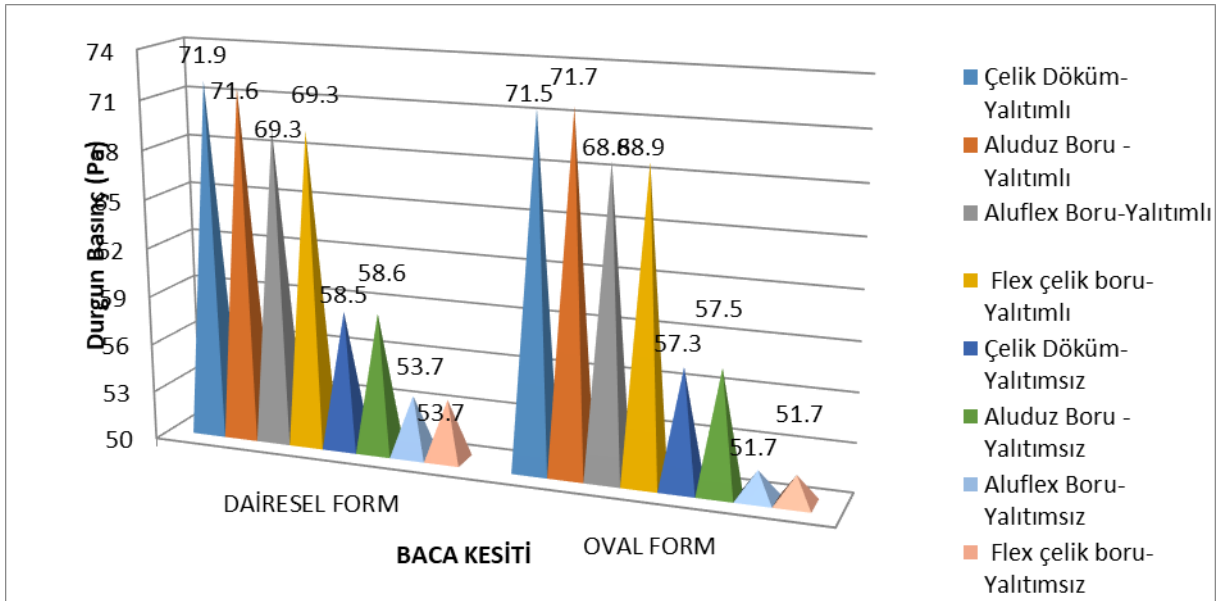
Şekil 5. Baca -15°C rüzgar hızı

Düşük dış ortam sıcaklığında (-15°C) rüzgar hızları yalıtımlı sistemlerde daha yüksek çıkmıştır. Soğuk hava koşullarında sıcak gaz-soğuk hava yoğunluk farkı arttığı için çekiş kuvveti yükselmiştir. Özellikle dairesele çelik döküm ve aluduz borularda en yüksek değerler elde edilmiştir.



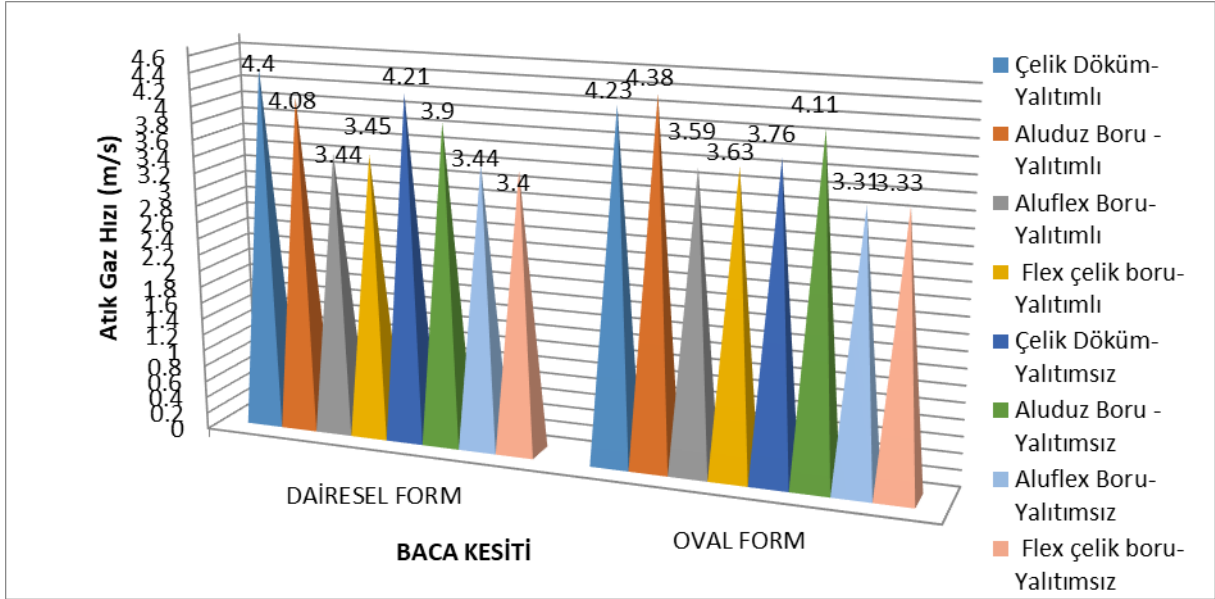
Şekil 6. Baca +15°C rüzgar hızı

+15°C koşullarında tüm sistemlerde rüzgar hızlarının azaldığı görülmektedir. Dış ortam sıcaklığı arttıkça yoğunluk farkı azalmış ve çekiş zayıflamıştır. Ancak yalıtımlı sistemler bu koşulda dahi daha kararlı performans sergilemiştir.



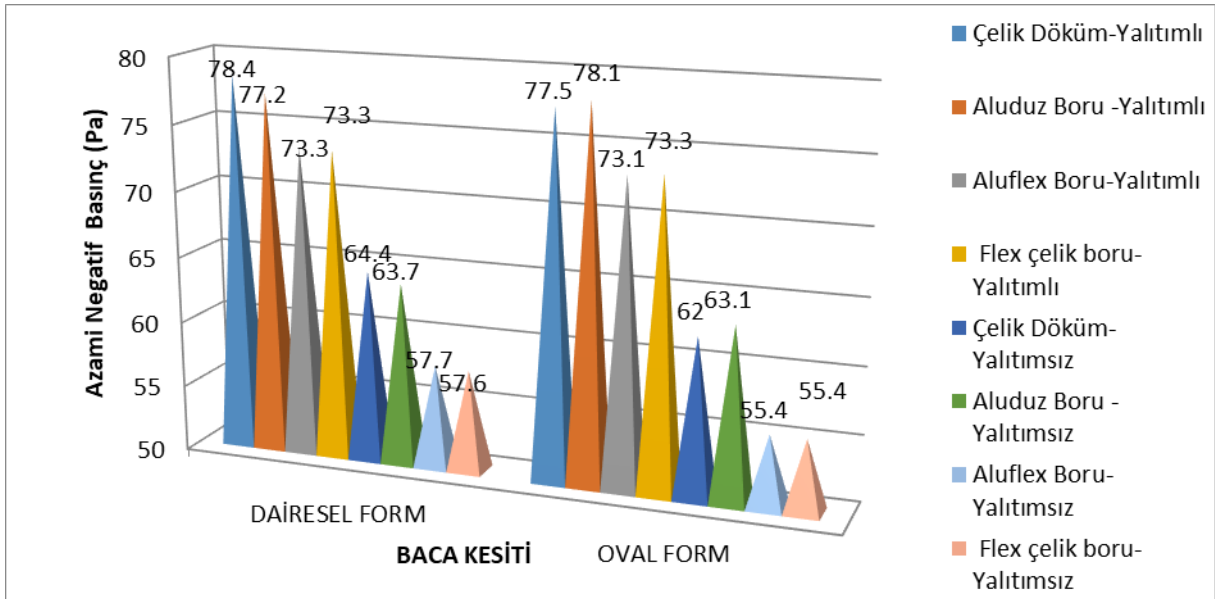
Şekil 7. Baca durgun basınç

Durgun basınç değerleri yalıtımlı sistemlerde yaklaşık 69–72 Pa aralığında iken, yalıtımsız sistemlerde belirgin şekilde düşmektedir. Bu durum, yalıtımın baca içindeki termal kararlılığı artırarak basınç kayıplarını azalttığını göstermektedir.



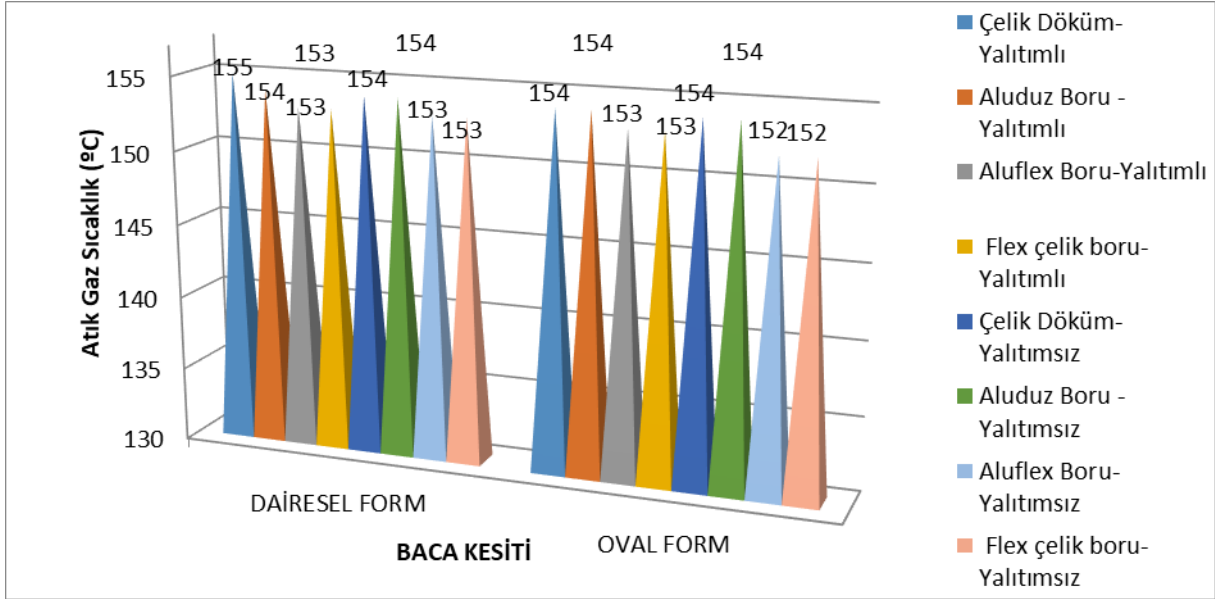
Şekil 8. Baca atık gaz hızı

Atık gaz hızları, akım hızı sonuçlarıyla paralel şekilde yalıtımlı sistemlerde daha yüksek gerçekleşmiştir. Özellikle dairesel çelik döküm ve aluduz borularda maksimum değerlere ulaşılmıştır. Yalıtımsız sistemlerde gaz soğumasına bağlı olarak hız düşüşü meydana gelmiştir.



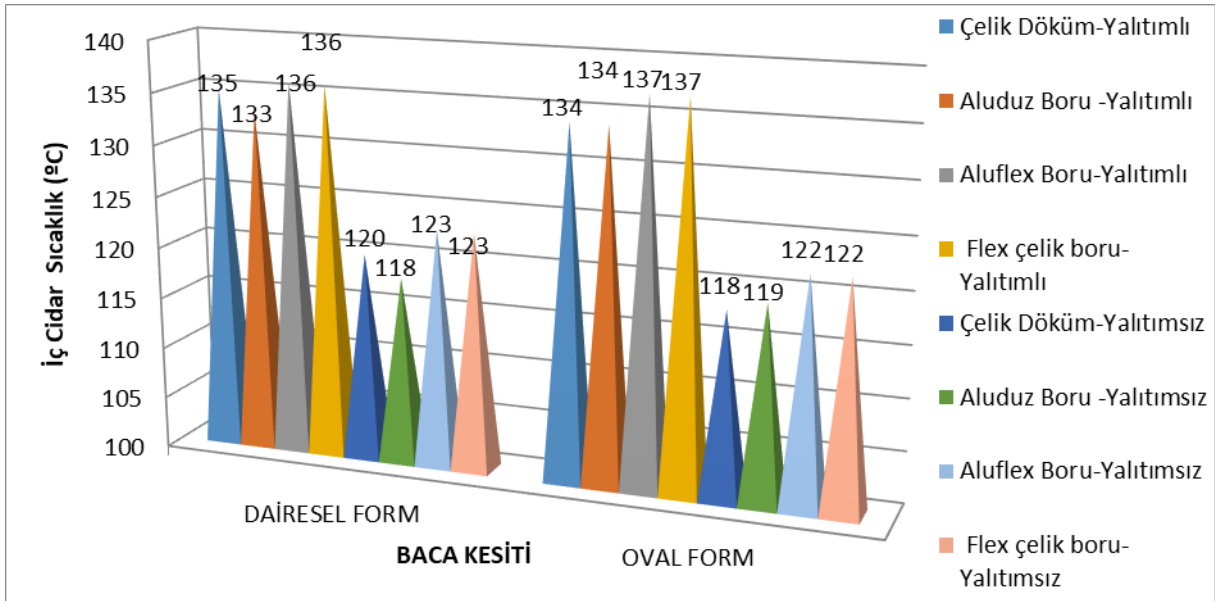
Şekil 9. Baca azami negatif basınç

Azami negatif basınç değerleri yalıtımlı bacalarda daha yüksek ölçülmüştür. Bu durum daha güçlü çekiş anlamına gelmektedir. Yalıtımsız ve flex boru kullanılan sistemlerde negatif basınç değerleri daha düşük olup çekiş kapasitesi sınırlanmıştır.



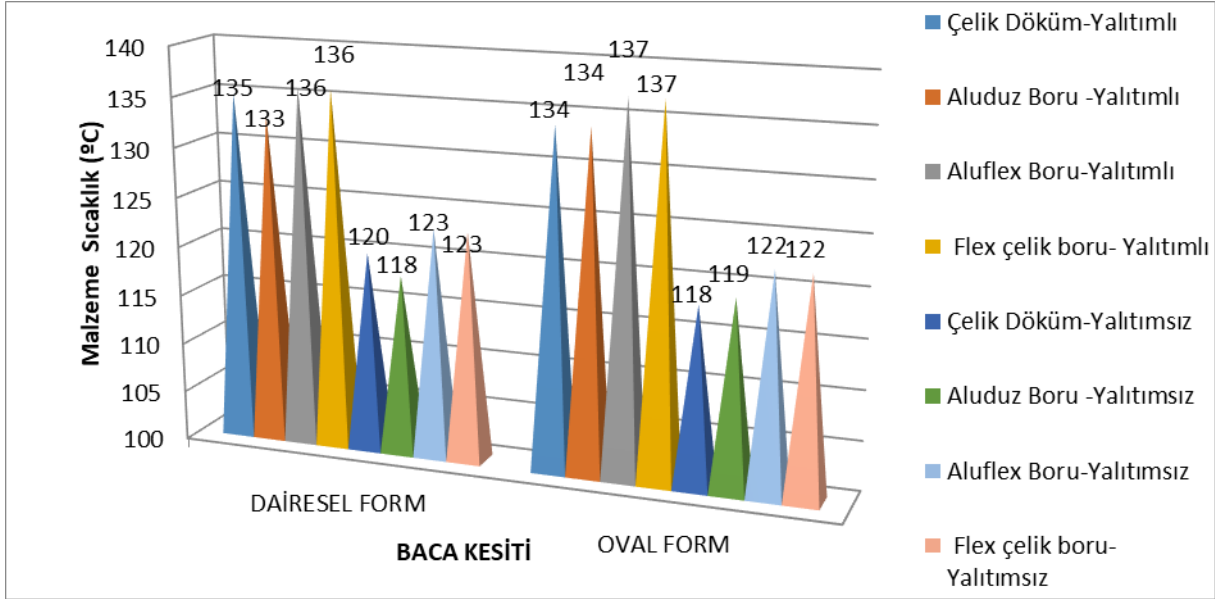
Şekil 10. Baca atık gaz sıcaklık

Atık gaz sıcaklıkları tüm senaryolarda birbirine yakın olmakla birlikte, yalıtımlı sistemlerde sıcaklık korunumu daha stabildir. Yalıtımsız sistemlerde ısı kaybı nedeniyle sıcaklık düşüşü daha erken gerçekleşmektedir.



Şekil 11. Bina içi-bina dışı bacanın iç cidar sıcaklık

İç cidar sıcaklıkları yalıtımlı bacalarda 133–137°C aralığında seyredirken, yalıtımsız sistemlerde yaklaşık 118–123°C seviyelerine düşmektedir. Bu fark, yoğunlaşma riskinin yalıtımsız sistemlerde daha yüksek olabileceğini göstermektedir.



Şekil 12. Baca malzemesi sıcaklık

Malzeme sıcaklığı sonuçları iç cidar sıcaklıkları ile paralellik göstermektedir. Yalıtımlı sistemlerde daha yüksek ve dengeli sıcaklık dağılımı sağlanırken, yalıtımsız sistemlerde ısı kaybı belirginleşmektedir. Bu durum uzun vadede malzeme dayanımı ve sistem verimliliği açısından önem taşımaktadır.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, konut tipi bir ısıtma sistemi için farklı baca malzemesi, kesit formu ve yalıtım durumlarının baca performans parametreleri üzerindeki etkileri simülasyon destekli olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, baca sistemlerinde yalıtım uygulamasının akım hızı, negatif basınç ve durgun basınç değerlerini artırarak çekiş performansını iyileştirdiğini göstermiştir. Buna karşılık atık gaz yoğunluğunu azalttığını göstermiştir.

Yalıtımsız sistemlerde ise gaz sıcaklığının daha hızlı düşmesi nedeniyle yoğunluk artışı ve çekiş zayıflaması gözlemlenmiştir. Dairesel kesitli bacalar genel olarak daha dengeli akış ve basınç değerleri sunarken, malzeme türünün özellikle iç cidar sıcaklığı ve akım sesi üzerinde etkili olduğu rapor edilmiştir.

Sonuç olarak, konut ölçekli ısıtma sistemlerinde enerji verimliliği, emisyon kontrolü ve sistem güvenliği açısından yalıtımlı baca tasarımlarının tercih edilmesi gerektiği ortaya konmuştur. Çıktılar, tasarım aşamasında karar vericilere teknik ve performans temelli bir değerlendirme altyapısı sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Bajno, D., Bednarz, Ł., & Grzybowska, A. (2021). The role and place of traditional chimney system solutions in environmental progress and in reducing energy consumption. *Energies*, 14(16), 4720.
- [2] Karimi, A., Norouzi, M., & Javanroodi, K. (2025). Solar chimney combined with active cooling systems for enhanced indoor comfort and energy efficiency under extreme climates: A data-driven optimization approach. *Solar Energy*, 300, 113809.
- [3] Ye, C., Zhang, Y., Lv, Q., Lou, S., Luo, X., Chen, Z., & Zhang, G. (2025). Enhanced Ventilation and Energy Efficiency of an Optimized Double-Channel Solar Chimney. *Buildings*, 15(8), 1380.
- [4] Torabi, M. R., Hosseini, M., Akbari, O. A., Afrouzi, H. H., Toghraie, D., Kashani, A., & Alizadeh, A. A. (2021). Investigation the performance of solar chimney power plant for improving the efficiency and increasing the outlet power of turbines using computational fluid dynamics. *Energy Reports*, 7, 4555-4565.

- [5] Park, S. J., Jang, D., Yook, S. J., & Lee, K. S. (2016). Optimization of a chimney design for cooling efficiency of a radial heat sink in a LED downlight. *Energy Conversion and Management*, 114, 180-187.
- [6] Zhai, X. Q., Song, Z. P., & Wang, R. Z. (2011). A review for the applications of solar chimneys in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3757-3767.
- [7] Dhahri, M., Nekoonam, S., Hana, A., El Haj Assad, M., Arıcı, M., Sharifpur, M., & Sammouda, H. (2021). Thermal performance modeling of modified absorber wall of solar chimney-shaped channels system for building ventilation. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 145(3), 1137-1149.
- [8] Allahham, O., Ghali, K., & Ghaddar, N. (2024). Novel energy efficient integration of chimney ventilation, liquid desiccant dehumidification, and evaporative cooling for humid climates. *Energy Conversion and Management: X*, 24, 100755.
- [9] Lee, K. H., & Strand, R. K. (2009). Enhancement of natural ventilation in buildings using a thermal chimney. *Energy and Buildings*, 41(6), 615-621.
- [10] Karahan, A., & Balo, F. (2024). Bulanık ilçesinde ısıtma kazanlarındaki enerji tüketimini azaltmak için simülasyon destekli baca tasarımı. *Bulanık MYO Sosyal Bilimler Dergisi* (Bulanık Sempozyumu Özel Sayısı), 52–63.
- [11] Figen Balo, Ahmet Karahan, Lutfu S. Sua, A simulation supported chimney design application for greener buildings, Proceedings of Engineering to Thrive 2022: Water, Air, Shelter, and Food Symposium, June 23-24, 2022, University of Windsor, Ontario, CANADA.
- [12] Figen Balo, Evaluation of Ecological Insulation Material Manufacturing with Analytical Hierarchy Process (Ekolojik yalıtım malzemesi üretiminin analitik hiyerarşi prosesi ile değerlendirilmesi), *Journal of polytechnic (Politeknik Dergisi)* 20(3): 733-742, (2017) e-ISSN: 2147-9429

ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN KONUT ÖLÇEĞİNDE TEKNİK UYGULANABİLİRLİĞİ VE PERFORMANS İNCELEMESİ

Y. Müh. Bayram GÜRE

Güre Enerji ve Mühendislik

baygure@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0003-1653-6451>

Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

srustemli@beu.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-4957-1782>

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet NUR

Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

anur@beu.edu.tr - <https://orcid.org/0009-0006-5671-6923>

ÖZET

Bu çalışmada, konut tipi elektrik enerjisi tüketiminin azaltılması amacıyla şebeke bağlantılı (on-grid) bir fotovoltaik sisteminin teknik tasarımı ve performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Sistem tasarımında fotovoltaik modül seçimi, inverter uyumluluğu, DC gerilim sınırları ve şebeke entegrasyonu mühendislik kriterleri doğrultusunda ele alınmıştır. Çalışmada 550 Wp gücünde monokristal paneller kullanılmış, 10 panelin seri bağlanmasıyla 5.5 kWp kurulu güç elde edilmiştir. Sistemden elde edilen yaklaşık 502 V açık devre gerilimi, seçilen 5 kW monofaze on-grid inverterin çalışma aralığı ile uyumlu bulunmuştur. Sistemde enerji depolama birimi kullanılmamış, üretilen enerji anlık olarak tüketimde değerlendirilmiş ve yetersiz üretim durumlarında enerji ihtiyacı şebekeden karşılanmıştır. Limiter cihazı ile enerji akışı kontrol altına alınmış, Wi-Fi veri izleme modülü sayesinde üretim ve tüketim verilerinin uzaktan takibi sağlanmıştır. Elde edilen işletme verileri, MPPT kontrollü inverter yapısının sistem verimini artırdığını ve sistemin farklı aylarda kararlı şekilde çalıştığını göstermiştir. Sonuç olarak tasarlanan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin konut uygulamalarında teknik olarak uygulanabilir, enerji verimliliği açısından etkili ve ekonomik bir çözüm sunduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik sistem, şebeke bağlantılı (on-grid) sistem, güneş enerjisi, inverter, enerji verimliliği, konut tipi enerji üretimi.

TECHNICAL FEASIBILITY AND PERFORMANCE ANALYSIS OF GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS AT THE RESIDENTIAL SCALE

ABSTRACT

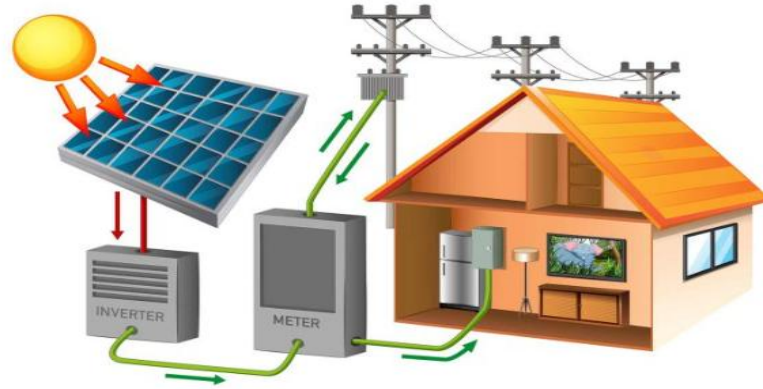
This study examines the technical design and performance evaluation of a grid-connected (on-grid) photovoltaic system designed to reduce residential electricity consumption. The system design addressed photovoltaic module selection, inverter compatibility, DC voltage limits, and grid integration in line with engineering criteria. The study used 550 Wp monocrystalline panels, achieving a total installed capacity of 5.5 kWp by connecting 10 panels in series. The open-circuit voltage of approximately 502 V obtained from the system was found to be compatible with the operating range of the selected 5 kW single-phase on-grid inverter. No energy storage unit was used in the system; the generated energy was consumed immediately, and the energy demand was met from the grid when production was insufficient. The energy flow was controlled by a limiter device, and remote monitoring of production and consumption data was provided via a Wi-Fi data-monitoring module. The operational data showed that the MPPT-controlled inverter structure increased system efficiency and that the system operated stably across different months. As a result, it was determined that the designed grid-connected photovoltaic system offers a technically feasible, energy-efficient, and economical solution for residential applications.

Keywords: Photovoltaic system, grid-connected (on-grid) system, solar energy, inverter, energy efficiency, residential energy production.

1. GİRİŞ

Nüfusun artmasına paralel olarak artan enerji ihtiyacını karşılaması noktasında şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler dışa bağımlılığı azaltacak, milli ekonomi ve toplumların refahını artıracaktır. Enerji, ekonomik büyüme ve toplumsal ilerleme için vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. İnsanlığa ve çevreye zarar vermeyecek şekilde elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak olan yenilenebilir enerji kaynakları geliştirilmektedir [1-3]. Bu kaynaklar, aynı zamanda küresel iklim değişikliklerinin etkisinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadırlar. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında; hidrolik, jeotermal, güneş, rüzgâr ve biyokütle sayılabilir [4, 5]. Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Bu enerji türü, karbon ayak izini azaltma ve artan elektrik maliyetleriyle mücadele etme potansiyeline sahiptir [6].

Güneş panelleri; akümülatör, evirici, akü şarj kontrol birimleri ve çeşitli elektronik yardımcı devrelerle birlikte çalışarak fotovoltaik sistemleri meydana getirir. Belirli güç seviyelerine kadar bu sistemler enerji depolamalı şekilde tasarlanabilmektedir. Ancak depolama birimlerinin maliyetlerinin yüksek olması ve işletme sürecinde arıza olasılıklarının fazla olması nedeniyle bu tür çözümler her zaman tercih edilmemektedir. Buna karşın, elektrik şebekesine erişimin olmadığı bölgelerde depolamalı fotovoltaik sistemlerin kullanımı zorunlu hâle gelmektedir. Bu kapsamda, depolamalı sistemler güneş enerjisi yardımıyla akümülatörleri şarj ederek, özellikle gece saatlerinde ve güneşlenmenin yetersiz olduğu kapalı havalarda sistem bileşenlerinin kesintisiz çalışmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Şebeke bağlantılı on-grid sistemlerde güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince panellerden enerji akışı olmayacağından dolayı sistem çalışmaz. Sistemin aktif olmaması tüketicinin enerjisiz kalması manasına gelmeyecektir. Bu süreçte tüketicinin şebeke desteği aktif olduğu için enerji akışı şebekeden karşılanmaktadır. Görsel 1’de şebeke bağlantılı on-grid sistemin genel prensip şeması verilmiştir [7, 8].



Görsel 1. Şebeke bağlantılı on-grid sistemin genel prensip şeması

2. MATERYAL VE METOD

Tasarlanan sistem aşağıdaki temel bileşenlerden oluşmaktadır:

- Fotovoltaik modüller
- On-grid inverter
- Transfer panosu
- Şebeke bağlantısı

Sistem prensibi şu şekilde özetlenebilir:

- Gündüz saatlerinde panel üretimi doğrudan yükleri besler.
- Üretimin yetersiz olduğu durumlarda enerji şebekeden çekilir.
- Sistem depolama içermez; enerji akışı anlık gerçekleşir.

Bu yaklaşım maliyeti azaltmakta ve sistem karmaşıklığını düşürmektedir.

Sistemin gereksinim gördüğü input DC gerilim değerini elde edebilmemiz için ilk etapta panel seçimini yapmamız gerekmektedir. İhtiyaç duyduğu gerilimleri elde edeceğimiz PV sistemde kullanılacak olan panel sayısı ve boyut analizi aşağıda verilmiştir. Sistemin kurulumunda kullanılmak üzere CWT kodlu monokristal half cad panel katalog değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Bunlar arasında CWT550 144PMB-10 model 550Wp değerindeki panellerden 10 adet kullanılacaktır.

Çizelge 1. Monokristal half cad panel verileri

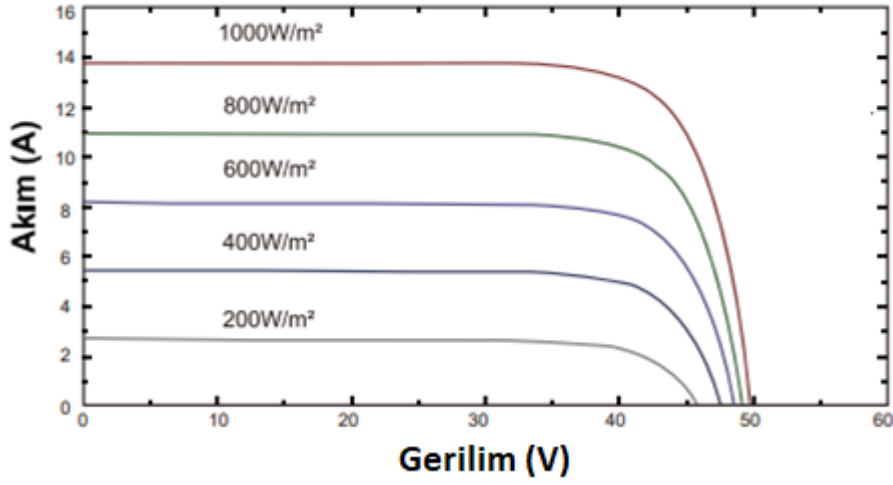
Model Tipi	CWT530 144MB10	CWT535 144MB10	CWT540 144MB10	CWT545 144MB10	CWT550 144MB10
Maxsimum Güç (P_{max})	530	535	540	545	550
Modül Verimliliği	20.45	20.67	20.84	21.03	21.23
Max Güç Gerilimi (V_{mp})	41.60	41.80	42.00	42.20	42.40
Max Güç Akımı (I_{mp})	12.75	12.80	12.86	12.92	12.98
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	49.40	49.60	49.80	50.00	50.20
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	13.58	13.63	13.70	13.76	13.82
Güç Toleransı	0-+5 w				
Max Sistem Anma Gerilimi	1500 V DC				
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	40- +85 C				
Güvenlik Sınıfı	Sınıf II				
Max Seri Sigorta Akımı	30A				

Sistemde kullanılan 550 Wp gücündeki 10 adet panelin birbirleriyle seri bağlanmasıyla 5500Wp değerinde güç değeri, $50.20 \times 10 = 502$ V açık devre gerilimi elde edilmiş olur. Bu değerler kullanılan şebeke bağlantılı on-grid inverterin input gerilim değerlerine de uyumludur. Sistem tasarımında seçimi yapılan 550 Wp gücündeki panellere ait mekanik özellikler Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Monokristal half cad panel mekanik özellikleri

Hücre Boyutu (mm)	182x91
Hücre Sayısı (Adet)	144 (24x6)
Ağırlığı (kg)	29.0
Panel Boyutu (mm)	2278x1134x35
Max Rüzgar/Kar Yüğü Dayanımı (P_a)	2400/5400
Bağlantı Kutusu Koruma Sınıfı	IP68
Bağlantı Kutusu Kablo Boyu (mm)	300-1200

Sistem tasarımında seçimi yapılan 550 Wp gücündeki panellere ait I-V karakteristik eğrileri Görsel 2’de gösterilmiştir.



Görsel 2. Monokristal half cad panel I-V karakteristik eğrileri

Sistemde Deye marka 5 kW gücünde on-grid monofaze İnverter kullanılmıştır. Kullanılan bu inverter kutu içeriğinde dahili wifi logger aparatı ve limiter cihazı ile gelmektedir. Sistemde kullanılan toplam panel gücü 5500 W olduğundan dolayı kullanılacak inverter gücü ise 5 kW olarak seçilmiştir. Sistemde kullanılan şebeke bağlantılı on-grid İnverter görseli-3’de verilmiştir. İnverterin elektriksel verileri ise çizelge 3’de sıralanmıştır.



Görsel 3. Şebeke destekli On-grid inverter

Çizelge 3. İnverterin elektriksel verileri

Max. DC Input Power (kW)	6,6
Max. DC Input Voltage (V)	550
Start-up DC Input Voltage (V)	80
MPPT Operating Range (V)	70-550
Max. DC Input Current (A)	19.5+19.5
Number of MPPT / Strings per MPPT	2/1
Size (mm)	330Wx310Hx172D
Weight (kg)	11

İnverter cihazına montajı yapılan dahili wifi logger cihazı cihazın ürettiği ve tükettiği enerji verilerini kablosuz olarak bulut tabanlı izleme platformuna gönderir. Kullanıcılar bu sayede sistemi uzaktan izleyebilir, anlık üretim, tüketim ve şebeke bilgilerini görebilir, arıza ve performans durumlarını mobil uygulama veya web üzerinden takip edilebilmektedir. Şebeke bağlantılı on-grid invertere montajı yapılan wifi aparatı görsel 4’de verilmiştir.



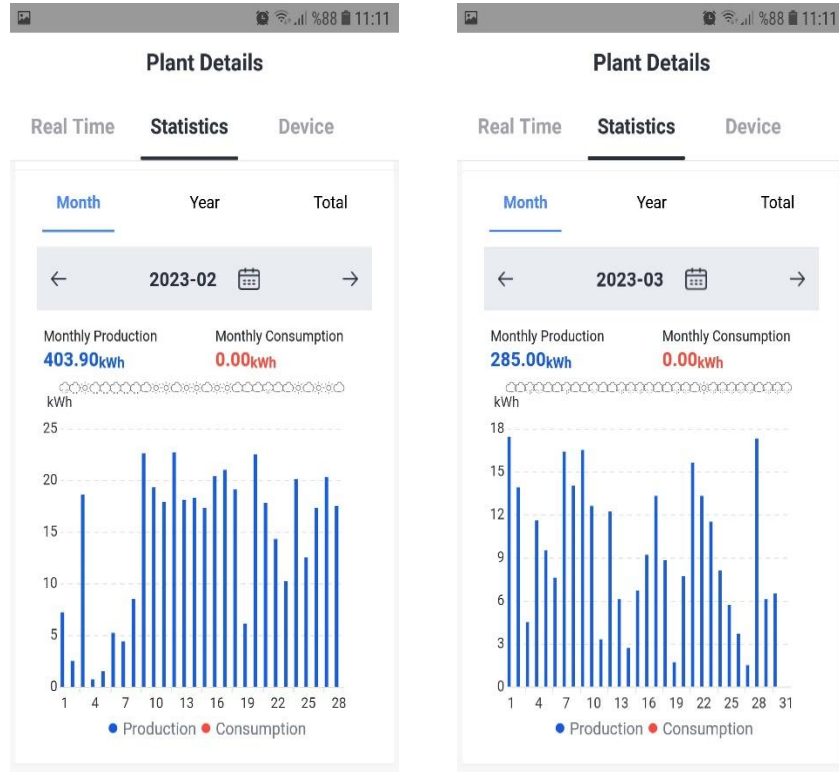
Görsel 4. Şebeke bağlantılı on-grid inverter wifi aparatı

Sistemde transfer panosuna bağlanan limiter cihazı ise fotovoltaik sistemin üretmiş olduğu elektrik enerjisini sisteme vermesini engellemek için kullanılmaktadır. Şebeke sisteminin fazına bağlanan akım sınırlayıcı cihaz olarak ta bilinen limeter cihazının, şebeke bağlantılı

sisteme tanıtılması büyük önem arz etmektedir. Şayet sisteme tanıtımı yapılmaz ise panelin üretmiş olduğu elektrik enerjisini sanki sistem tüketiyormuş gibi algılatarak tüketiciye yüksek miktarda elektrik faturası gelmesine neden olabilmektedir.

3. BULGULAR

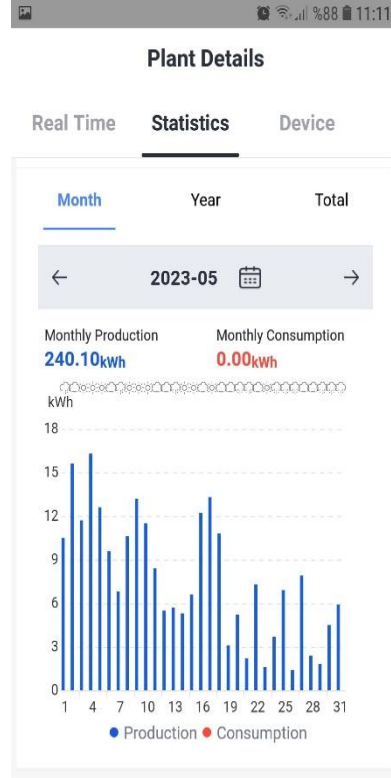
Tasarımı yapılan şebeke bağlantılı on-grid sistemin devreye alınması ile birlikte gündüzleri güneşli hava koşulları göz önüne alındığında sistem otomatik olarak devreye girmiştir. Sistemin input DC gerilim aralığında elde edilen gerilim değerleri MPPT özelliği ile çıkış gerilimi optimum olarak kullanılmaya başlanmıştır. Sistemin en avantajlı şekilde kullanılması ve panel sisteminden maksimum enerji kazancı alına bilmesi için zaruri ihtiyaçların ve aşırı güç tüketen cihazların gündüz kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu doğrultuda yapılan kullanımlarda ay sonu gelen elektrik faturası bedelin de yaklaşık olarak %80 oranında düşüşün olduğu gözlenecektir. Sisteme akuple edilen limiter ve wifi logger aparatlarının tanıtımı yapıldıktan sonra logger üzerinden günlük üretilen enerji değerleri grafiksel olarak alınmaya başlanmıştır. Elde edilen grafikler yıllık bazda olup yılın 12 ayını kapsamaktadır. Data loggerden elde edilen kWh cinsinden enerji değerleri aylık bazda görsel 5'te verilmiştir.



a) 2023 yılı Şubat ayı verileri b) 2023 yılı Mart ayı verileri



c) 2023 yılı Nisan ayı verileri



d) 2023 yılı Mayıs ayı verileri



e) 2023 yılı Haziran ayı verileri



f) 2023 yılı Temmuz ayı verileri



g) 2023 yılı Ağustos ayı verileri



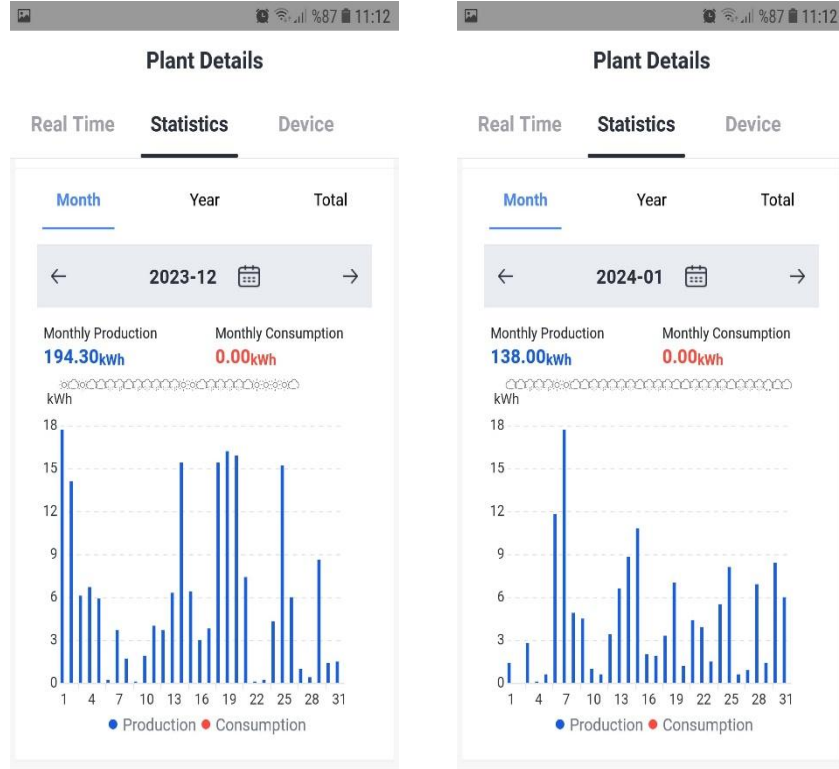
h) 2023 yılı Eylül ayı verileri



i) 2023 yılı Ekim ayı verileri



j) 2023 yılı Kasım ayı verileri



k) 2023 yılı Aralık ayı verileri l) 2024 yılı Ocak ayı verileri

Görsel 5. Elde edilen kWh cinsinden aylık bazda enerji değerleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, konut tipi elektrik tüketimini azaltmak amacıyla 5.5 kWp gücünde şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistem tasarlanmış ve gerçek verilerle performansı değerlendirilmiştir. Panel–inverter uyumunun doğru sağlandığı ve sistemin güvenli sınırlar içinde kararlı biçimde çalıştığı doğrulanmıştır. Depolama birimi kullanılmadan kurulan sistem, maliyet ve işletme karmaşıklığını azaltmış; şebeke desteği sayesinde kesintisiz enerji kullanımını mümkün kılmıştır. Elde edilen veriler, sistemin konut enerji ihtiyacını önemli ölçüde desteklediğini ve uygun kullanım stratejileriyle elektrik faturasında belirgin tasarruf sağladığını göstermiştir. Sonuç olarak, doğru boyutlandırılmış şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin konut uygulamalarında teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir bir çözüm sunduğu belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Rüstemli, S., Dinçer, F., Çelik, M., Cengiz, M. S. Fotovoltaik Paneller: Güneş Takip Sistemleri ve İklimlendirme Sistemleri. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. 2013;2(2):141-147.
- [2] Koç, E., Kaya, K. Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu. Mühendis ve Makina. 2015;56(668):36-47.
- [3] Kesler, S., Kivrak, S., Dincer, F., Rustemli, S., Karaaslan, M., Unal, E., Erdiven, U. The Analysis of PV Power Potential and System Installation In Manavgat, Turkey—A Case Study in Winter Season. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014;31:671-680.
- [4] Borunda, M., Ramírez, A., Garduno, R., Ruíz, G., Hernandez, S., Jaramillo, O. A. Photovoltaic Power Generation Forecasting for Regional Assessment using Machine Learning. Energies. 2022;15(23):8895.
- [5] Rustemli, S., İlcihan, Z., Sahin, G., van Sark, W. G. A Novel Design and Simulation of a Mechanical Coordinate based Photovoltaic Solar Tracking System. AIMS Energy. 2023;11(5).
- [6] Rustemli, S., Dincadam, F., & Demirtas, M. (2010). Performance Comparison of the Sun Tracking System and Fixed System in The Application Of Heating and Lighting. Arabian Journal for Science & Engineering (Springer Science & Business Media BV), 35.
- [7] Nur, A., Güre, B., Rüstemli, S., Güre, Ö. B. Yapay Sinir Ağları ile Yenilenebilir Güneş Enerjisi Kaynağının Öngörüsü. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 2025;12(27):416-425.
- [8] Akal, D., Umut, I. Using Artificial Intelligence Methods for Power Estimation in Photovoltaic Panels. Journal of Tekirdag Faculty of Agriculture. 2022;19(2):435-445.

ÇOK KATMANLI ALGILAYICI VE RADYAL TABANLI FONKSİYON MODELLERİ İLE FOTOVOLTAİK ENERJİ ÜRETİM TAHMİNİ

Y. Müh. Bayram GÜRE

Güre Enerji ve Mühendislik

baygure@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0003-1653-6451>

Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

srustemli@beu.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-4957-1782>

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet NUR

Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

anur@beu.edu.tr - <https://orcid.org/0009-0006-5671-6923>

ÖZET

Bu çalışmada, fotovoltaik (PV) sistemlerde günlük enerji üretiminin yapay sinir ağları (YSA) ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Şubat 2023-Ocak 2024 dönemine ait günlük üretim verileri kullanılarak, gün ve ay bilgilerini içeren veri seti üzerinden modelleme gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) ve Radyal Tabanlı Fonksiyon (RTF) olmak üzere iki farklı YSA modeli karşılaştırılmıştır. Modeller SPSS ortamında eğitilmiş ve performansları Ortalama Kare Hata (MSE), Kök Ortalama Kare Hata (RMSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve korelasyon katsayısı ölçütleri ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, her iki modelin de enerji üretimini tahmin edebildiğini, ancak ÇKA modelinin daha düşük hata değerleri ve daha yüksek korelasyon katsayısı ile daha başarılı performans sergilediğini göstermiştir. Sonuç olarak, zaman tabanlı giriş değişkenleri kullanılarak geliştirilen yapay sinir ağı modellerinin fotovoltaik enerji üretim tahmininde etkili olduğu belirlenmiştir. Çalışma, özellikle Çok Katmanlı Algılayıcı yaklaşımının günlük enerji tahmininde daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermekte ve ileride meteorolojik değişkenlerin modele dahil edilmesiyle tahmin doğruluğunun artırılabilmesine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik sistem, güneş enerjisi tahmini, yapay sinir ağları, çok katmanlı algılayıcı, radyal tabanlı fonksiyon, enerji tahmini.

MULTILAYER PERCEPTRON AND RADIAL BASED FUNCTION MODELS FOR PHOTOVOLTAIC ENERGY PRODUCTION ESTIMATION

ABSTRACT

This study aims to forecast daily energy production in photovoltaic (PV) systems using artificial neural networks (ANNs). Using daily production data from February 2023 to January 2024, modeling was performed on a dataset containing day and month information. Two different ANN models, the Multi-Layer Perceptron (MLP) and the Radial Basis Function (RBF), were compared in this study. The models were trained in SPSS, and their performance was evaluated using Mean Squared Error (MSE), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and the correlation coefficient. The results show that both models can predict energy production, but the MLP model performed better, with lower errors and a higher correlation coefficient. In conclusion, it was determined that artificial neural network models trained on time-based input variables are effective for predicting photovoltaic energy production. The study shows that the Multi-Layer Perceptron approach, in particular, yields better results for daily energy prediction and that prediction accuracy can be improved by including meteorological variables in the model in the future.

Keywords: Photovoltaic system, solar energy estimation, multilayer perceptron, radial basis function, energy estimation.

1. GİRİŞ

Fotovoltaik sistemlerle enerji üretiminde ışınım, sıcaklık ve zaman değişkenlerine bağlı olarak sürekli dalgalanmalar meydana gelmektedir. Bu durum enerji yönetimi ve şebeke planlamasında tahmin modellerinin önemini artırmaktadır. Yapay sinir ağları doğrusal olmayan ilişkileri öğrenebilme kabiliyeti sayesinde enerji tahmin çalışmalarında yaygın olarak tercih edilmektedir [1-3]. Güneş enerjisi sistemlerinde güç üretiminin öngörülmesine yönelik yapılan literatür incelemelerinde, yapay zekâ tabanlı yöntemlerin yaygın kullanıldığı görülmektedir. Amer ve arkadaşları (2023), fotovoltaik güç çıktılarını tahmin etmek amacıyla yapay sinir ağlarından yararlanmış ve giriş değişkenlerinin önemini belirlemek için Pearson korelasyon katsayısı analizini uygulamıştır. Çalışma kapsamında özellik seçiminin modele etkisi araştırılmış; seçimsiz durumda elde edilen $R^2 = 0.4268$ ve $RMSE = 6.697$ değerlerinin, özellik seçimi sonrası sırasıyla $R^2 = 0.8769$ ve $RMSE = 4.094$ düzeyine yükseldiği rapor edilmiştir. Bu sonuç, özellikle değişken sayısının fazla olduğu problem alanlarında özellik seçiminin model performansını anlamlı olarak iyileştirdiğini göstermektedir [4].

Vakili ve Salehi (2023) ise benzer amaç doğrultusunda Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR), Rastgele Temel Fonksiyonları (RTF), ANFIS ve Destek Vektör Makineleri (SVM) yöntemlerini karşılaştırmış; makine öğrenmesi yöntemlerinin geleneksel doğrusal modellere kıyasla daha tutarlı sonuçlar verdiğini vurgulamıştır. Bu çalışma, farklı veri yapılarının öğrenilmesinde doğrusal olmayan modellerin avantajına işaret etmektedir [5]. Ledmaoui ve arkadaşları (2023) ise ÇKA, GTM, XGBoost ve Karar Ağacı gibi çeşitli yöntemleri YSA ile karşılaştırmış deneysel analizler sonucunda YSA'nın diğer algoritmalara kıyasla daha yüksek doğruluk ürettiğini bildirmiştir. Yazarlar, veri setindeki doğrusal olmayan ilişkilerin YSA ile daha etkin temsil edildiğini vurgulamaktadır [6]. Derin öğrenme yaklaşımını ele alan Mellit ve arkadaşları (2022), LSTM, BiLSTM, GRU, BiGRU ve tek boyutlu CNN gibi gelişmiş ağ mimarilerini karşılaştırmış; özellikle DLANN tabanlı modellerin kısa dönemli PV güç tahmininde daha başarılı olduğunu ifade etmiştir. Zaman bağımlı dizilerin işlenmesinde LSTM-türevli yapıların yüksek performans sağlaması literatürde sıklıkla vurgulanan bir bulgudur. Çalışmalardan bazıları, fotovoltaiik güç tahmininde boyut indirgeme tekniklerinin rolünü de irdelemiştir [7]. Moreira ve çalışma arkadaşları (2021), Temel Bileşenler Analizi (PCA) ile YSA'yı birlikte kullanmış ve özellik uzayının küçültülmesinin hesaplama yükünü azalttığını ve tahmin doğruluğunu artırdığını göstermiştir [8].

2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, sistemde kullanılmış olan İnverter'e bağlı wifi dataloger cihazından elde edilen 2023 Şubat ayı ile 2024 Ocak ayı tarihleri arasındaki veriler kullanılmıştır. Veriler günlük bazda elde edilen güç değerlerinden oluşmaktadır. Güç değerlerinin tahminlenmesi amacıyla makine öğrenme yöntemleri arasında yer alan yapay sinir ağları yöntemleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Yöntemler, herhangi bir varsayım gerektirmemesi (normallik, çoklu bağlantılık vb.) ve minimum hataya sahip tahminlemeler yapabilme becerisi nedeniyle tercih edilmiştir. Bu amaçla, yapay sinir ağları ailesinden Çok Katmanlı Algılayıcı yapay sinir ağları (ÇKA) ile Radyal Tabanlı Fonksiyon yapay sinir ağları (RTF) yöntemleri kullanılmıştır. Bu amaca binaen gün, ay ve güç değerleri olmak üzere 3 adet değişken kullanılmıştır. Bunlar arasından, güç değerleri bağımlı, gün ve ay değerleri ise bağımsız değişken olarak analize alınmıştır. Çalışmada kullanılan veri setinde herhangi bir eksik veri bulunmamaktadır Çalışmada yöntemlerin performanslarını değerlendirmek için Ortalama Karesel Hata (Mean Squared of Error-MSE), Ortalama Karesel Hatanın Kökü (Root Mean Squared of Error-RMSE), Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error-MAE) ile gerçek değer ile tahmin değeri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon katsayısı kullanılmıştır.

ÇKA'nın temel yapısı Görsel 1'de verilmiştir. Performans ölçütlerine ait denklemler ise aşağıda verilmiştir.

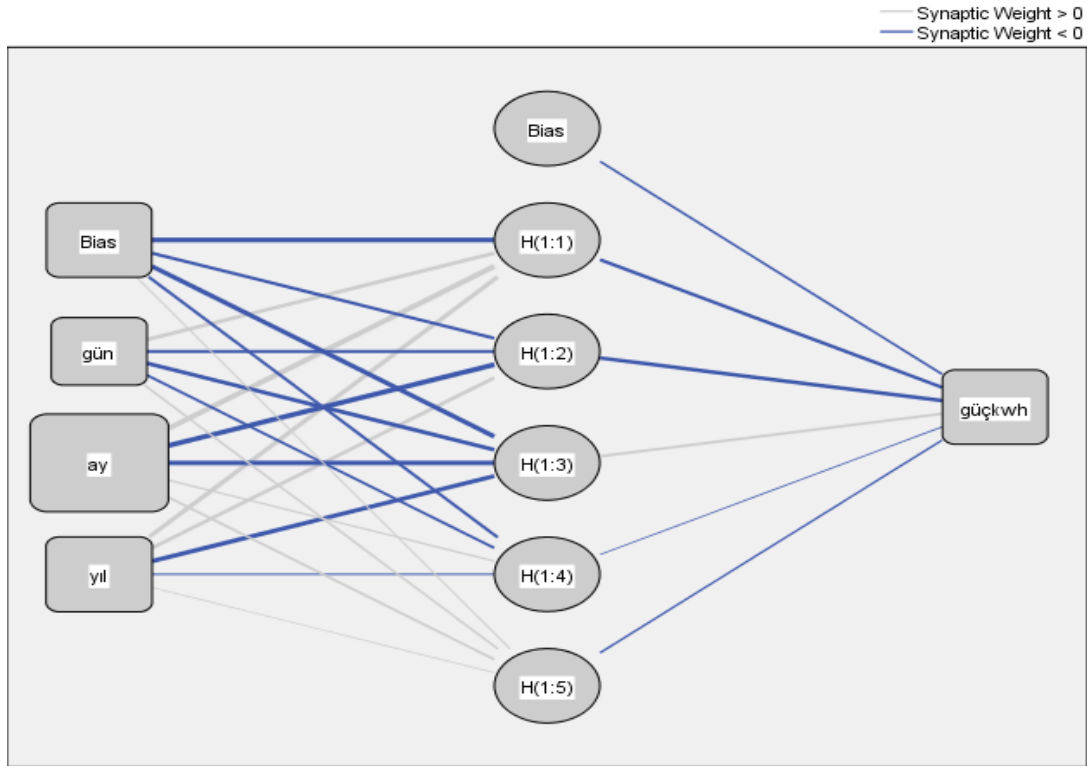
Performans ölçütleri

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |P_i - O_i| \quad (3)$$

Burada; P_i (Predicted Value) tahmin edilen değeri, O_i (Observed value) ise gözlenen değerleri göstermektedir



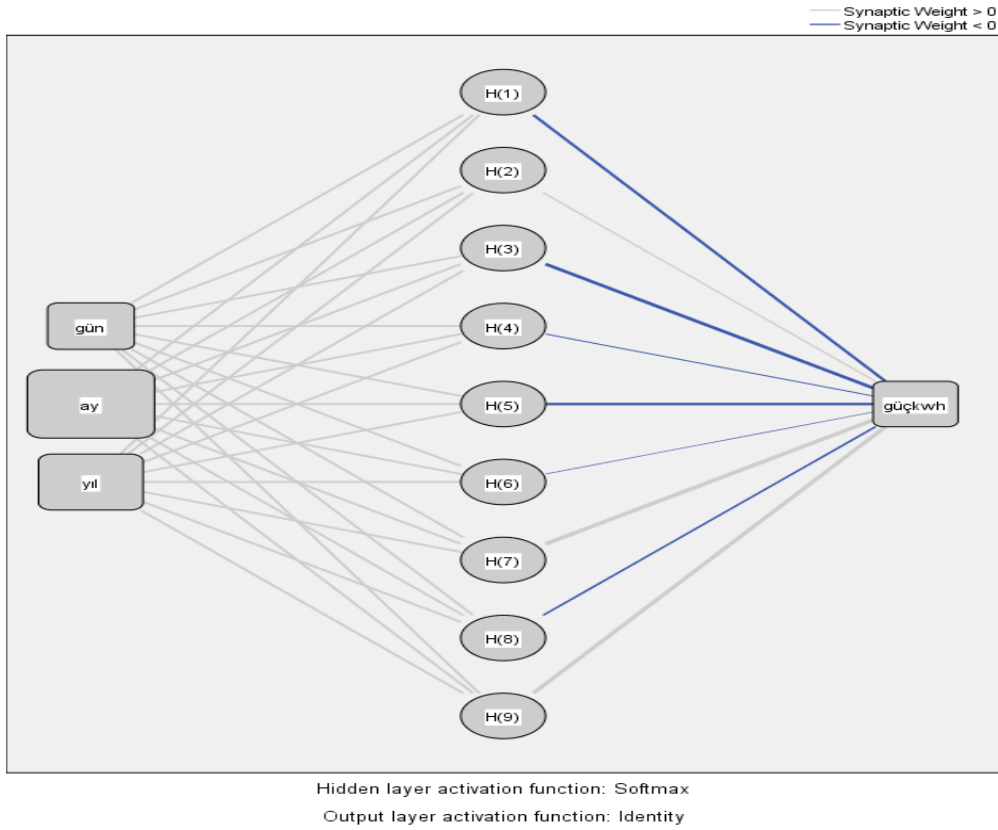
Hidden layer activation function: Hyperbolic tangent

Output layer activation function: Identity

Görsel 1. ÇKA'nın temel yapısı

Çalışmada; ÇKA ve RTF yöntemlerini kullanarak, güneş enerjisi panel gücünü tahmin etmek ve her iki yöntemin tahminleme performanslarını karşılaştırmak amaçlanmaktadır. Güç değerlerinin tahminlenmesi amacıyla makine öğrenme yöntemleri arasında yer alan yapay sinir ağları yöntemleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Yöntemlerin uygulanmasından önce veri seti %70 eğitim %30'da test verisi olarak ayrılmıştır. Yöntemler uygulanırken farklı eğitim veri seti kullandığından dolayı her denemede farklı performans

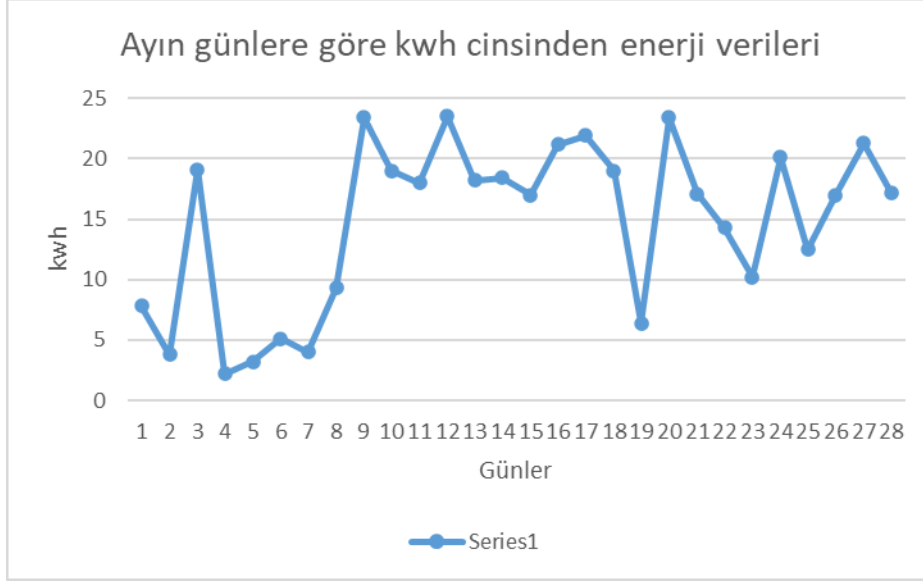
göstermektedirler. Bu nedenle, kullanılan yöntemlere ait analizler, birçok kez tekrarlanmıştır. Veri setine ilk olarak ÇKA, ardından RTF yöntemi uygulanmıştır. ÇKA yöntem analizi sonuçlarına göre gizli katman aktivasyon fonksiyonu Hyperbolic tangent, çıktı katmanı aktivasyon fonksiyonu olarak ise Identity sonucuna varılmıştır. Ardından veri setine RTF yöntemi uygulanmıştır. RTF yöntemine ait analiz sonuçlarına göre gizli katman aktivasyon fonksiyonu softmax, çıktı katmanı aktivasyon fonksiyonu olarak ta Identity sonucuna varılmıştır. RTF'nın temel yapısı Görsel 2'de verilmiştir.



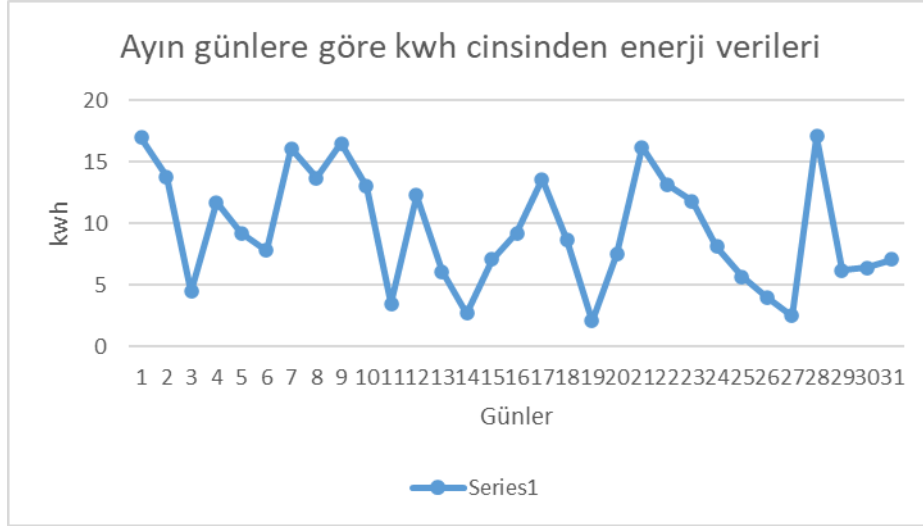
Görsel 2. RTF'nın temel yapısı

3. BULGULAR

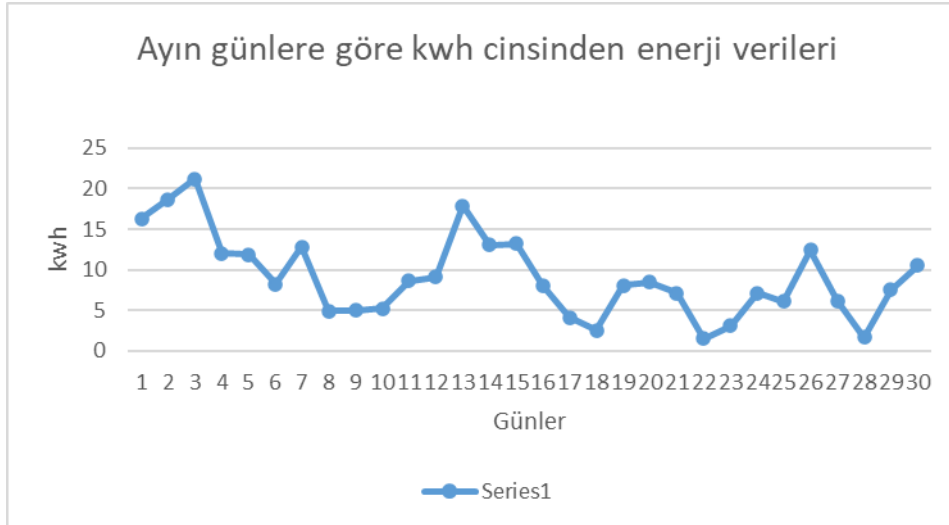
Bu çalışmada, sistemde kullanılmış olan inverttere bağlı wifi dataloger cihazından elde edilen 2023 Şubat ayı ile 2024 Ocak ayı tarihleri arasındaki veriler kullanılmıştır. Veriler günlük bazda elde edilen kWh cinsinden enerji değerlerini içermektedir. Verilerin analizi, MS Excel ve SPSS 21 programları kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada kullanılan verilere ait grafikler Görsel 3'de verilmiştir.



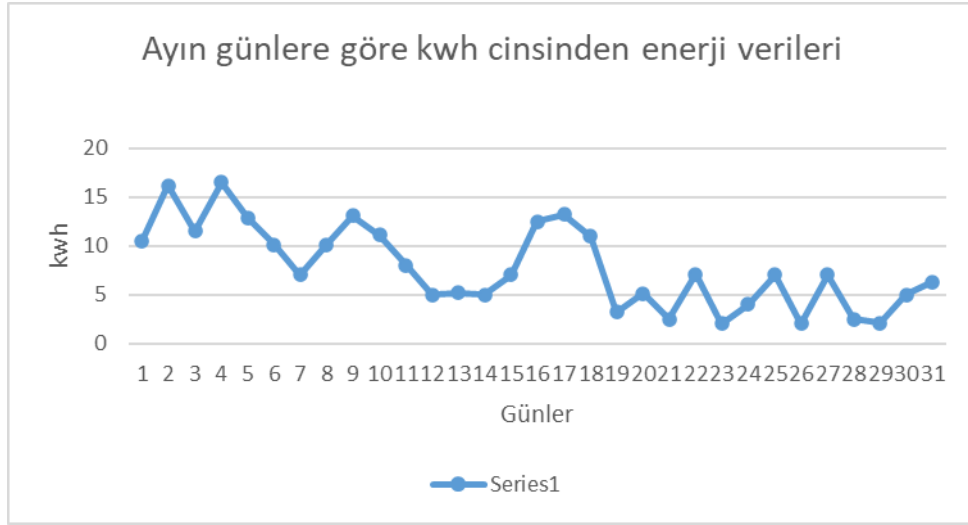
a) 2023 yılı Şubat ayına ait kWh cinsinden enerji değerleri



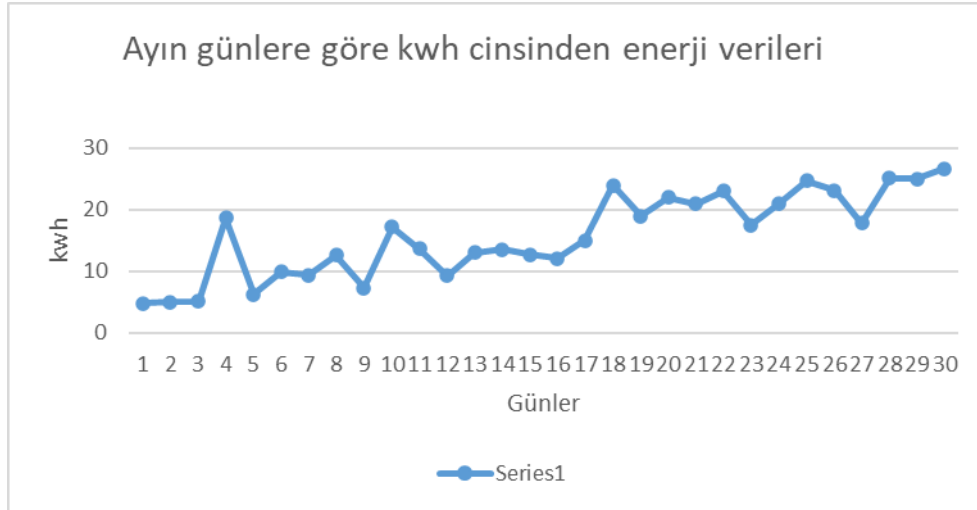
b) 2023 yılı Mart ayına ait kWh cinsinden enerji değerleri



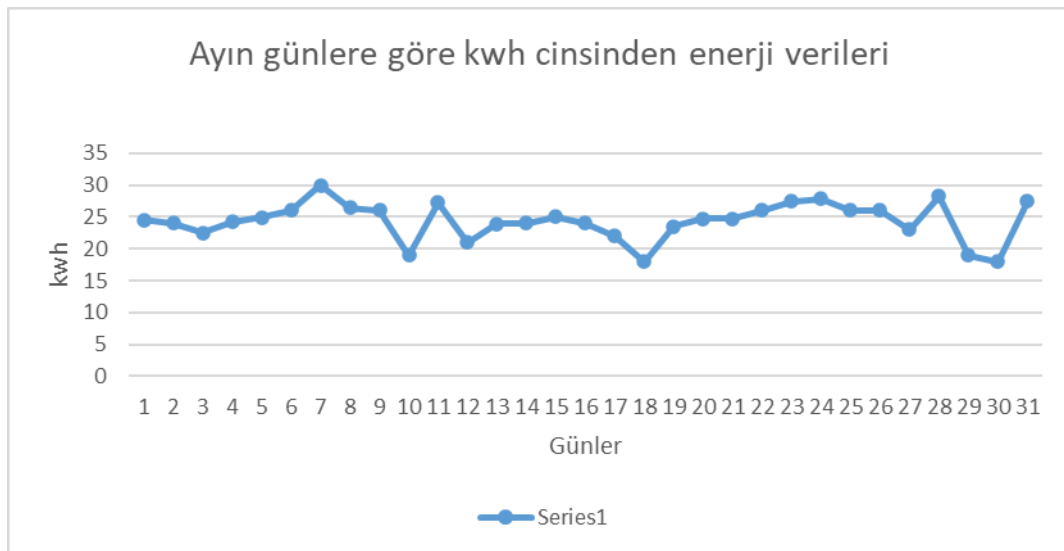
c) 2023 yılı Nisan ayına ait kWh cinsinden enerji değerleri



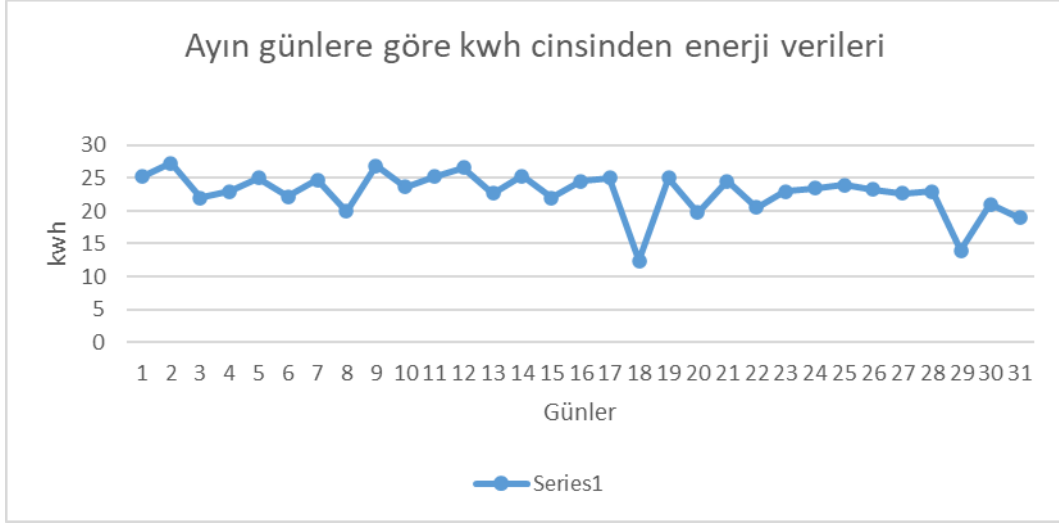
d) 2023 yılı Mayıs ayına ait kWh cinsinden enerji değerleri



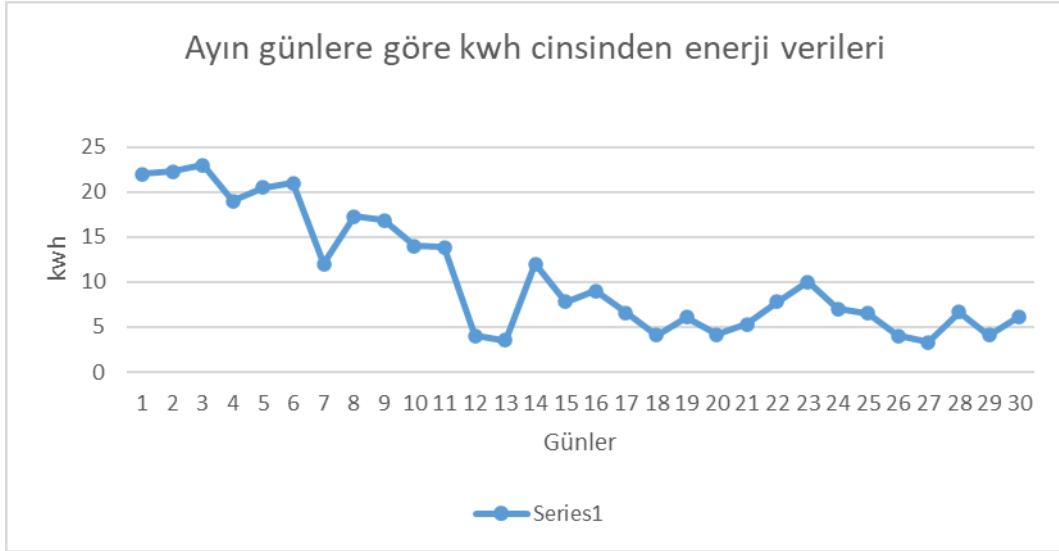
e) 2023 yılı Haziran ayına ait kWh cinsinden enerji değerleri



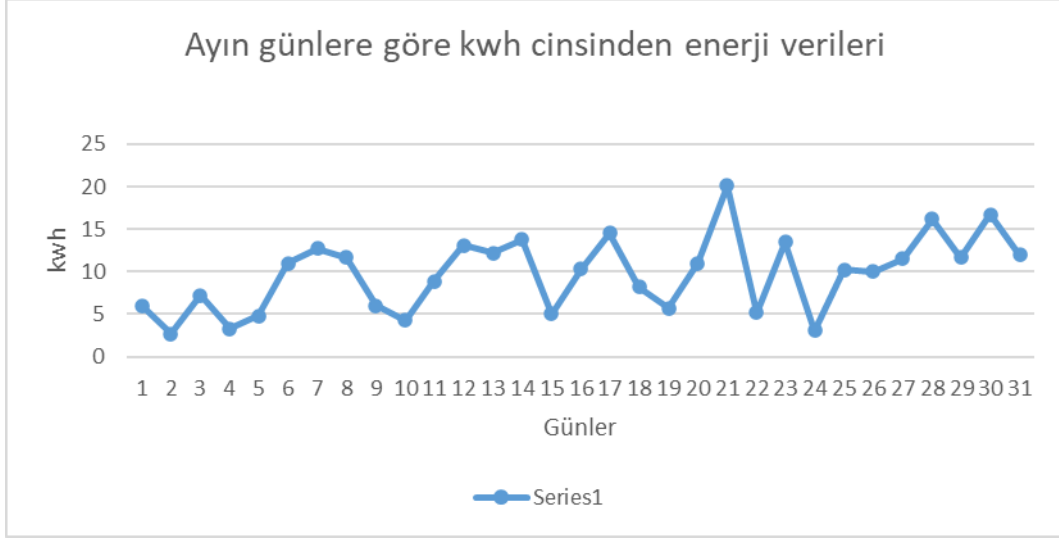
f) 2023 yılı Temmuz ayına ait kwh cinsinden enerji değerleri



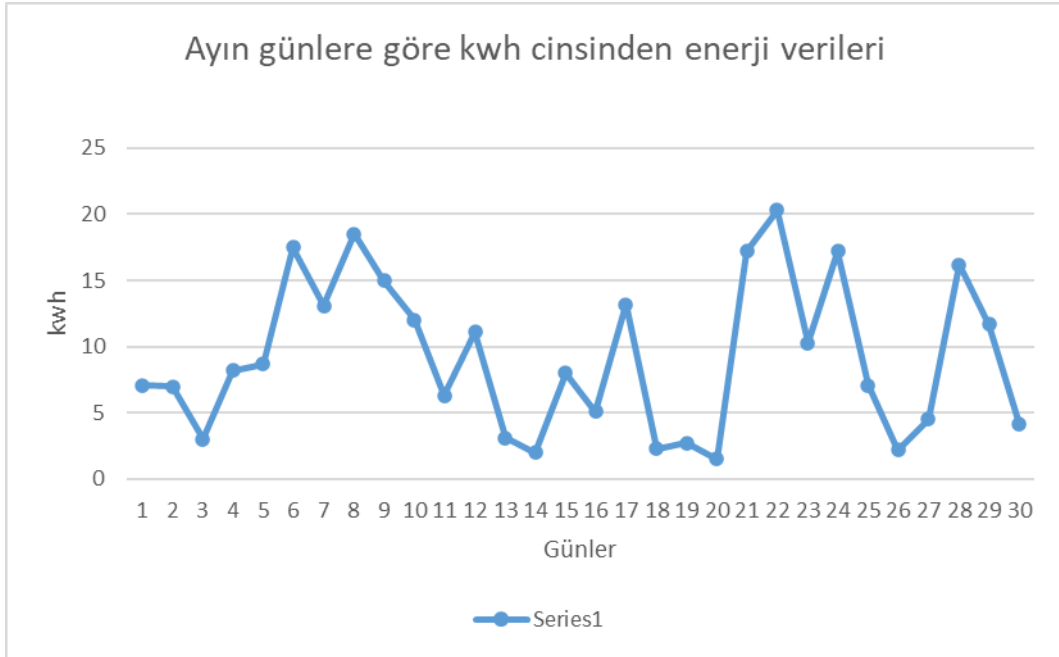
g) 2023 yılı Ağustos ayına ait kWh cinsinden enerji değerleri



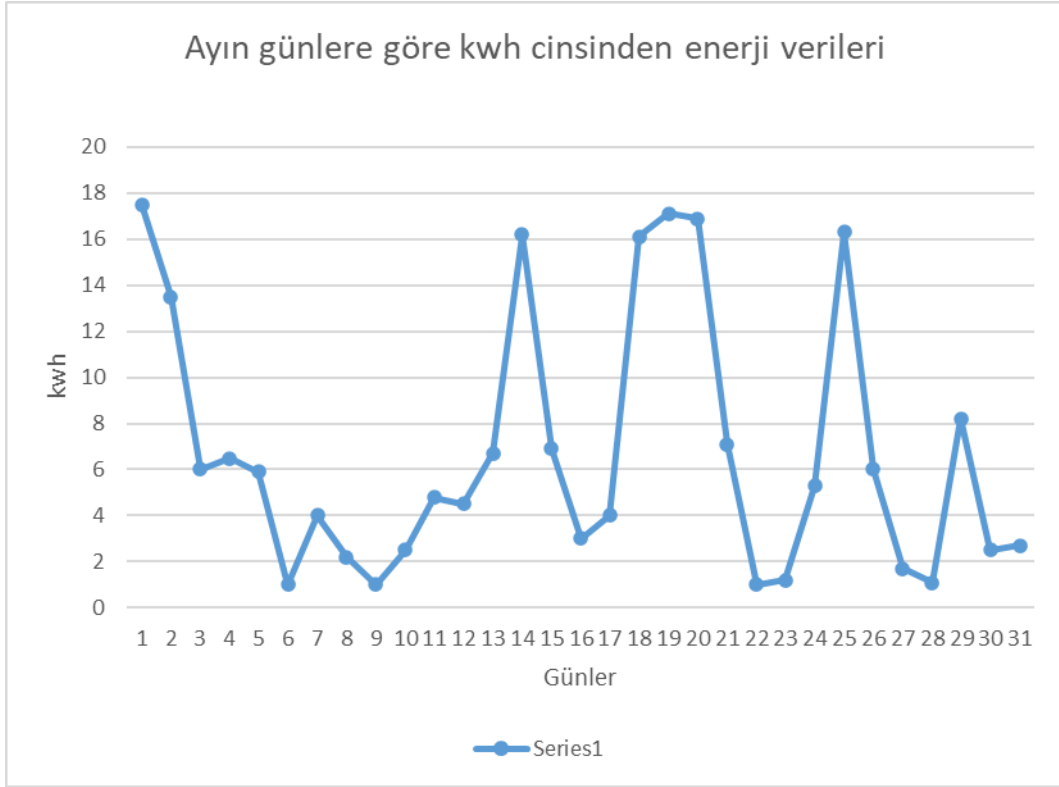
h) 2023 yılı Eylül ayına ait kWh cinsinden enerji değerleri



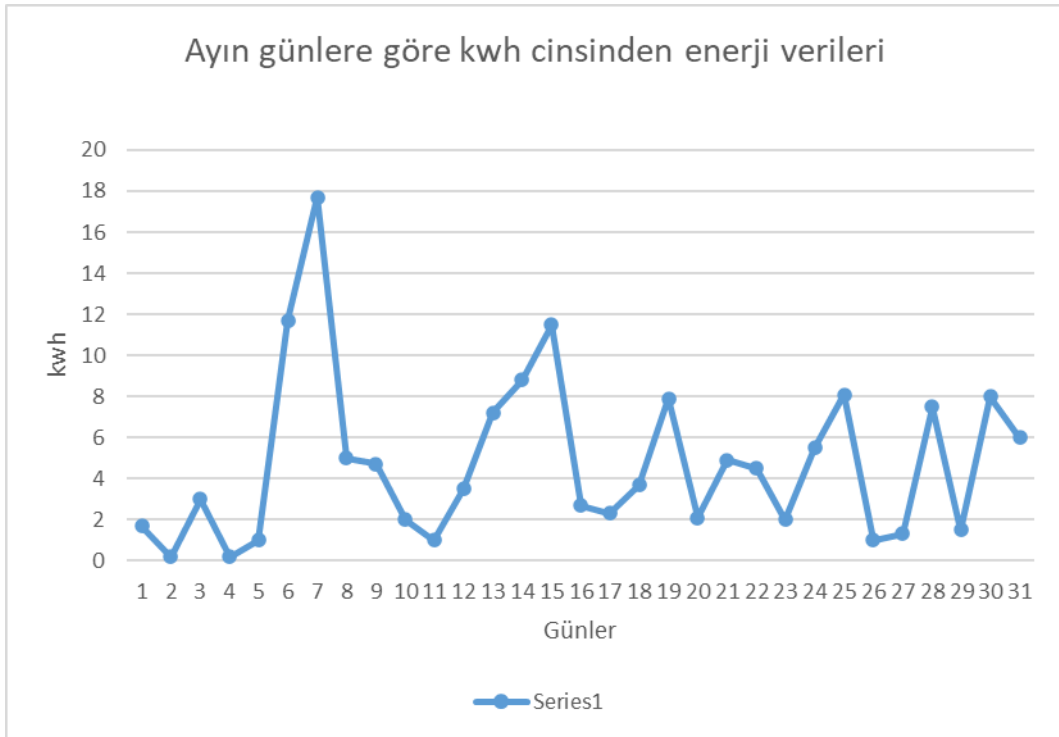
ı) 2023 yılı Ekim ayına ait kWh cinsinden enerji değerleri



j) 2023 yılı Kasım ayına ait kWh cinsinden enerji değerleri



k) 2023 yılı Aralık ayına ait kWh cinsinden enerji değerleri



l) 2024 yılı Ocak ayına ait kWh cinsinden enerji değerleri

Görsel 3. Çalışmada kullanılan verilere ait grafikler

Veri setine ait tanımlayıcı istatistiklerin hesaplanmasıyla elde edilen sonuçlar Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Veri setine ait tanımlayıcı istatistikler

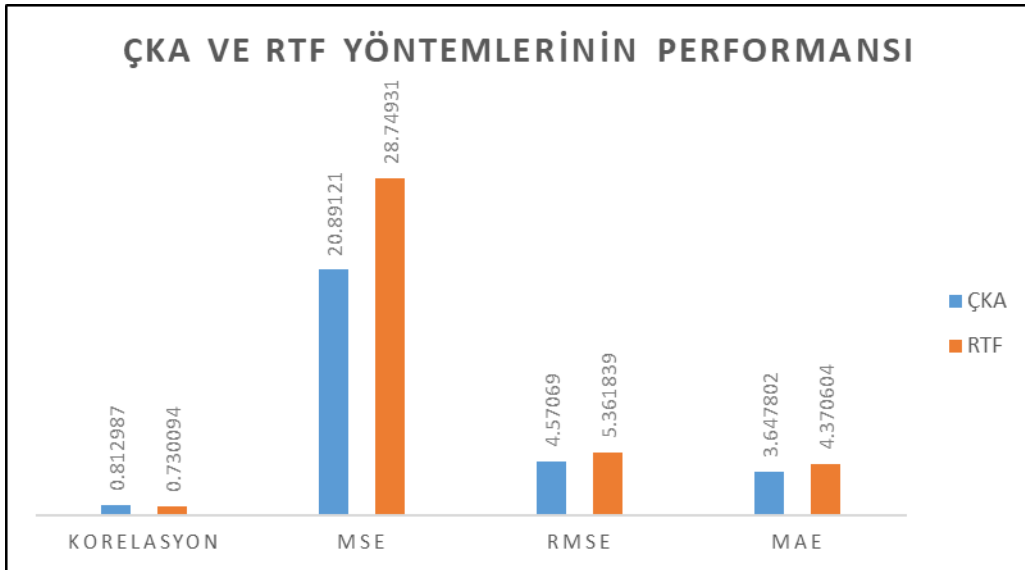
	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
Enerji (Kwh)	2	30.0	12.079	7.8421

ÇKA ve RTF yöntemlerinin performansı Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2. incelendiğinde, ÇKA yönteminin korelasyon katsayısı 0,813 ile RTF’nin 0,730 değerine kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da, tahminlerin gerçek değerlerle olan uyumunun daha iyi olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2. ÇKA ve RTF Yöntemlerinin Performansı

	Korelasyon	MSE	RMSE	MAE
ÇKA	0.812987	20.89121	4.57069	3.647802
RTF	0.730094	28.74931	5.361839	4.370604

Görüldüğü gibi MSE, RMSE ve MAE değerleri açısından ÇKA yöntemi RTF’ye göre daha düşük değerler sunmakta ve dolayısıyla tahmin hatalarının daha küçük olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, ÇKA yönteminin veri seti üzerinde RTF’ye göre daha başarılı bir tahminleme performansı sağladığını göstermektedir. Yöntemlerin performanslarının karşılaştırılması Görsel 4’de verilmiştir.



Görsel 4. Yöntemlerin performanslarının karşılaştırılması

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, fotovoltaik (PV) sistemlerde günlük enerji üretiminin tahmini için yapay sinir ağlarına dayalı Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) ve Radyal Tabanlı Fonksiyon (RTF) modelleri uygulanmış ve karşılaştırılmıştır. Şubat 2023 – Ocak 2024 dönemine ait verilerle yapılan analizler, her iki modelin de başarılı tahminler üretebildiğini göstermiştir. Ancak performans ölçütlerine göre ÇKA modeli daha düşük hata değerleri ve daha yüksek korelasyon katsayısı ile RTF modeline kıyasla daha üstün sonuçlar vermiştir. Sonuçlar, yapay sinir ağlarının PV enerji üretim tahmininde etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır. Yalnızca zaman tabanlı değişkenlerle anlamlı tahmin başarısı elde edilmiş olsa da, meteorolojik parametrelerin modele dahil edilmemesi çalışmanın temel sınırlılığıdır. Gelecekte çevresel değişkenlerin ve farklı makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanılmasıyla tahmin doğruluğunun artırılabilmesi değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Güre, Ö. B., Kayri, M., Erdoğan, F. Analysis of Factors Effecting PISA 2015 Mathematics Literacy via Educational Data Mining. Education and Science. 2020;45(202):393-415.
- [2] Rustemli, S., İlcihan, Z., Sahin, G., van Sark, W. G. A Novel Design and Simulation of a Mechanical Coordinate based Photovoltaic Solar Tracking System. AIMS Energy. 2023;11(5).
- [3] Nur, A., Güre, B., Rüstemli, S., Güre, Ö. B. Yapay Sinir Ağları ile Yenilenebilir Güneş Enerjisi Kaynağının Öngörüsü. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 2025;12(27):416-425.
- [4] Amer, H. N., Dahlan, N. Y., Azmi, A. M., Latip, M. F. A., Onn, M. S., Tumian, A. Solar Power Prediction based on Artificial Neural Network Guided by Feature Selection for Large-scale Solar Photovoltaic Plant. Energy Reports. 2023;9:262-266.
- [5] Vakili, M., Salehi, S. A. A Review Of Recent Developments In the Application of Machine Learning in Solar Thermal Collector Modelling. Environmental Science and Pollution Research. 2023;30(2):2406-2439.
- [6] Ledmaoui, Y., El Maghraoui, A., El Aroussi, M., Saadane, R., Chebak, A., Chehri, A. Forecasting Solar Energy Production: A Comparative Study of Machine Learning Algorithms. Energy Reports. 2023;10:1004-1012.

- [7] Mellit, A., Kalogirou, S. Assessment of Machine Learning And Ensemble Methods For Fault Diagnosis of Photovoltaic Systems. *Renewable Energy*. 2022;184:1074-1090.
- [8] Moreira, M. O., Kaizer, B. M., Ohishi, T., Bonatto, B. D., Zambroni de Souza, A. C., Balestrassi, P. P. Multivariate Strategy using Artificial Neural Networks for Seasonal Photovoltaic Generation Forecasting. *Energies*. 2022;16(1):369.

AERODYNAMIC PERFORMANCE EVALUATION OF VARIOUS NACA 4-DIGIT AIRFOILS GENERATED USING BEZIER CURVE PARAMETRIZATION

Asst. Prof. Dr., Yüksel ERASLAN

Tarsus University, Aerospace Engineering Dept., [yukseeraslan@tarsus.edu.tr](mailto:yukseleraslan@tarsus.edu.tr)

0000-0002-5158-5171

ABSTRACT

Bezier curve parametrization is a geometric modeling technique that uses a set of control points to represent complex shapes, creating smooth surfaces with reduced complexity. The method is widely used in engineering design and optimization tasks thanks to its flexibility and computational efficiency. In aircraft conceptual design, such methods are important for quick geometry generation, systematic exploration of the design space, and efficient integration with aerodynamic analysis tools, and additionally are well-suited for integration with modern artificial intelligence and machine learning frameworks, enabling efficient surrogate modeling and data-driven aerodynamic design workflows. Within this framework, airfoil geometry parameterization is a crucial aspect of aerodynamic design because it directly influences the lift, drag, and pitching moment characteristics of the aerial vehicle. Therefore, while using parametric representations, airfoils should be generated accurately to preserve the aerodynamic performance of the original shapes. In this study, various NACA 4-digit airfoils are regenerated using Bezier curve parameterization and analyzed with two-dimensional VLM simulations. Independent upper and lower surface curves were constructed using a centripetal parameterization and a weighted least-squares fitting strategy, with enhanced resolution near the leading edge. The optimal number of control points was determined by minimizing the global root-mean-square (RMS) geometric error between the original and reconstructed profiles. Consequently, the Bezier-generated profiles were compared with the original geometries using key aerodynamic coefficients at various angles of attack to assess performance differences and determine the compatibility for early design stages.

Keywords : NACA, Airfoil, Bezier Curve parametrization, Aerodynamics, Vortex Lattice Method.

BEZIER EĞRİSİ PARAMETRİZASYONU KULLANILARAK OLUŞTURULAN ÇEŞİTLİ NACA 4-DİJİT KANAT PROFİLLERİNİN AERODİNAMİK PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Asst. Prof. Dr., Yüksel ERASLAN

Tarsus University, Aerospace Engineering Dept., yukseleraslan@tarsus.edu.tr

0000-0002-5158-5171

ÖZET

Bezier eğrisi parametrizasyonu, karmaşık şekillerin temsili modelini çıkarmak için bir dizi kontrol noktası kullanan ve karmaşıklığı azaltılmış pürüzsüz yüzeyler oluşturabilen bir geometrik modelleme tekniğidir. Bu yöntem, esnekliği ve hesaplama verimliliği sayesinde mühendislik tasarımı ve optimizasyon görevlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hava aracı kavramsal tasarımında, bu tür yöntemler hızlı geometri oluşturma, tasarım alanının sistematik olarak keşfedilmesi ve aerodinamik analiz araçlarıyla verimli entegrasyon için önemli araçlardır. Ayrıca, modern yapay zekâ ve makine öğrenimi yapılarıyla entegrasyon için de çok uygun olmakla birlikte, verimli vekil modelleme ve veri odaklı aerodinamik tasarım süreçlerini mümkün kılar. Bu çerçevede, kanat profili geometrisi parametrizasyonu, hava aracının taşıma kuvveti, sürüklenme ve yunuslama momenti karakteristiğini doğrudan etkilediği için aerodinamik tasarımın çok önemli bir parçasıdır. Bu nedenle, parametrik modeller kullanılırken, orijinal şekillerin aerodinamik performansını korumak için kanat profilleri doğru bir şekilde oluşturulmalıdır. Bu çalışmada, çeşitli NACA 4-dijit kanat profilleri Bezier eğrisi parametrizasyonu kullanılarak yeniden oluşturulmuş ve iki boyutlu VLM simülasyonları ile analiz edilmiştir. Bağımsız sırt ve karın eğrileri, merkezci parametrizasyon ve ağırlıklı en küçük kareler uyum stratejisi kullanılarak, hücum kenarı çevresinde geliştirilmiş çözünürlük ile oluşturulmuştur. Optimum kontrol noktası sayısı, orijinal ve yeniden oluşturulan profiller arasındaki küresel karekök ortalaması (RMS) geometrik hatasını en aza indirerek belirlenmiştir. Sonuç olarak, Bezier ile oluşturulan profiller, aerodinamik performans farklılıklarını değerlendirmek ve tasarımın erken aşamaları için uyumluluğunu ortaya koymak amacıyla çeşitli hücum açılarında temel aerodinamik katsayıları ile orijinal geometrilerle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : NACA, Kanat profili, Bezier Eğrisi parametrizasyonu, Aerodinamik, Girdap Kafes Yöntemi.

STATIC ANALYSIS OF WARREN, PRATT AND HOWE TYPE TRUSS BRIDGES UNDER INCREASING SPAN CONDITIONS

Assistant Professor, Yusuf Ziya YÜKSEL

Bursa Technical University, yusuf.yuksel@btu.edu.tr - 0000-0002-2615-1590

Alper ALTAY

Bursa Technical University, alper.altay75@gmail.com – 0009-0007-5772-2599

ABSTRACT

This study investigates the effect of increasing the span length on the static displacement behavior of three types of truss bridges with simple supports and a fixed number of panels (Warren, Pratt, and Howe). Static analyses were performed using a linear elastic material model, showing that the panel length increases with the increase in the span length L under the effect of a vertical point load applied to the bridge midpoint. The bridge types created in the MATLAB using a plane truss finite element model; node displacements were calculated, and comparisons were made between the bridge types. To validate the developed numerical model, the same geometries and loading conditions modeled in SAP2000 software, and the displacement results obtained compared in MATLAB. The results showed that the maximum vertical displacement values increased in all three bridge types as the span length increased. The Warren system generally exhibited stiffer behavior with lower maximum displacement values in the span range examined. The Howe system exhibited a more flexible behavior with higher displacement values. The findings of this study demonstrate that the type of truss bridge system affects the displacement performance and that this effect can vary with the span level.

Keywords: Truss bridge, Warren, Pratt, Howe, Static analysis, Finite element method, Displacement.

1. INTRODUCTION

Bridges are engineering structures that connect two different points by overcoming physical obstacles such as rivers, valleys, straits, or other transportation routes. A bridge is preferred not only to overcome a geographical obstacle but also to accelerate the region's socio-economic relations, reduce logistics costs, and optimize transportation times. A

comprehensive analysis of parameters such as span length, traffic load, environmental effects such as wind and earthquakes, and the bearing capacity of the ground is required for the design of bridge. Truss bridges are one of the most commonly used bridge systems. Truss bridges are load-bearing systems formed by connecting rod elements in a plane to create triangular shapes. The weight/strength ratio is the most prominent factor in the preference for truss bridges. Compared to solid beams, truss systems allow larger spans to be crossed using less material. Three fundamental designs remain relevant today or continue to inspire modern designs. These bridges are the Howe, Pratt, and Warren truss bridges.

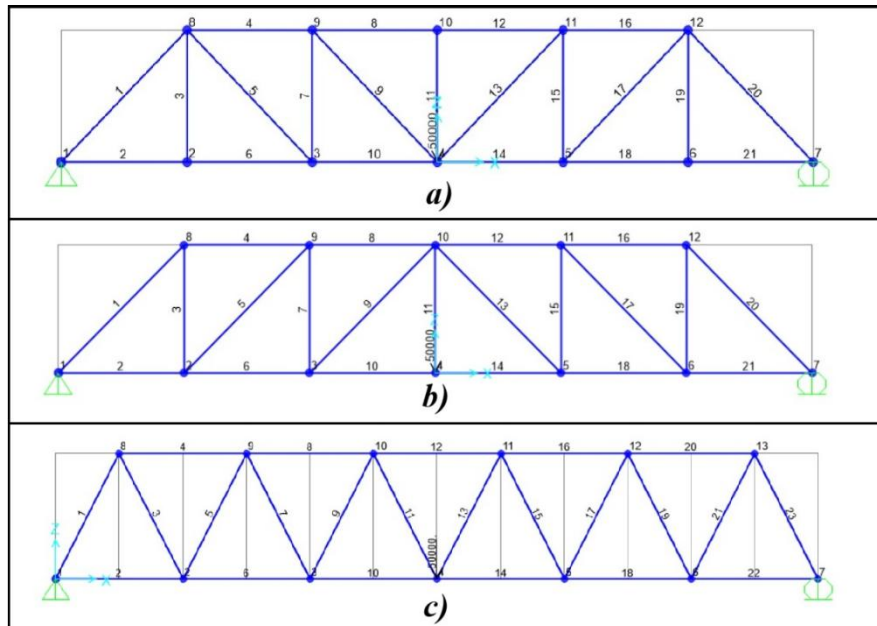
In the literature: Bankar (2025) analyzed Howe, Pratt, Warren, and K-type trusses in railway bridges using STAAD Pro. This work focused not only on displacement but also on cost and weight optimization. Soni, Bandewar, and Patel (2022), in the analyses using SAP2000, found that the Warren-type truss system behaved more rigidly in terms of displacement compared to Pratt and Howe types, especially for a 40m span. Shinde, Patil, and Mahadik (2021) examined the effects of wind and other environmental loads on steel bridges with a 70-meter span, comparing the axial force distributions of Pratt and Warren systems under these loads. Reddy and Nagaraju (2019) stated in their optimization study that the Warren-type truss system offers a better load/weight ratio compared to Pratt and Howe systems due to its geometric structure. Puspitasari, Nia Dwi et al. (2024) analyzed Warren, Pratt, Howe, and Braced Warren trusses for a 60-meter span bridge using the SAP2000 program. Sari, Wulan; Delitriana, A., and Gunadi, R. (2025) compared Warren, Pratt, Howe, and K-Truss systems by reviewing many previous studies. Also examined the effect of truss height. İpekçi and Kavraz (2022) modeled steel plane truss beams with triangular and crescent cap types for an industrial structure with a 30-meter span using the SAP2000 program. This study investigated the effects of different cap heights on the system weight and researched the geometries that provided the optimum weight for each cap type. Yavuz (2008) compared steel and timber truss beams and frame systems used in animal production structures from an economic perspective. Yakut (2007) examined the use of information technologies in the analysis and dimensioning processes of steel plane truss systems and performed safe and rapid analysis of trusses under different span and loading conditions using the software. Erciyes (2006) performed the analysis and design of a steel truss arch bridge using the SAP2000 program. In this work, considered dead and live loads as well as environmental effects such as temperature, impact, and wind loads, presenting a design process compliant with the standards of the American Association of State Highway and Transportation Officials. Ayiçi (1999) focused on the computer-aided analysis of steel truss beams and examined the advantages of computer technology in the static solution and dimensioning of truss systems using software developed based on the Finite Element Method. Dewangan and Majumdar (2018) examined Pratt, Warren, Howe, and K-type truss bridges vibration and static analyses using STAAD Pro software; reported that the Warren-type truss was the most economical solution in terms of material weight, but that the Howe-type truss behaved more stably than the Pratt-type in terms of displacement. Urdea (2018) compared Howe and Pratt types in a finite element analysis performed with SolidWorks. This study found that both systems exhibited similar stress and displacement behavior under load. Agrawal and Singha (2015)

analyzed modified Warren truss systems with 80 and 100-meter spans using code developed in the MATLAB environment. This study stated that applying pre-stress to the system and preferring the arch form significantly reduced the tensile forces formed in the lower chord and the total steel consumption. Borchers (2015) examined the strength and redundancy properties of Warren, Pratt, and K-type trusses in this parametric analyses performed using SAP2000. In this study concluded that redundant designs are more efficient in terms of weight and cost for short spans, while robust designs are more efficient for long spans. Kumar and Ram (2015) analyzed a K-type truss system for a bridge project carrying both road and rail traffic over the Krishna River with an 89-meter span using STAAD Pro. In this study evaluated the system's performance under different load combinations according to standards. Nagavi and Aktan (2003), conducted destructive tests and nonlinear analyses on a decommissioned Pratt-type truss bridge and found that the rigid nodes in heavy-duty truss bridges increase the system's load-carrying capacity much more than simple analysis methods predict.

This study compares the static behavior of Warren, Pratt, and Howe truss bridges under increasing span conditions. The structural performance of selected Howe, Pratt, and Warren steel truss bridges verified using SAP2000 and MATLAB software. The two-dimensional truss system modeled using truss finite elements, and static displacements examined.

2. MATERIAL METHOD

Figure 2.1 shows the truss bridges subjected to static analysis.



**Figure 2.1. Simply supported truss bridge under vertical point load at the midpoint of the bridge
 a) Pratt Bridge, b) Howe Bridge, c) Warren Bridge.**

One-dimensional stress-strain and strain-displacement relationships are given;

$$\sigma = E\epsilon$$

$$\epsilon = \frac{du}{dx} \quad (2.1)$$

The displacement and stress relations depend on the variable x :

$$u = u(x)$$

$$\sigma = \sigma(x) \quad (2.2)$$

The finite element formulation for one-dimensional problems is summarized. The interpolation shape function is given.

$$\xi = \frac{2}{x_2 - x_1} (x - x_1) - 1 \quad (2.3)$$

Here, the shape function is taken as $\xi = -1$ at the first node and $\xi = 1$ at the second node.

A two-node finite element shape function is taken as follows.

$$N_1(\xi) = \frac{1-\xi}{2} \quad (2.4)$$

$$N_2(\xi) = \frac{1+\xi}{2} \quad (2.5)$$

The linear displacement field within the element can be expressed in terms of node displacements q_1 and q_2 using shape functions as follows;

$$u = N_1 q_1 + N_2 q_2 \quad (2.6)$$

Written in matrix notation as follows;

$$u = Nq \quad (2.7)$$

$$N = [N_1, N_2] \text{ and } q = [q_1, q_2] \quad (2.8)$$

The coordinates can be written as follows;

$$x = N_1 x_1 + N_2 x_2 \quad (2.9)$$

When the chain rule for derivatives is applied to the unit deformation-displacement relationship in Equation 2.1, the following relationship is obtained;

$$\epsilon = \frac{du}{d\xi} \frac{d\xi}{dx} \quad (2.10)$$

Taking the derivative of the relation in Equation 2.3 with respect to x yields the following expression;

$$\frac{d\xi}{dx} = \frac{2}{x_2 - x_1} \quad (2.11)$$

Taking the derivative of the displacement function with respect to the displacement function ξ ;

$$u = \frac{1-\xi}{2} q_1 + \frac{1+\xi}{2} q_2 \quad (2.12)$$

$$\frac{du}{d\xi} = \frac{-q_1 + q_2}{2} \quad (2.13)$$

Equation 2.10 transforms into the following form;

$$\epsilon = \frac{1}{x_2 - x_1} (-q_1 + q_2) \quad (2.14)$$

Equation 2.14 can be written in matrix form:

$$\epsilon = Bq \quad (2.15)$$

$$B = \frac{1}{x_2 - x_1} [-1 \ 1] \quad (2.16)$$

The stress expression from Hooke's Law is as follows:

$$\sigma = EBq \quad (2.17)$$

The concept of total potential energy is used to establish a relationship between stress, strain, and displacement in one-dimensional problems.

$$\Pi = U_e - \sum_i u_i P_i$$

$$\Pi = \frac{1}{2} \int_e \sigma^T \epsilon A dx - \sum_i u_i P_i \quad (2.18)$$

Here, U_e represents the strain energy and P_i represents the point loads applied to the nodal points. The differential volume is taken as $dV = A dx$.

In the total potential energy equation, when equations 2.15 and 2.17 from the finite element equations are used;

$$U_e = \frac{1}{2} \int_e q^T B^T E B q A dx$$

$$U_e = \frac{1}{2} q^T \int_e [B^T E B A dx] q \quad (2.19)$$

In the finite element model, the cross-sectional area of the element A_e , denoted by e , is constant. The transformation from x in equation 2.16 to ξ yields:

$$dx = \frac{x_2 - x_1}{2} d\xi$$

$$dx = \frac{\ell}{2} d\xi \quad (2.20)$$

Here, $-1 \leq \xi \leq 1$, and $\ell_e = |x_2 - x_1|$ is the element length. The element deformation energy U_e is now written as:

$$U_e = \frac{1}{2} q^T \left[A_e \frac{\ell_e}{2} E_e B^T B \int_{-1}^1 d\xi \right] q \quad (2.21)$$

Here, E_e is the Young modulus of the element e . Noting that $\int_{-1}^1 d\xi = 2$ and substituting the matrix B from Equation 2.16:

$$U_e = \frac{1}{2} q^T A_e \ell_e E_e \frac{1}{\ell_e^2} \begin{Bmatrix} -1 \\ 1 \end{Bmatrix} [-1 \quad 1] q \quad (2.22)$$

$$U_e = \frac{1}{2} q^T \frac{A_e E_e}{\ell_e} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} q \quad (2.23)$$

This equation is in the following form:

$$U_e = \frac{1}{2} q^T k^e q \quad (2.24)$$

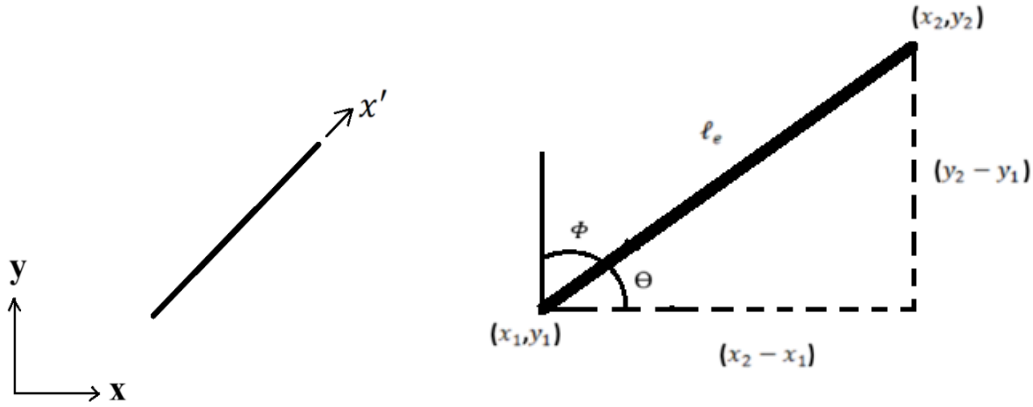
Here, the element stiffness matrix k^e is given as:

$$k^e = \frac{A_e E_e}{\ell_e} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

The force is taken as a singular load.

$$F = p_i \quad (2.26)$$

The stiffness matrix and displacements in a plane truss system are transformed depending on the orientation angles of the bar elements. (Figure 2.2)



Görsel 2.2. Kafes elemanlarının doğrultu kosinüsleri

Here, L the transformation matrix is given as follows:

$$L = \begin{bmatrix} \ell & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ell & m \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

The direction $\ell = \cos \theta$ and $m = \sin \theta$ were taken.

$$q' = Lq \quad (2.28)$$

When the transformed displacements are substituted into the strain energy equation;

$$U_e = \frac{1}{2} q'^T k q' \quad (2.29)$$

The transformed stiffness matrix is obtained as follows.

$$U_e = \frac{1}{2} q^T [L^T k L] q \quad (2.30)$$

The transformed stiffness matrix is obtained as follows.

$$k' = L^T k L \quad (2.31)$$

$$k' = \frac{A_e E_e}{\ell_e} \begin{bmatrix} \ell^2 & \ell m & -\ell^2 & -\ell m \\ \ell m & m^2 & -\ell m & -m^2 \\ -\ell^2 & -\ell m & \ell^2 & \ell m \\ -\ell m & -m^2 & \ell m & m^2 \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

The relationship between force and displacement was established using the relation given in equation (2.33).

$$F = KU \quad (2.33)$$

The displacements are found by taking the inverse of the stiffness matrix in the given equation and multiplying it by the force vector.

$$U = K^{-1}F \quad (2.34)$$

3. RESULTS AND EVALUATION

The static displacement behavior of three steel truss bridges (Warren, Pratt, and Howe types) with equal spans and panel numbers and identical mechanical properties under a single load at the bridge midpoint was investigated in numerical studies. The study examined the static behavior of different types of bridges when the panel length increased (and the span also increased). The Finite Element Method used in the analyses, and the systems modeled as two-dimensional plane trusses. The boundary conditions of the bridges defined as simply supported, with one end fixed and the other end free.

The bridge span L was varied between 3 and 6 m ($L = 3, 4, 5,$ and 6 m), and analyses were performed within the scope of the study. The number of panels was kept constant at 6 for each model. The bridge height was taken to be equal to the length of each bar element.

The structural steel used exhibited linear elastic behavior. In the analyses, the elastic modulus of the material was taken as $E = 200$ GPa and the cross-sectional area of the elements as 0.1 m². A single vertical load P of 50,000 kN was applied to the 4th node located at the exact center of the bridge as the loading condition. The three basic steel truss bridge systems commonly used in the literature, Howe, Pratt, and Warren, which have different bar arrangements, were coded in the MATLAB environment with a unique algorithm that defines the element and node point properties of each truss system, establishes the global stiffness matrix of the system, and calculates the node point displacements by considering the boundary conditions.

A validation study was performed, and the maximum vertical displacements for three different bridge types for the selected single panel length are shown in Table 3.1. The difference between the SAP2000 results and the MATLAB-developed plane truss finite element model was found to be 0% for all nodes.

Table 3.1. Verification of the Maximum Vertical Displacement for Howe, Pratt, and Warren Truss Bridges

Bridge Type	Node number	Span (m)	U(y) Matlab (mm)	U(y) SAP2000(mm)	%Difference
Howe	4	6	-39,357	-39,357	0
Pratt	4	6	-35,607	-35,607	0
Warren	4	6	-33,294	-33,294	0

Table 3.2 presents a comparative overview of the maximum vertical displacement values obtained for different spans in Warren–Pratt–Howe truss bridge types. Table 3.2 shows how the three systems differ in terms of absolute displacement levels under the same loading and support conditions. The table results show that the (Δ_{max}) value increases as the span length increases for all bridge types. When material and section properties are kept constant, this

situation causes a decrease in the system's rigidity and, consequently, an increase in displacements as the span length increases.

When comparing the spans of the bridges, the smallest (Δ_{max}) value occurs in the Warren bridge for spans in the range $L=3-6$ m. The largest displacement for all spans is in the Howe bridge. The Pratt bridge generally falls between the Warren and Howe bridges. This ranking indicates that under the examined geometry and loading conditions, the Warren bridge behaves more rigidly, while the Howe bridge behaves more flexibly.

Table 3.2. Maximum Displacement Comparison.

L (m)	Δ_{max} Howe (mm)	Δ_{max} Pratt (mm)	Δ_{max} Warren (mm)
3	19,6783	17,80330086	16,6470
4	26,2377	23,73773448	22,1960
5	32,7972	29,6721681	27,7451
6	39,3566	35,60660172	33,2941

Additionally, the table shows that the differences between the bridges remain steady as the span increases. In line with this observation, Table 3.3 examines the relative differences in percentage terms

Table 3.3. Relative Difference Analysis (Warren Reference).

L (m)	Howe vs Warren (%)	Pratt vs Warren (%)
3	18.20	6.94
4	18.20	6.94
5	18.20	6.94
6	18.20	6.94

Table 3.3 shows the relative percentage difference in maximum displacements between the Howe and Pratt bridges compared to the Warren bridge. When the results are examined, it is seen that for $L=3$ m, the Howe bridge has 18.20% more displacement than the Warren bridge, while the Pratt bridge has 6.94% more displacement. As the range increased, these relative differences remained constant. In particular, the Pratt bridge exhibits behavior quite close to the Warren bridge at same spans. This behavior is attributed to the fact that all bridges were modeled with the same panel number, material properties, cross-sectional areas, and loading conditions, and the span variation was achieved through geometric scaling. Consequently, although the absolute displacement values increase with span length, the relative stiffness ratios between the bridge configurations remain unchanged, highlighting that the displacement behavior is primarily governed by truss geometry rather than span length.

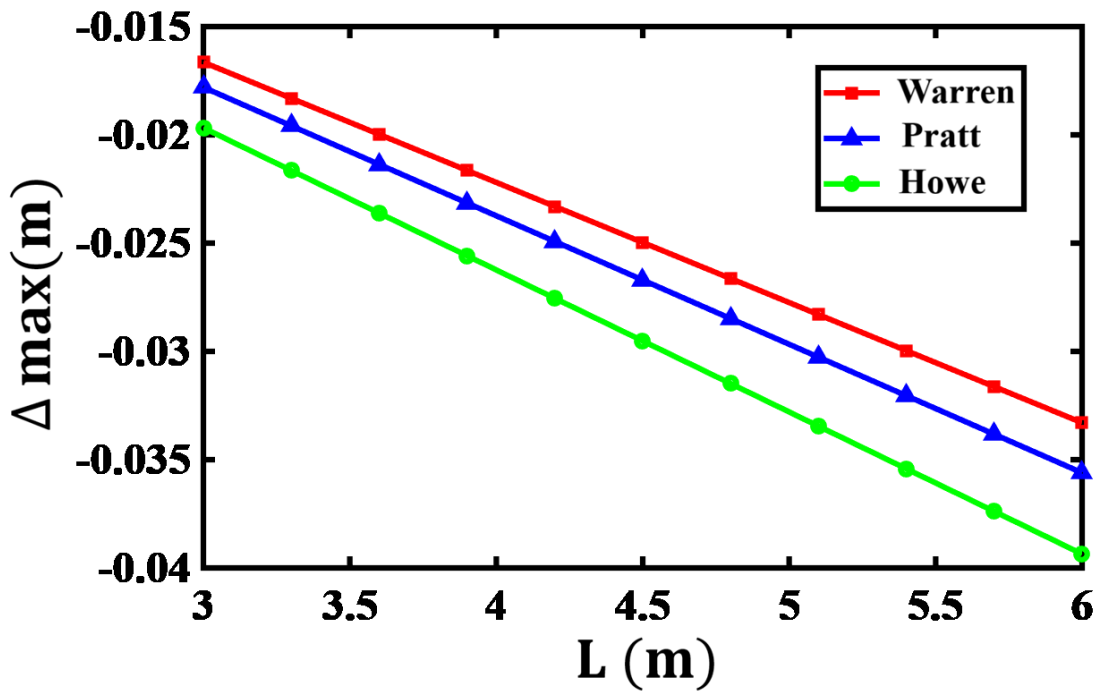


Figure 3.1. Change in Maximum Vertical Displacement According to Span Length.

Figure 3.1 shows the changes in the maximum vertical displacement as the span length L increases for Warren, Pratt, and Howe truss bridge systems. The graph shows that the magnitude of displacement increases with span length for all bridges. The negative sign indicates the vertical downward direction of the displacement, depending on the selected axis direction. Within the examined span range, the Warren bridge exhibits the smallest displacement, indicating it behaves more rigidly. The Howe bridge has the largest displacement and is more flexible. The Pratt bridge is positioned between the two other bridges. This ranking supports the system performance ranking (Warren < Pratt < Howe) presented in Table 5.4. This situation shows that the increase in displacement becomes dominant in all systems as the span increases.

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

In this study, a static analysis was performed using a linear elastic material model under the effect of a vertical concentrated load applied to the midpoint of the bridge under conditions where the panel length increases as the span L increases. The bridge models used three different Warren, Pratt, and Howe bridge types with simple supports and a fixed number of panels. The bridge types were modeled using a plane truss finite element model in MATLAB; the obtained displacement results were validated using the SAP2000 program.

According to the obtained results, the maximum vertical displacement Δ_{max} regularly increased in all three bridge types as the span length increased. This increase was due to the decrease in stiffness as the span increased. The overall performance ranking for all spans was Warren < Pratt < Howe. Accordingly, the Warren truss bridge exhibited stiffer behavior by producing smaller vertical displacement under the same load under the examined geometry and loading conditions, while the Howe bridge exhibited more flexible behavior.

Consequently, the Warren bridge is more advantageous in terms of displacement under the conditions examined in this study. The Pratt-type bridge performed close to the Warren bridge the same span. Conversely, the Howe bridge exhibited a more flexible behavior by producing higher displacement values at all spans. In this context, it can be stated that not only the span length but also the selected truss configuration plays a decisive role in the structural performance of bridges.

REFERENCES

- [1] Soni, S., Bandewar, D., Patel, R. (2022). Comparative analysis of two different steel bridge considering live project data using analysis tool. *Journal of Xi'an Shiyou University, Natural Science Edition*, 18 (10), 944-957.
- [2] Bankar, V., Pimpalkar, P., Upparwar, G., Bhoyar, S., Kathale, R., Kadam, C., Khodake, T. (2025). Comparative analysis of different truss type railway steel bridge. *International Journal for Advanced Research in Science & Technology (IJARST)*, 15(5), 1-7.
- [3] Erciyes, F. (2006). Çelik kafes kemerli bir köprünün analizi ve tasarımı (Yüksek Lisans Tezi). Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- [4] İpekçi, Z., Kavraz, M. (2022). Üçgen ve hilal başlıklı çelik düzlemsel kafes kirişlerde yüksekliğin ağırlık üzerine etkileri. *Yalvaç Akademi Dergisi*, 7(1), 1-16.
- [5] Reddy, P. S. K., Nagaraju, C. (2019). Structural optimization of different truss members using finite element analysis for minimum weight. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 9(4), 99-110.
- [6] Shinde, V. R., Patil, A. S., Mahadik, U. A. (2021). Comparative analysis of truss bridges. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 10(1).
- [7] Yakut, M. (2007). Çelik kafes yapıların çözüm ve boyutlandırılmasında bilgi teknolojilerinin kullanılması (Yüksek Lisans Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [8] Yavuz, B. (2008). Hayvansal üretim yapılarında kullanılan taşıyıcı sistemlerin ekonomik yönden karşılaştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [9] Bage, A. A., Khurd, V. G. (2019). Comparative Study of Steel Truss Bridges. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6(5), 7719-7722.

- [10] Dewangan, H., Majumdar, K. (2018). Comparison of different types of trusses in vibration analysis using STAAD Pro. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 7(6), 472-478.
- [11] Kumar, A., Dubey, S. K. (2017). Comparative study of analysis and design of different types of truss bridges. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 6(5), 386-389.
- [12] Kumar, M. P. S., Sashidhar, C. (2017). Weight optimization of steel truss bridge using finite element analysis. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 8(4), 655-663.
- [13] Pajgade, P. S., Chandore, P. S. (2015). Analysis and design of steel truss bridge. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(1), 128-132.
- [14] Patil, S. S., Talikoti, R. S. (2016). Study on behaviour of different truss bridges. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 7(6), 547-554.
- [15] Shiva Prasad, G. V. S., Ram, H. S. S. S. (2019). Design and analysis of railway bridge with different types of trusses. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(2), 4390-4394.
- [16] Shreedhar, R., Rashmi. (2012). Structural analysis of steel truss bridges under different loading conditions. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 1(6), 1-7.
- [17] Sari, W., Delitriana, A., & Gunadi, R. (2025). Literature review: The influence of truss configuration and height on steel truss bridges based on deflection and structural weight. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(2), 1956–1967.
- [18] Agrawal, S., Singha, M. K. (2015). Numerical Study on Large Span Pre-Stressed Modified Warren Truss. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 4(4).
- [19] Ayıçi, T. (1999). Çelik Kafes Kirişlerin Bilgisayar İle Boyutlandırılması (Yüksek Lisans Tezi). Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [20] Borchers, S. (2015). Parametric Analysis of Resilient Design of Steel Truss Bridges (Master's Thesis). Massachusetts Institute of Technology.
- [21] Kumar, T. P., Ram, G. P. (2015). Analysis and Design of Super Structure of Road cum Railway Bridge across Krishna River. *International Journal of Engineering & Science Research*, 5(7), 830-838.

- [22] Nagavi, R. S., Aktan, A. E. (2003). Nonlinear Behavior of Heavy Class Steel Truss Bridges. *Journal of Structural Engineering*, 129(8), 1070-1081.
- [23] Niu, Q. (2022). Review on the Development of Truss Bridges. *Academic Journal of Science and Technology*, 2(1).
- [24] Puspitasari, N. D., Aryaseta, B., Kumalasari, A. I., Wardhani, P. C. (2024). A Comparative Investigation of the Flexural Performance in Various Steel Truss Bridge Configurations. *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer.
- [25] Urdea, M. (2018). Static linear analysis for trusses structure for supporting pipes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 399, 012051.
- [26] Dean, D. L. (1969). Behavior of Howe, Pratt, and Warren Trusses. *Journal of the Structural Division*.

DOĞAL KAYNAKLI YALITIM MALZEMELERİNİN BİNA ENERJİ PERFORMANSINA ETKİSİ ÜZERİNE SİMÜLASYON TABANLI BİR ÇALIŞMA

Berna ÖZGÜR

İş ve Mühendislik Yönetimi Bölümü Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Türkiye

bernaa.ozgur@gmail.com - 0009-0004-8888-1398

Prof. Dr. Figen BALO

Met. ve Malz. Müh Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Türkiye

fbalo@firat.edu.tr - 0000-0001-5886-730X

ÖZET

Bu çalışma, Zonguldak şehrinde tasarlanan bir balık evinde dış duvar yapı sisteminin yıllık enerji tüketimi ve CO₂ emisyonu üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Analizler Energy3D programı ile yapılmış ve 2 farklı taşıyıcı sistem (gaz beton ve tuğla) ile 12 farklı doğal kökenli yalıtım malzemesi (cam elyafi, yün, pamuk, selüloz lifi, jüt, pirinç samanı, kabuk, hindistan cevizi lifi, keten, mısır koçanı, ananas lifi ve kamış) kullanılarak toplam 24 senaryo oluşturulmuştur.

Tüm senaryolar, 4 cm yalıtım tabakası kalınlığı ve 20 cm yapı malzemesi kalınlığı sabit olan temel dış duvar yapısı üzerine inşa edilmiştir. Simülasyon çıktıları değerlendirilerek, maksimum ve minimum alternatifler karşılaştırıldığında, gaz beton taşıyıcı sistemde CO₂ salınımı %13,4, yıllık enerji tüketimi %13,5 oranında artış göstermiştir. Tuğla taşıyıcı sistemde ise sırasıyla elde edilen artış oranları %12,2 ve %12,1 olarak belirlenmiştir. Her iki taşıyıcı sistemde de fiberglass yalıtım enerji ve CO₂ emisyonu açısından en avantajlı çözüm olduğu, hindistan cevizi lifinin ise en yüksek enerji tüketimi ve CO₂ salınımına neden olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bulgular, bina zarfında taşıyıcı sistem ve yalıtım malzemesi seçiminin enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, özellikle benzer iklim koşullarına sahip bölgelerde tasarlanacak ticari binaların enerji verimliliğinin iyileştirilmesine katkıda bulunabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Energy3D, enerji tüketimi, CO₂ salınımı, gaz beton, tuğla, doğal yalıtım malzemeleri

1. GİRİŞ

Binalar, küresel enerji tüketiminin ve sera gazı emisyonlarının önemli bir bölümünden sorumlu sektörler arasında yer almaktadır [1-3]. Artan enerji talebi, fosil yakıt kaynaklarının

tükenmesi ve iklim değişikliği üzerindeki olumsuz etkiler, bina sektöründe enerji verimliliğinin iyileştirilmesini ve daha çevre dostu çözümlerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır [4-6]. Özellikle, bina dış cephe tasarımı, ısıtma-soğutma yükleri üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir ve enerji performansının artırılmasında kilit bir rol oynamaktadır [7-9].

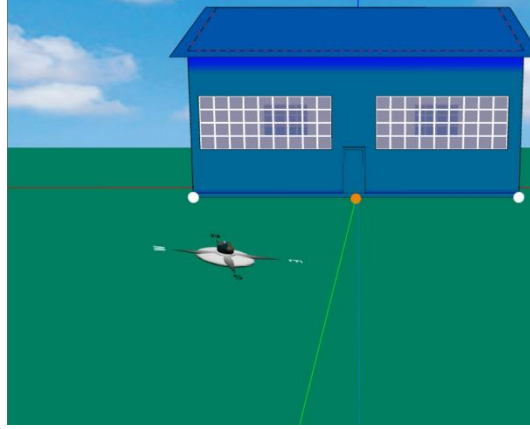
Geleneksel yalıtım malzemelerine kıyasla, doğal ve biyolojik bazlı yeni nesil yalıtım malzemeleri, düşük çevresel etkileri, yenilenebilirlikleri, düşük enerji tüketimleri ve karbon ayak izleri nedeniyle büyük ilgi ve popülerlik kazanmaktadır [10-12]. Koyun yünü, pamuk, selüloz lifi, jüt, pirinç samanı, hindistan cevizi lifi ve diğer benzer bitki veya hayvan bazlı malzemeler, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de yerel kaynakların kullanımı açısından büyük bir potansiyel sunmaktadır [13-15]. Bu tür malzemelerin inşaat sektörüne dahil edilmesi, bir binadaki enerji tüketiminin azaltılmasına ve döngüsel ekonomi yaklaşımına katkıda bulunur.

Ancak, alternatif yük taşıma sistemlerinin ve yalıtım malzemelerinin bir binanın enerji performansı üzerindeki etkisinin deneysel olarak değerlendirilmesi genellikle çok pahalı ve zaman alıcıdır. Bu nedenle, bina enerji performansının değerlendirilmesi için sayısal simülasyon araçları giderek daha fazla kullanılmaktadır. Energy3D gibi bina enerji simülasyon yazılımları, farklı bina elemanlarını, malzeme özelliklerini ve iklim koşullarını dikkate alarak yıllık enerji tüketimini ve CO₂ emisyonlarını tahmin etmeyi ve tasarım alternatiflerinin etkisini değerlendirmeyi mümkün kılar. Bu tür simülasyon tabanlı yaklaşımlar aracılığıyla tasarım aşamasında alternatif senaryoların hızlı ve güvenilir bir şekilde karşılaştırılmasını sağlayarak enerji verimli bina tasarımına katkıda bulunur [16, 17].

Bu çalışmada, Zonguldak şehrindeki bir balıkevi binasında, on iki farklı yalıtım malzemesinin, iki farklı taşıyıcı sistem olan gaz beton ve tuğla ile enerji tüketimi ve CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi, Energy3D yazılımı kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, doğal esaslı yalıtım malzemelerinin bina enerji performansı üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmak ve sürdürülebilir bina tasarımı için karşılaştırmalı bilimsel bir değerlendirme sağlamaktır.

2. ENERGY 3-D METODOLOJİSİ

Energy3D yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen Zonguldak ilinde 150 m² alana sahip balıkevi yapısının enerji simülasyon modellemesi pasif iklimlendirme prensiplerine göre Görsel 1’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan malzemelerin U değerleri Çizelge 1’de sunulmuştur.



Görsel 1. Energy3D yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen balıkevi yapısının enerji simülasyonu modeli

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan malzemelerin U değerleri

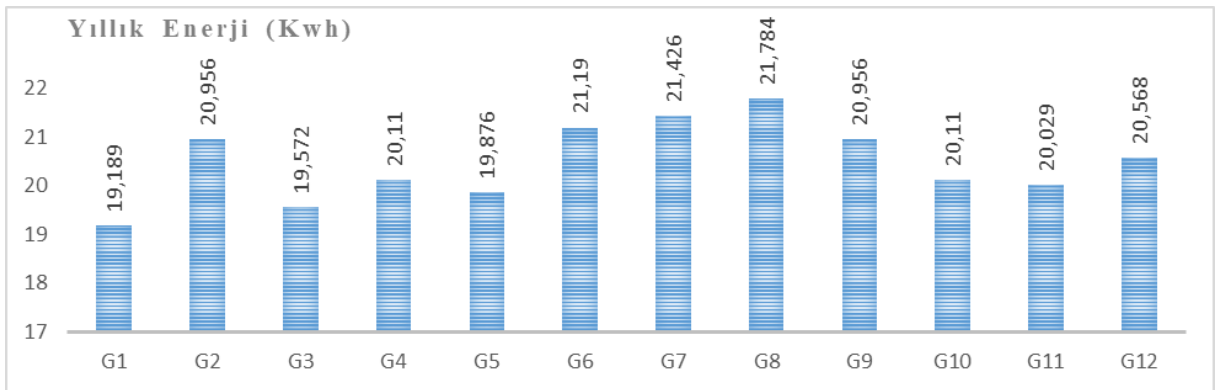
Yalıtım Malzemesi	Malzeme Türü	Gaz beton (k = 0.303)		Tuğla (k = 0.25)	
		Kod	U-Value	Kod	U-Value
Fiberglass	Mineral	G1	0.25	T1	0.20
Koyun Yünü	Hayvansal	G2	0.38	T2	0.33
Pamuk	Bitkisel	G3	0.28	T3	0.23
Selüloz Fiber	Bitkisel	G4	0.32	T4	0.27
Jüt	Bitkisel	G5	0.30	T5	0.25
Pirinç Samanı	Bitkisel	G6	0.40	T6	0.35
Küspe	Bitkisel	G7	0.42	T7	0.37
H. Cevizi Lifi	Bitkisel	G8	0.45	T8	0.40
Keten	Bitkisel	G9	0.38	T9	0.33
Mısır Koçanı	Bitkisel	G10	0.32	T10	0.27
Ananas Lifi	Bitkisel	G11	0.31	T11	0.26
Sazlık Lifi	Bitkisel	G12	0.35	T12	0.30

3. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

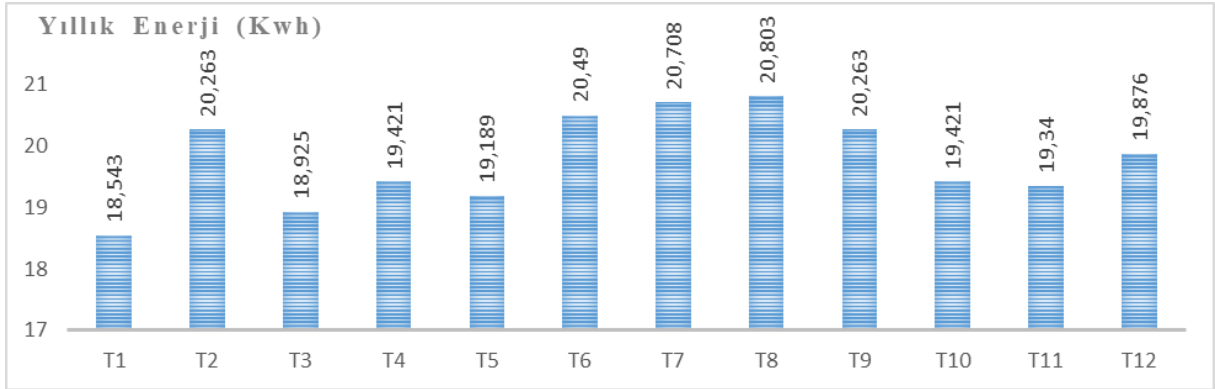
Görsel 2, iki tip taşıyıcı sistem yani gazbeton ve tuğla duvar sistemlerinde çeşitli doğal kökenli yalıtım malzemelerinin (cam elyafı, yün, pamuk, selüloz lifi, jüt, pirinç samanı, kabuk, hindistan cevizi lifi, keten, mısır koçanı, ananas lifi ve kamış) yıllık enerji tüketimi üzerindeki etkisinin karşılaştırmasını sunmaktadır. Gazbeton ve tuğla taşıyıcı sistemler için yıllık enerji tüketimi değerleri sırasıyla 19.189–21.784 kWh ve 18.543–20.803 kWh aralığındadır. Her iki sistemde de minimum yıllık enerji tüketimi cam elyafı yalıtımlı senaryolarda, maksimum enerji tüketimi ise hindistan cevizi lifi yalıtımlı duvar sistemlerinde elde edilmiştir. Tüm yalıtım türleri için, tuğla taşıyıcı sistemin yıllık enerji tüketimi, gazbeton sistemine göre daha düşüktür ve bu durum duvarın toplam ısı geçirgenliği değeriyle tutarlıdır.

Sonuçlar, sadece taşıyıcı sistemin seçimi değil, yalıtım malzemesinin türünün de bina enerji performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Bu farkın esas sebebi, tuğla ve gaz beton taşıyıcı sistemlerin ısı iletkenlik katsayıları ve toplam duvar ısı dirençlerinin farklılık göstermesidir. Daha düşük efektif U-değerine sahip duvar bileşenleri, ısı transferini sınırlandırarak ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmaktadır. Böylece yıllık enerji tüketimi değerleri de düşmektedir. Ayrıca doğal kaynaklı yalıtım malzemelerinin lif yapısı, gözeneklilik oranı ve nem tutma kapasitesi, duvarın ısı depolama ve ısı geçiş davranışını etkileyerek enerji performansı üzerinde belirleyici rol oynamaktadır.



(a)

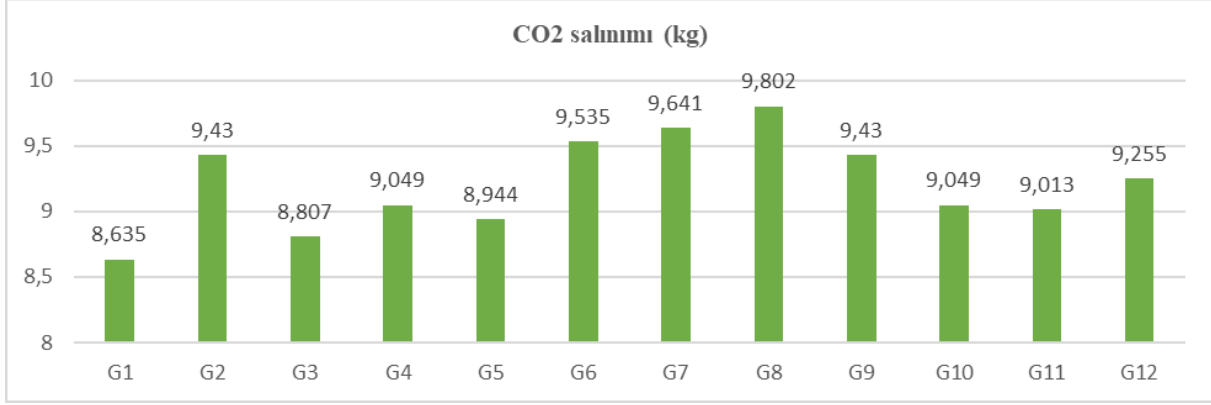


(b)

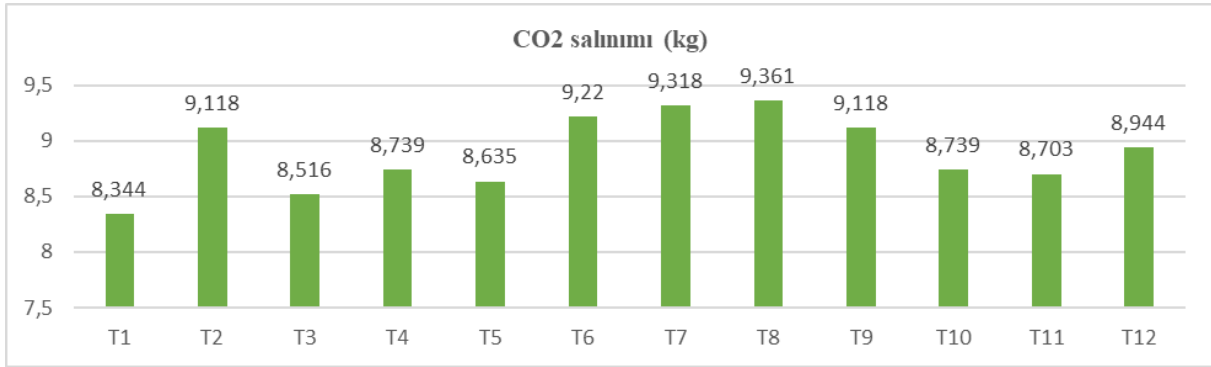
Görsel 2. Yıllık enerji tüketimi değerleri (a) Gaz beton (b) Tuğla

Görsel 3, 12 farklı doğal kaynaklı yalıtım malzemesinin gaz beton ve tuğla taşıyıcı sistemlere sahip duvar yapılarında yıllık CO₂ salınımı üzerindeki etkilerini göstermektedir. Gaz beton taşıyıcı sistemde yıllık CO₂ salınımı 8.635–9.802 kg aralığında değişirken, tuğla taşıyıcı sistemde bu değerlerin 8.344–9.361 kg aralığında olduğu belirlenmiştir. Her iki yapı sisteminde de en düşük CO₂ salınımı fiberglass yalıtım malzemesi kullanılan senaryolarda elde edilirken, en yüksek emisyon değerleri hindistan cevizi lifi kullanılan duvar yapılarında ortaya çıkmıştır. Tuğla taşıyıcı sistemlerin, gaz beton sistemlere kıyasla tüm yalıtım türlerinde daha düşük CO₂ salınımı sergilemesi, yıllık enerji tüketimindeki azalma ile doğrudan

ilişkilidir. Bu sonuçlar, yapı kabuğu tasarımında taşıyıcı sistem ve yalıtım malzemesi seçiminin karbon salınımının azaltılmasında önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.



(a)



(b)

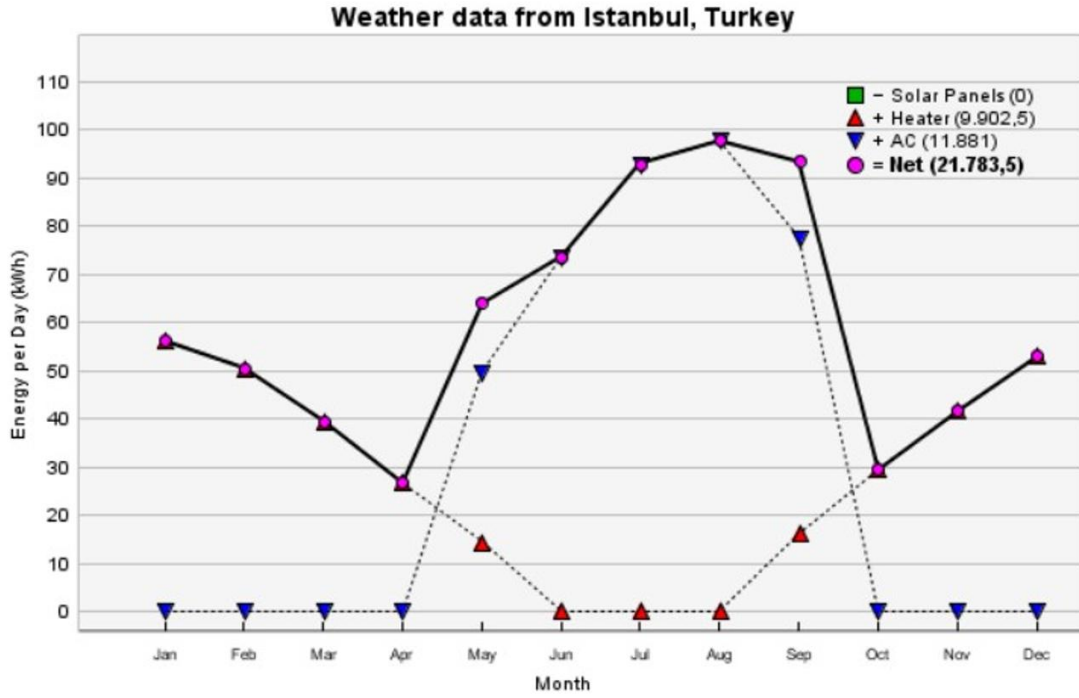
Görsel 3. Yıllık CO₂ salınımı değerleri (a) Gaz beton (b) Tuğla

Maksimum-minimum değerler Çizelge 2’de detaylandırılmıştır. Doğal kaynaklı yalıtım malzemelerinin 2 farklı yapı malzemesi ile kombinasyonu sonucu yapılan değerlendirmelerde, en iyi ve en kötü alternatif senaryolar arasında belirgin farklar elde edilmiştir. Fiberglass yalıtım malzemesi ile gaz beton taşıyıcı sistemde elde edilen en düşük yıllık enerji tüketim değeri (19.189 kWh) ile hindistan cevizi lifi kullanılan en yüksek enerji tüketim değeri (21.784 kWh) karşılaştırıldığında, enerji tüketiminde yaklaşık %13,5 oranında bir artış meydana gelmiştir; benzer şekilde yıllık CO₂ salınımı %13,4 artış göstermiştir. Taşıyıcı sistem olarak tuğla kullanıldığı zaman fiberglass yalıtımla elde edilen en düşük yıllık enerji tüketim değeri (18.543 kWh) ve hindistan cevizi lifi kullanılan en yüksek değer (20.803 kWh) arasındaki fark %12,2 olarak belirlenmiştir. CO₂ salınımında belirlenen artış ise %12,1 olarak rapor edilmiştir. Bu bulgular, doğal kaynaklı yalıtım malzemesi seçiminin tek başına dahi yapı enerji performansı ve çevresel etki üzerinde %10’un üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

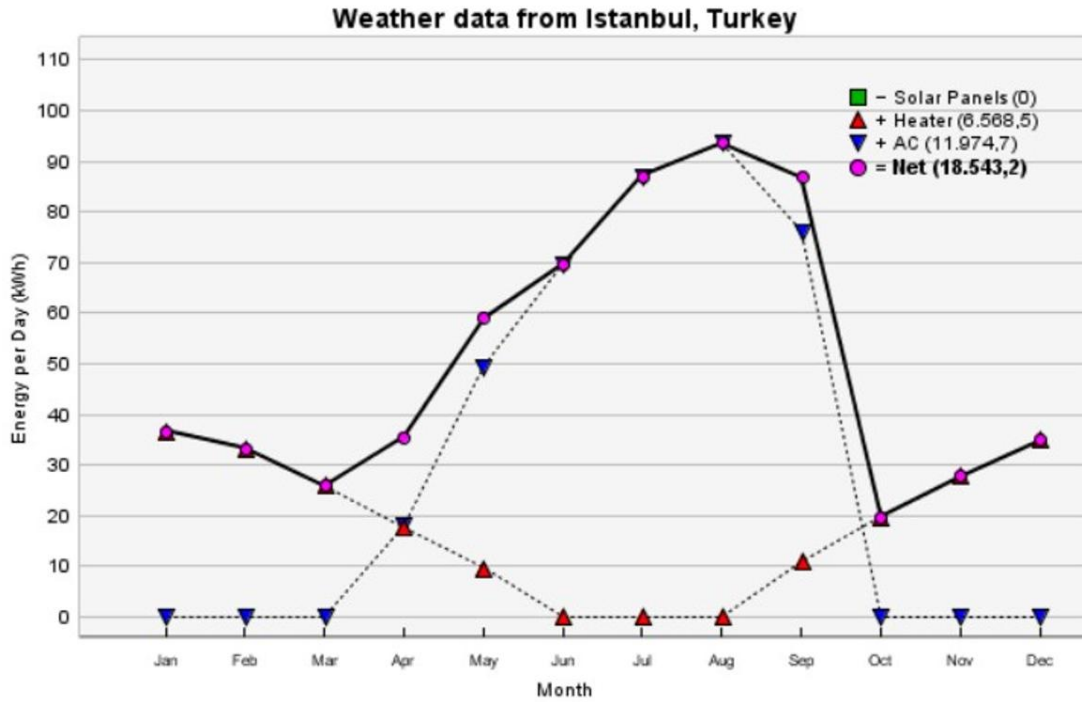
Çizelge 2. Maksimum-minimum değerler

	Yalıtım Malzemesi	Yıllık Enerji Tüketimi (kWh)	Yıllık CO2 Salınımı (kg)	Kod	
Minimum yıllık enerji tüketimi	Fiberglass	19,189	8,635	G1	Gaz beton
Maksimum yıllık enerji tüketimi	Hindistan Cevizi Lifi	21,784	9,802	G8	
Minimum yıllık enerji tüketimi	Fiberglass	18,543	8,344	T1	Tuğla
Maksimum yıllık enerji tüketimi	Hindistan Cevizi Lifi	20,803	9,22	T8	

Görsel 4’te, en yüksek ve en düşük yıllık enerji tüketimi elde edilen dıştan yalıtımlı duvar yapılarının Energy3D simülasyon çıktıları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Taşıyıcı sistem olarak gaz beton kullanıldığında, hindistan cevizi lifi entegre edilen G8 kodlu numune, yüksek ısı iletkenlik ve düşük toplam ısı direnç nedeniyle en yüksek yıllık enerji tüketimini göstermektedir. Taşıyıcı sistem olarak tuğla kullanıldığında, yalıtım olarak fiberglass uygulandığında T1 kodlu numune, düşük U-değeri ve daha etkin ısı yalıtım performansı sayesinde en düşük enerji tüketimi ile öne çıkmaktadır. Görsel karşılaştırma, taşıyıcı sistem ve yalıtım malzemesinin birlikte değerlendirilmesinin bina enerji performansı üzerinde belirleyici olduğunu açıkça ortaya koymakta ve uygun malzeme kombinasyonlarının enerji verimliliğini önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir.



(a)



(b)

Görsel 4. Maksimum ve minimum enerji tüketimine sahip alternatiflerin Energy3D simülasyon çıktıları (a) G8 kodlu numune (b) T1 kodlu numune

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Zonguldak ilinde bir balıkevi binasının dış duvar kabuğunda gaz beton ve tuğla olmak üzere iki farklı yapı malzemesi ve on iki farklı doğal esaslı yalıtım malzemesi kullanılması durumunda yıllık enerji tüketimi ve CO₂ salınımı değerlerinin Energy3D yazılımı kullanılarak kıyaslamalı analizi sunulmuştur. 24 farklı alternatif senaryo dıştan

yalıtlı duvar yapısında farklı kombinasyonlarla uygulanmıştır. Yalıtım kalınlığı 4 cm ve yapı malzemesi kalınlığı 20 cm olacak şekilde sabit tutulmuştur.

Energy 3D ile elde edilen çıktılar, tuğla taşıyıcı sistemlerin, gaz beton sistemlere göre bütün doğal kaynaklı yalıtım malzemelerinde daha düşük yıllık enerji tüketimi ve CO₂ salınımı değerleri ortaya çıkardığını göstermiştir. Gaz beton yapı malzemesi olarak kullanıldığında yıllık enerji tüketimi 19.189–21.784 kWh aralığında değişmiştir. Tuğla yapı malzemesi olarak kullanıldığında elde edilen çıktıların 18.543–20.803 kWh aralığında elde edildiği rapor edilmiştir. Aynı şekilde CO₂ salınımı açısından da elde edilen çıktı değerleri gaz beton yapı malzemesi olarak kullanıldığında 8.635–9.802 kg ve tuğla yapı malzemesi olarak kullanıldığında 8.344–9.361 kg arasında emisyon değerleri belirlenmiştir.

Doğal esaslı yalıtım malzemeleri kullanılarak yapılan bu araştırmada, her iki yapı malzemesiyle oluşturulan bina kabuğu için de yalıtım malzemesi olarak fiberglass kullanıldığında en düşük enerji tüketimi ve CO₂ salınımı elde edilmiş dolayısıyla en iyi performans elde edilmiştir. Duvar yapılarında hindistan cevizi lifi kullanıldığında en yüksek enerji tüketimi ve emisyon değerleri rapor edilmiştir. Maksimum ve minimum alternatif senaryolar kıyaslandığında, gaz beton sistemde elde edilen enerji tüketimi ve CO₂ salınımında yaklaşık %13,5'lik bir artış gözlemlenmiştir. Tuğla kullanılan sistemde sırasıyla elde edilen artış oranları %12,2 ve %12,1 olarak rapor edilmiştir. Bu çıktılar, doğal esaslı yalıtım malzemesi seçiminin bir binanın enerji performansının üstünde %10'dan fazla olumlu bir performansa neden olabileceğini göstermektedir.

Yapılan Energy 3D analizi ile elde edilen çıktılar, bir binanın kabuk tasarımında sadece yalıtım malzemesinin performans açısından belirleyici olmadığını, yapı katmanlarının tamamıyla değerlendirilmesi sonucu enerji verimliliği ve karbon salınımının optimal değerlerin daha doğru belirlenebilmesinde etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sonuç olarak, Energy3D simülasyonu, bir binanın projelendirme aşamasında farklı malzeme alternatiflerini hızlı ve güvenilir bir şekilde karşılaştırarak daha enerji etkin tasarımları erken aşamada elde edebilmeyi mümkün kılmaktadır. Aynı iklim şartlarında olan bölgelerde yapılması planlanan yapılarda, optimal yapı ve yalıtım malzemesi kombinasyonlarının seçilmesi ile enerji tüketimi ve CO₂ salınımının istenilen seviyelere daha yakın hale getirilebilmesi mümkündür. Bu çalışma, sürdürülebilir yapı tasarımı için doğru malzeme seçimi konusunda erken aşamada yapılacak doğru kararların yapılara doğru altyapı sağlayabileceğini gösterecek şekilde alanındaki karar vericiler için örnek bir çalışma olarak sunulmuştur.

KAYNAKÇA

[1] Demirsoy, G., & Sözen, A. (2024). Binalarda enerji verimliliğinin toplam faktör etkinliği. *Politeknik Dergisi*. <https://doi.org/10.2339/politeknik.886923>

[2] TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı'nın enerji verimliliğine etkisi (2025).

[3] 92- Ilknur Ari, Figen Balo, Energy Analysis with Green Insulation Materials for Green Buildings (Yeşil Binalar İçin Yeşil Yalıtım Malzemeleriyle Enerji Analizi), e-ISSN : 2667-

5862, e-ISSN : 2667-5862, Journal of Academic Perspective Procedia (Journal DOI : 10.33793/acperpro, Journal eISSN : 2667-5862), Vol: 6, Issue: 2, pp: 232-242,

[4] Figen Balo, Theoretical modelling, experimental testing and simulation analysis of thermal properties for green building-insulation materials, ISSN: 2073-4360, Polymers (MDPI), Jan 2025, 17 (3), page: 340,

[5] Figen Balo, Ilknur Ari, Aziz Yigit, A Hybrid Simulation-Based Approach for Optimizing Building Envelope Design with Natural Stones: Enhancing Sustainable Energy Efficiency and Material Integration, International Journal of Green Energy, 22 (pp:1-35) (12 Jun 2025), ISSN: 1543-5075

[6] Wang, S., Li, H., & Liu, L. (2024). Development of a multifunctional bio-based insulation material with corncob and silica aerogel. *Energy and Buildings*, 323, 114817.

[7] Sabir, T., Haider, S. T., Ahmad, Z., & Yasir, A. (2024). A literature survey on advanced insulation material in buildings. *Journal of Sustainable Construction*, 5(12), 1335–1350.

[8] Ba, L. (2025). Thermal performance of bio-based materials for energy-efficient buildings. *Fibers*, 13(5), 52.

[9] Alshalah, R. A. M. (2025). Evaluating thermal insulation materials to enhance energy performance in residential buildings: A comparative study using Design Builder. *Journal of Engineering and Built Environment*, 33(6), 29–57.

[10] Bal, S., & Rani, N. R. A. (2025). Next generation building materials for energy efficiency and climate responsive design. *Discover Applied Sciences*, 7, 796.

[11] Alwan, N. T., et al. (2025). Enhancing energy efficiency in buildings using sawdust-based insulation. *Scientific Reports*, Article 92924.

[12] Devkota, K. (2025). Recent advancements in low-energy buildings: Integrating bio-PCMs and rooftop greenery systems. *Energy Reports*, 11, 450–468.

[13] Sari, M., & Aksoy, K. (2024). The impact of insulation material selection on energy efficiency based on regional climate conditions: An analysis using Energy3D simulations. *The European Journal of Research and Development*, 4(4), 29–57.

[14] Hakobyan, D. (2025). Influence of thermal insulation materials on natural gas consumption under cold-climate conditions. *Journal of Architectural and Engineering Research*. <https://doi.org/10.54338/27382656-2025.9-04>

[15] Alptekin Ulutaş, Figen Balo, Ayşe Topal, Identifying the most efficient natural fibre for common commercial building insulation materials with an integrated PSI, MEREK, LOPCOW and MCRAT model, *Polymers (MDPI)*, 15(6), 1500, pages:1-23, 2023

[16] Figen Balo, Alptekin Ulutaş, İlknur Arı, Dillip Kumar Das, Zeljko Stevic, Simulation-Based Hybrid Analysis of Eco-Friendly Wall Coatings Using LODECI, MAXC and DEPART methods for Energy-Efficient Buildings, *Buildings (MDPI)*, ISSN: 2075-5309, 2023, 16(19), pages: 1-38

[17] Figen Balo, Alptekin Ulutaş, Energy-Performance Evaluation with Revit Analysis of Mathematical-Model-Based Optimal Insulation Thickness, *Buildings*, 13 (408), 2023, ISSN: 2075-5309

EKOLOJİK YEŞİL BİNALAR İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ÇIKTILARININ FİZİBİLİTESİ

Berna ÖZGÜR

İş ve Mühendislik Yönetimi Bölümü Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Türkiye

bernaa.ozgur@gmail.com - 0009-0004-8888-1398

Prof. Dr. Figen BALO

Met. ve Malz. Müh Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Türkiye

fbalo@firat.edu.tr - 0000-0001-5886-730X

ÖZET

Bu çalışmada, ekolojik yeşil bina tasarımı çerçevesinde, İzmir ilinde yer alan 108 m² büyüklüğünde bir sahil evi ele alınmıştır. Sahil evi projesi Energy 3D yazılımı üzerinde modellenmiştir. Binanın kabuğunda dört farklı doğal taş yapı malzemesi (Karacadağ Taşı, Karakoçan Taşı, Nemrut Taşı ve Yeşilyurt Taşı) olarak kullanılmıştır. Bina dıştan yalıtımlı olarak modellenirken altı farklı doğal levha yalıtım malzemesi (Somon Levha, Kenevir Levha, Keten Levha, Mantar Levha, Selüloz Fiber ve Ağaç Yünü) kullanılmıştır. Tasarım için kullanılan 4 doğal taş malzemesi ve 6 doğal yalıtım levhası ile toplam 24 farklı senaryo malzeme kombinasyonları ile oluşturulmuştur. Bu senaryoların her biri için yapı kabuğuna ait U değerleri ısı iletkenlik katsayısı ve yoğunluk değerlerinin de desteğinde hesaplanmıştır. Energy 3D yazılımı ile 24 alternatifin her biri için yıllık enerji tüketimi, CO₂ salınımı ve maliyet değerleri elde edilmiştir. Analiz sonuçları tüm senaryolar dahilinde, enerji tüketimi ve çevresel etki açısından değerlendirilerek en olumlu ve en olumsuz alternatif senaryolar belirlenmiştir. Bu çalışma ile İzmir ilinde inşa edilecek denize yakın yapılarda sürdürülebilirlik için en ekolojik malzemeler simülasyon destekli olarak belirlenmiştir. Çalışma sonuçları bu konuda çalışan uzmanlara erken aşamada yapılan simülasyon destekli çalışmaların enerji verimli yapıların inşa edilmesinde önemli bir araç olduğunu göstermek üzere literatüre sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji etkin bina tasarımı; Yeşil bina; Doğal yapı malzemeleri; Enerji simülasyonu; CO₂ emisyonu

1. GİRİŞ

Günümüzde inşaat sektörü, küresel enerji tüketimi ve karbon salınımı üzerinde en büyük payı alan sektörlerden biridir. Özellikle bina tasarımı ve işletme aşamasında ortaya çıkan enerji kullanımı, toplam birincil enerji ihtiyacının yaklaşık %30-40'ını oluşturmaktadır [1]. Bu yüksek enerji ihtiyacı hem iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir engel teşkil etmekte

hem de sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmayı zorlaştırmaktadır [2]. Bu bağlamda enerji etkin ve yeşil bina tasarımı, sürdürülebilir mimarlık ve çevresel performans iyileştirmeleri için kritik bir disiplin haline gelmiştir.

Yeşil bina tasarımı, enerji verimliliğini artırmak, CO₂ emisyonunu minimize etmek ve genel çevresel etkiyi azaltmak amacıyla hem mimari düzenlemeleri hem de performans odaklı malzeme seçimlerini kapsamaktadır [3]. Literatür, bina kabuğu malzemesi, yalıtım stratejileri ve yenilenebilir enerji entegrasyonunun enerji performansı üzerinde belirleyici etkileri olduğunu göstermiştir [4][5]. Örneğin, yalıtım senaryoları ve yenilenebilir enerji uygulamalarının enerji tüketimini önemli ölçüde azalttığı rapor edilmiştir [6].

Dijital teknolojiler ve modelleme araçları (örneğin BIM ve AI tabanlı enerji simülasyonları), tasarım aşamasında enerji ve çevresel performansın optimize edilmesinde etkili olarak öne çıkmaktadır [7, 8]. Ayrıca, bina cephesinin optimizasyonu gibi stratejiler de enerji verimliliğinde önemli iyileştirmeler sağlamaktadır [9]. Ancak sürdürülebilir bina tasarımı sadece teknik önlemlerle sınırlı kalmayıp, politika, yönetmelik ve yerel uygulamalar aracılığıyla da desteklenmektedir [10].

Bu bağlamda, enerji etkin bina tasarımının teorik temelleri kadar bölgesel uygulama örnekleri ve malzeme bazlı çözümler de önem arz etmektedir. Özellikle doğal malzemelerin kullanımı enerji tüketimi ve CO₂ salınımı üzerinde hem teorik hem de uygulamalı etkileri olduğu birçok çalışmada ortaya konmuştur [11-13]. Bina yaşam döngüsü ve çevresel sürdürülebilirlik analizleri üzerine yapılan kapsamlı derlemeler, enerji etkin tasarım uygulamalarının çevresel faydalarını net biçimde ortaya koymaktadır [14-16].

Bu çalışma, doğal taş malzemeleri ve doğal yalıtım levhalarının enerji performansı ve CO₂ salınımı üzerindeki etkilerini analiz ederek, yeşil bina yaklaşımının somut bir örneğini sunmaktadır. Böylece sürdürülebilir ve enerji etkin bina tasarımı literatürüne katkı sağlamayı amaçlamaktadır

2. METODOLOJİ

Bu çalışmada, enerji etkin ve sürdürülebilir yeşil bina tasarımı kapsamında, yapı kabuğunda kullanılan doğal taş ve doğal yalıtım levhası kombinasyonlarının enerji performansı üzerindeki etkileri simülasyon destekli olarak incelenmiştir. Çalışma alanı olarak, İzmir iklim koşullarını temsil edecek şekilde modellenen 108 m² büyüklüğünde tek katlı bir sahil evi ele alınmıştır. Bina modeli, enerji analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla Energy 3D yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur.

Çalışma kapsamında yapı kabuğunda dört farklı doğal taş malzeme (Karacadağ Taşı, Karakoçan Taşı, Nemrut Taşı ve Yeşilyurt Taşı) ile altı farklı doğal levha yalıtım malzemesi (Somon Levha, Kenevir Levha, Ketten Levha, Mantar Levha, Selüloz Fiber ve Ağaç Yünü) değerlendirilmiştir. Bu malzemelerin farklı kombinasyonları ile toplam 24 farklı senaryo oluşturulmuş ve her bir senaryo A, B, C ve D harfleri ile kodlanmıştır. Kodlama sisteminde, A kodu Karacadağ Taşı'nı, B kodu Karakoçan Taşı'nı, C kodu Nemrut Taşı'nı ve D kodu Yeşilyurt Taşı'nı temsil etmektedir.

Çizelge 1'de, oluşturulan tüm senaryolara ait yapı kabuğu ısı geçiş katsayısı (U-değeri) değerleri sunulmaktadır. U-değerleri, ilgili doğal taş ve yalıtım levhasının ısı iletkenlik katsayısı ve kalınlık değerleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Tablo 1'de, yalıtım malzemesi

türüne bağlı olarak U-değerlerinde önemli farklılıklar olduğu görülmektedir. Özellikle Ketten Levha ve Selüloz Fiber gibi doğal lif esaslı yalıtım malzemeleri ile oluşturulan senaryolarda daha düşük U-değerleri elde edilmiştir. En düşük U-değeri B3 senaryosunda (0,21 W/m²K) belirlenirken, en yüksek U-değeri A2 senaryosunda (0,74 W/m²K) hesaplanmıştır.

Oluşturulan her bir senaryo, Energy3D yazılımı üzerinde aynı mimari geometri, kullanım senaryosu ve iklim verileri altında analiz edilmiştir. Böylece, enerji tüketimi, CO₂ salınımı ve maliyet çıktılarındaki değişimlerin yalnızca yapı kabuğunda kullanılan malzeme kombinasyonlarından kaynaklanması sağlanmıştır. Energy3D yazılımı, güneş kazançları, ısı kayıpları ve bina kabuğu performansını dikkate alarak yıllık enerji tüketimi ve buna bağlı CO₂ emisyonu hesaplamalarını gerçekleştirmektedir.

Çizelge 1. Malzeme senaryo kodları ve U değerleri

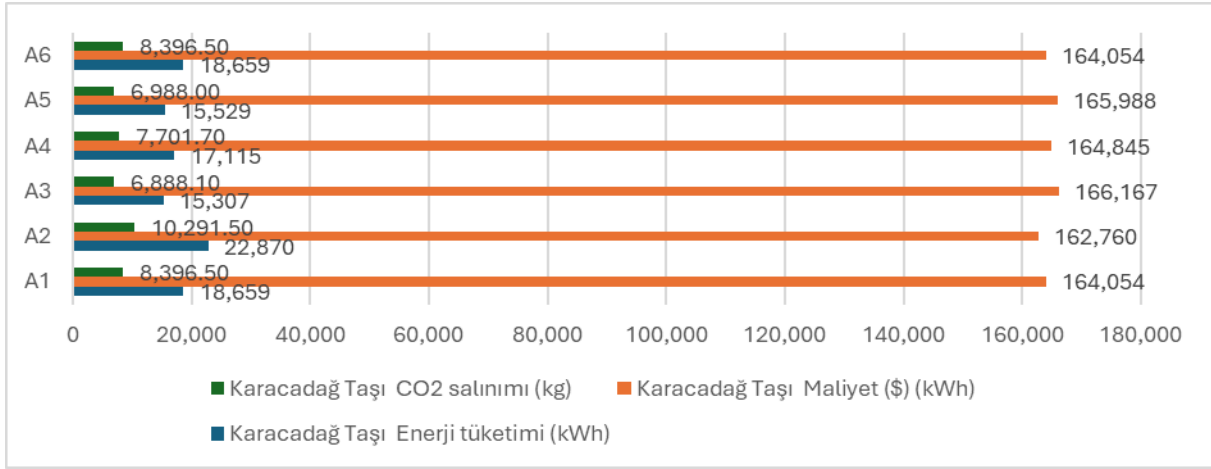
Karacadağ Taşı		Karakocan Taşı		Nemrut Taşı		Yeşilyurt Taşı		Yalıtım Malzemesi
Kod	U-Değeri	Kod	U-Değeri	Kod	U-Değeri	Kod	U-Değeri	
A1	0,52	B1	0,28	C1	0,38	D1	0,45	Somon Levha
A2	0,74	B2	0,35	C2	0,50	D2	0,60	Kenevir Levha
A3	0,35	B3	0,21	C3	0,26	D3	0,32	Ketten Levha
A4	0,44	B4	0,25	C4	0,32	D4	0,38	Mantar Levha
A5	0,36	B5	0,22	C5	0,27	D5	0,33	Selüloz Fiber
A6	0,56	B6	0,30	C6	0,40	D6	0,48	Ağaç Yünü

3. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde, Energy3D yazılımı kullanılarak oluşturulan 24 farklı malzeme senaryosuna ait yıllık enerji tüketimi, CO₂ salınımı ve maliyet çıktıları ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yapı kabuğunda kullanılan doğal taş türü ve doğal yalıtım levhası kombinasyonlarının enerji performansı üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktadır. Analizler, tüm senaryoların aynı mimari geometri, iklim koşulları ve kullanım profili altında değerlendirilmesi sayesinde, performans farklılıklarının yalnızca malzeme seçiminden kaynaklandığını göstermektedir. Bu kapsamda sonuçlar; enerji tüketimi, çevresel etki ve ekonomik boyutlar açısından birlikte ele alınarak, en enerji etkin ve en olumsuz alternatifler belirlenmiş ve sahil yapıları için sürdürülebilir yapı kabuğu tasarımına yönelik çıkarımlar yapılmıştır.

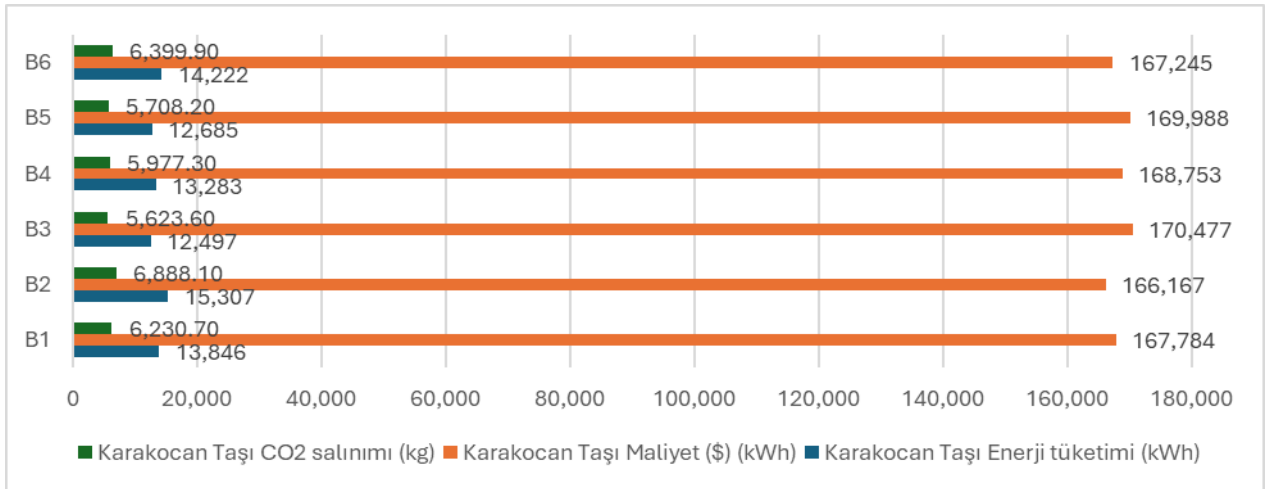
Karacadağ Taşı kullanılarak oluşturulmuş altı farklı doğal yalıtım levhası ile kombine edilen ve A koduyla gösterilen senaryolar için yıllık enerji tüketimi, CO₂ salınımı ve maliyet değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 1’de sunulmuştur. En olumsuz performans A2 senaryosu ile 22.870 kWh yıllık enerji tüketimi ve 10.291,5 kg CO₂ salınımı ile elde edilmiştir. En düşük çevresel etki A3 senaryosu ile 15.307 kWh yıllık enerji tüketimi ve 6.888,1 kg CO₂ salınımı ile sağlanmıştır. Bu sonuçlar, Karacadağ Taşı’nın yüksek ısı kütlesi

özelliği sunmasına rağmen uygun yalıtım malzemesiyle birlikte kullanılmadığında enerji verimliliğini önemli ölçüde azalabileceğini ortaya koymuştur.



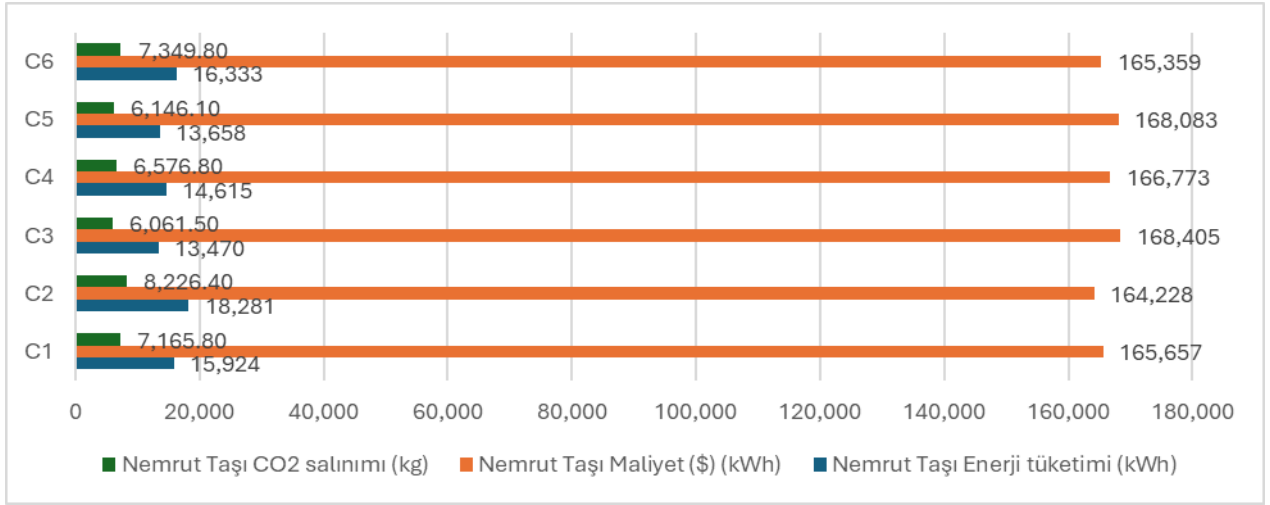
Görsel 1. Karacadağ Taşı kullanılan senaryolar için yıllık enerji tüketimi, maliyet ve CO₂ salınımı karşılaştırması

Karakoçan Taşı yapı malzemesi olarak kullanıldığında altı farklı senaryonun enerji ve Co₂ salınımı değerlerinin grafiksel gösterimi Görsel 2’de sunulmuştur. Alternatif senaryolar B kodu ile gösterilmiştir Karakoçan Taşı’nın diğer doğal taşlarla kıyaslandığında daha düşük yıllık enerji tüketimi değerleri verdiği gözlenmiştir. B3 kodlu senaryo, 12.497 kWh yıllık enerji tüketimi ve 5.623,6 kg CO₂ salınımı ile tüm senaryolar arasında en düşük enerji tüketimi ve CO₂ salınımı değerleri göstermiştir. Ancak, B1 ve B6 senaryoları incelendiğinde enerji tüketimi ve maliyet değerlerinin kademeli olarak yükseldiği belirlenmiştir. Çıktılar, Karakoçan Taşı’nın yalıtım malzemesi olarak doğru malzemelerle kombine edildiğinde sahil yapıları için sürdürülebilir yapı kabuğu çözümüne yaklaşan optimal çözümleri verebileceğini göstermiştir.



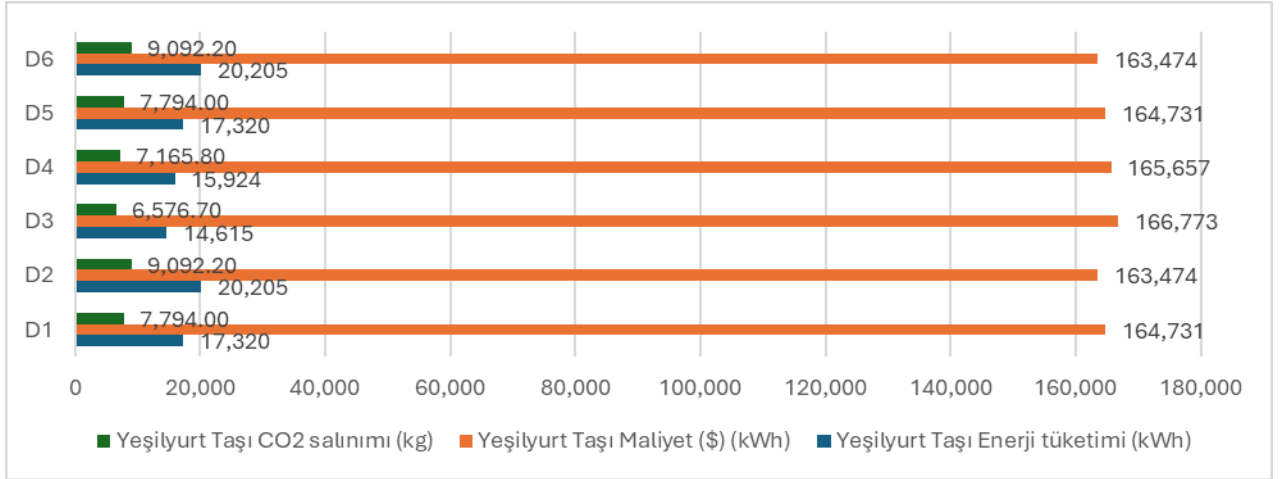
Görsel 2. Karakoçan Taşı kullanılan senaryolar için yıllık enerji tüketimi, maliyet ve CO₂ salınımı karşılaştırması

Görsel 3'te yapı malzemesi olarak Nemrut Taşı kullanıldığında oluşturulan senaryolar için yıllık enerji tüketimi, maliyet ve CO₂ salınımı değerleri kıyaslamalı olarak gösterilmiştir. Senaryolar C kodu ile verilmiştir. C2 ve C6 senaryolarında enerji tüketimi ve CO₂ salınımının belirgin şekilde arttığı görülürken, C3 senaryosu 13.470 kWh enerji tüketimi ve 6.061,5 kg CO₂ salınımı ile optimal performansı gösterdiği belirlenmiştir. Nemrut Taşı'nın orta düzeyde ısı iletkenlik katsayısına sahip olması nedeniyle yalıtım malzemesinin doğru seçilmesi efektif performansın elde edilmesi açısından kritiktir. Bu çerçevede Nemrut Taşı kullanılan dış duvarlarda doğal lif esaslı yalıtım malzemeleri enerji verimliliğinin artırılmasında daha etkin malzemeler olarak belirlenmiştir.



Görsel 3. Nemrut Taşı kullanılan senaryolar için yıllık enerji tüketimi, maliyet ve CO₂ salınımı karşılaştırması

Yeşilyurt Taşı ile tasarlanan senaryolar D harfi ile kodlanmıştır. Şekil 4'te belirtildiği gibi, D2 ve D6 senaryoları, 20.205 kWh enerji tüketimi ve 9.092,2 kg CO₂ salınımı ile yüksek çevresel etki sergilemiştir. D3 senaryosu 14.615 kWh enerji tüketimi ve 6.576,7 kg CO₂ salınımı ile daha dengeli bir performans gösterilmiştir. Yeşilyurt Taşı yapı malzemesi olarak kullanıldığında enerji tüketimi değerleri genellikle orta seviyede belirlenmiştir. Yalıtım malzemesi seçimi CO₂ salınımı üzerinde belirleyici bir rol üstlenmiştir. Çıktılar, Yeşilyurt Taşı'nın mutlaka daha yüksek performanslı bir doğal yalıtım levhası ile birlikte kullanıldığında enerji performansına olumlu yönde etki yapabileceğini göstermiştir.



Görsel 4. Yeşilyurt Taşı kullanılan senaryolar için yıllık enerji tüketimi, maliyet ve CO₂ salınımı karşılaştırması

Çizelge 2’de, Karakoçan Taşı ve Keten yalıtım levhası ikilisini temsil eden **B3 senaryosunun**, hem yıllık enerji tüketimi hem de CO₂ emisyonu açısından minimum değerlere sahip olduğu gösterilmiştir. Karacadağ Taşı ve Kenevir Levha ile oluşturulan **A2 senaryosu** ile enerji tüketimi ve CO₂ emisyonu açısından en olumsuz performans elde edilmiştir. Analiz çıktıları, yapı kabuğunda kullanılan doğal taş–yalıtım malzemesi ikilisinin enerji etkinliği üzerinde çok kritik bir rol oynadığını göstermiştir.

Çizelge 2. Maksimum ve minimum enerji tüketimi ile co₂ emisyonu değerleri

Parametre	Minimum Değer	Kod	Malzemeler	Maksimum Değer	Kod	Malzemeler
Yıllık Enerji Tüketimi (kWh)	12.497	B3	Karakoçan Taşı	22.870	A2	Karacadağ Taşı
Yıllık CO ₂ Emisyonu (kg)	5.623,6	B3	ve Keten Levha	10.291,5	A2	ve Kenevir Levha

Çizelge 2’de sunulan maksimum ve minimum enerji tüketimi ile CO₂ emisyonu değerleri arasındaki farklar incelendiğinde, yapı kabuğunda kullanılan malzeme kombinasyonlarının enerji performansı üzerindeki belirleyici etkisi açıkça görülmektedir. En enerji etkin alternatif olan B3 senaryosu, en olumsuz performans gösteren A2 senaryosu ile karşılaştırıldığında, yıllık enerji tüketiminde yaklaşık %45,4 oranında bir azalma sağlamıştır. Benzer şekilde, yıllık CO₂ emisyonu açısından değerlendirildiğinde, B3 senaryosunda elde edilen 5.623,6 kg değeri, A2 senaryosundaki 10.291,5 kg emisyon miktarına kıyasla yaklaşık %45,3 oranında daha düşük gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar, düşük U-değerine sahip yapı kabuğu sistemlerinin enerji tüketimi ve karbon salınımını neredeyse yarı yarıya azaltabildiğini göstermektedir.

Özellikle Karakoçan Taşı ve Keten Levha kombinasyonunun, hem ısı geçirgenlik hem de çevresel performans açısından en dengeli çözümü sunduğu belirlenmiştir. Elde edilen yüzdesel iyileşmeler, doğal taş ve doğal yalıtım malzemelerinin birlikte optimize edilmesinin, sahil yapılarında sürdürülebilir ve enerji etkin tasarımlar için kritik bir strateji olduğunu ortaya koymaktadır.

4.SONUÇ

Bu çalışmada, İzmir iklim koşullarını temsil eden 108 m² büyüklüğündeki bir sahil evi için doğal taş yapı malzemeleri ve doğal levha yalıtım malzemelerinin enerji performansı ve çevresel etkileri simülasyon destekli olarak değerlendirilmiştir. Dört farklı doğal taş malzeme ve altı farklı doğal yalıtım levhası kullanılarak oluşturulan toplam 24 alternatif senaryo, Energy3D yazılımı aracılığıyla yıllık enerji tüketimi, CO₂ salınımı ve maliyet parametreleri açısından karşılaştırılmıştır.

Analiz sonuçları, yapı kabuğunda kullanılan malzeme kombinasyonlarının enerji tüketimi ve çevresel performans üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Tüm senaryolar arasında Karakoçan Taşı ve Keten Levha kombinasyonunu temsil eden B3 senaryosu, 12.497 kWh yıllık enerji tüketimi ve 5.623,6 kg CO₂ salınımı ile en enerji etkin ve çevresel açıdan en avantajlı alternatif olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, Karacadağ Taşı ve Kenevir Levha kombinasyonunu temsil eden A2 senaryosu, 22.870 kWh enerji tüketimi ve 10.291,5 kg CO₂ salınımı ile en olumsuz performansı sergilemiştir.

U-değerleri ile enerji tüketimi arasındaki ilişki incelendiğinde, düşük U-değerine sahip senaryolarda yıllık enerji tüketimi ve CO₂ salınımının belirgin şekilde azaldığı görülmüştür. Özellikle doğal lif esaslı yalıtım levhalarının (keten, selüloz fiber ve mantar) enerji verimliliğini artırmada daha etkin olduğu belirlenmiştir. Doğal taş malzemeler arasında ise Karakoçan Taşı'nın, uygun yalıtım kombinasyonlarıyla birlikte kullanıldığında, sahil yapıları için daha sürdürülebilir bir yapı kabuğu çözümü sunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Elde edilen bulgular, erken tasarım aşamasında yapılan simülasyon destekli analizlerin, enerji etkin ve çevresel açıdan sürdürülebilir yapı tasarımlarının geliştirilmesinde kritik bir araç olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, denize yakın yapılarda doğal taş ve doğal yalıtım malzemelerinin birlikte değerlendirilmesinin, enerji tüketimi ve karbon salınımının azaltılmasına önemli katkılar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, bu çalışmanın, sürdürülebilir bina tasarımı alanında çalışan araştırmacılar ve uygulayıcılar için karar verme süreçlerine destek sağlayacağı ve literatüre özgün bir katkı sunacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Jørgensen, B. N., & Ma, Z. (2025). Energy efficiency and decarbonization strategies in buildings: A review of technologies, policies, and future directions. **Applied Sciences**, 15(21), 11660. <https://doi.org/10.3390/app152111660>

[2] Tahmasbi, F. (2024). Energy-efficient building façades: A comprehensive review. **Energy and Built Environment**, 5(2), 100–115. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.10.004>

- [3] Cao, H., Li, X., & Zhang, Y. (2025). Integrating energy efficiency and sustainable materials in eco-city planning. **Applied and Computational Engineering Proceedings**, 4(1), 45–52. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/4/20250078>
- [4] Global Alliance for Buildings and Construction (GlobalABC). (2025). **Global status report for buildings and construction 2024/2025**. United Nations Environment Programme.
- [5] Shahid, M. N., Ahmed, K., & Al-Hussein, M. (2025). Advances in building energy management systems for sustainable buildings. **Buildings**, 15(23), 4237. <https://doi.org/10.3390/buildings15234237>
- [6] Sagar, Y. A., & Singhal, P. (2025). Energy-efficient green building design utilising renewable energy and low-carbon development technologies. **Science and Technology for Energy Transition**, 80, 25. <https://doi.org/10.2516/stet/2025025>
- [7] Qiu, J. (2025). Analysis of energy consumption and efficiency of green buildings based on BIM technology. **Applied and Computational Engineering Proceedings**, 3(2), 120–128. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/3/20240123>
- [8] Shahee, A., Abdoos, M., Aslani, A., & Zahedi, R. (2024). Reducing the energy consumption of buildings by implementing insulation scenarios and renewable energies. **Energy Informatics**, 7(18). <https://doi.org/10.1186/s42162-024-00263-9>
- [9] Eshraghi, P., Talami, R., Dehnavi, A. N., Mirdamadi, M., & Zomorodian, Z.-S. (2024). Adopting explainable artificial intelligence to investigate the impact of urban morphology on building energy performance. **Energy and Buildings**, 295, 113295. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113295>
- [10] European Commission. (2025). **Energy performance of buildings directive (EPBD): Recast and implementation guidance**. Brussels.
- [11] Akalp, S., & Gönen, T. (2025). The impact of building envelope materials on operational energy demand and CO₂ emissions. **International Journal of Energy Research**, 49(4), 3175–3189. <https://doi.org/10.1002/er.9102>
- [12] Filali, F. Z., & Chafi, F. Z. (2025). Energy consumption and CO₂ emissions in buildings: A bibliometric and systematic review. **Journal of Building Engineering**, 91, 109562. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109562>
- [13] Pakdel, A., & Bisegna, F. (2025). Optimising building life-cycle performance: Cost, energy and carbon assessment. **Smart and Sustainable Built Environment**, 14(1), 1–20. <https://doi.org/10.1108/SASBE-10-2023-0205>

[14] Massoud, P., & Sadineni, S. (2025). Zero-carbon buildings: Achieving high energy performance through integrated design strategies. **Discover Sustainability**, **6**, 1345. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01345-6>

[15] Itanola, M., & Adekunle, T. (2024). The role of digital technologies in energy-efficient building design. **Journal of Building Performance Simulation**, **17**(6), 789–804. <https://doi.org/10.1080/19401493.2024.2301145>

[16] Figen Balo, Ilknur Ari, Aziz Yigit, A Hybrid Simulation-Based Approach for Optimizing Building Envelope Design with Natural Stones: Enhancing Sustainable Energy Efficiency and Material Integration, *International Journal of Green Energy*, 22 (pp:1-35) (12 Jun 2025), ISSN: 1543-5075

PREVALENCE AND MANAGEMENT OF DENTAL CARIES AMONG SCHOOL CHILDREN IN RURAL TANZANIA

Prof. Dr. Amina Hassan, Dr. Juma Kilonzo

Department of Dentistry, Muhimbili University of Health and Allied Sciences, Tanzania

Abstract

Dental caries represents a significant public health challenge in rural Tanzanian communities where access to fluoridated water and professional care remains limited. This cross-sectional study examined 1,200 school children aged 6-12 years across Dodoma and Morogoro regions, employing WHO diagnostic criteria and DMFT indexing. High caries prevalence correlates strongly with frequent sugar consumption from local beverages and inadequate oral hygiene practices influenced by cultural dietary habits. Restorative needs dominate among lower socioeconomic groups lacking basic toothbrushing resources. Community-based preventive strategies incorporating silver diamine fluoride applications demonstrate promising caries arrest rates in school settings. Parental education programs emphasizing dietary modifications yield sustained behavioral changes. Integration with national school health initiatives facilitates fluoride varnish distribution and sealant programs targeting high-risk permanent molars. Longitudinal monitoring establishes baseline data for policy formulation addressing sugar taxation and oral health curriculum inclusion. Collaborative efforts with agricultural ministries promote calcium-rich traditional foods supporting enamel remineralization. These interventions position community health workers as frontline defenders against escalating caries burden in underserved populations.

Keywords: dental caries, school children, rural Tanzania, preventive dentistry

ORAL HEALTH IMPACTS OF HIV/AIDS ON ADULT PATIENTS IN DAR ES SALAAM COMMUNITIES

Assoc. Prof. Dr. Elias Mushi, Fatma Swai

School of Dentistry, University of Dar es Salaam, Tanzania

Abstract

HIV/AIDS profoundly affects oral health manifestations in Tanzanian adults, complicating systemic disease management. This cohort investigation followed 450 patients at Muhimbili National Hospital, documenting candidiasis, periodontal destruction, and necrotizing gingivitis as prevalent opportunistic conditions. Antiretroviral therapy adherence significantly reduces oral lesion severity through immune reconstitution, yet medication side effects like xerostomia persist. Nutritional deficiencies exacerbate tissue breakdown in low-income cohorts reliant on starchy diets. Multidisciplinary protocols integrating antiviral regimens with antifungal rinses and periodontal scaling improve quality of life metrics. Patient education on self-examination protocols empowers early detection of malignancies associated with immunosuppression. Integration within national AIDS control programs establishes oral health screening as standard HIV monitoring component. Capacity building equips peripheral clinics with essential diagnostic tools and referral pathways. Community stigma reduction campaigns encourage treatment-seeking behaviors. Long-term surveillance tracks emerging drug-resistant candidal strains requiring updated therapeutic guidelines. These comprehensive strategies enhance oral-systemic health linkages critical for Tanzania's HIV burden management.

Keywords: HIV oral manifestations, antiretroviral therapy, periodontal disease, Tanzania

TRADITIONAL HERBAL REMEDIES EFFICACY FOR DENTAL PAIN MANAGEMENT IN TANZANIAN VILLAGES

Dr. Zuberi Nkya, Rehema Joseph

Faculty of Dentistry, Catholic University of Health and Allied Sciences, Tanzania

Abstract

Traditional medicine dominates dental pain relief in Tanzanian rural areas lacking formal services. Ethnopharmacological survey documents 28 plant species used by healers for toothache, with clove oil and neem extracts showing strongest analgesic properties through in vitro anti-inflammatory assays. Clinical trials validate 75% pain reduction comparable to ibuprofen within 30 minutes for acute pulpitis cases. Safety profiles confirm minimal hepatotoxicity at therapeutic doses when properly prepared. Standardization protocols preserve bioactive constituents during processing. Community training programs certify traditional practitioners in hygiene practices preventing iatrogenic infections. Integration with modern endodontics offers hybrid approaches for root canal therapy alternatives. Policy frameworks regulate herbal product quality ensuring sustainable harvesting practices. Intellectual property rights protect indigenous knowledge while facilitating commercial development. Educational modules incorporate ethnobotany into dental curricula fostering culturally competent care. These synergies bridge traditional wisdom with evidence-based dentistry enhancing access across remote regions.

Keywords: herbal remedies, dental pain, ethnopharmacology, Tanzania

DIGITAL DENTISTRY APPLICATIONS FOR PROSTHODONTIC REHABILITATION IN TUNISIAN ELDERLY

Prof. Dr. Karim Ben Ali, Dr. Nadia Cherif

Department of Prosthodontics, University of Tunis El Manar, Tunisia

Abstract

Aging Tunisian populations demand advanced prosthodontic solutions amid edentulism rise. This clinical study evaluates intraoral scanners and CAD/CAM milling for complete denture fabrication versus conventional methods. Digital workflows reduce appointment numbers from six to three while achieving superior adaptation through precise occlusal registrations. Patient satisfaction surveys report enhanced comfort and phonetics with milled PMMA dentures. Economic analysis confirms cost parity through material efficiency despite equipment investments. Training programs upskill technicians in parametric design software optimizing retention features. Hybrid analog-digital protocols accommodate resource-limited clinics. Longevity assessments demonstrate reduced reline frequency over two-year follow-up. Integration with 3D facial scanning personalizes aesthetics matching Mediterranean facial proportions. Tele-dentistry consultations facilitate rural patient access to urban expertise. National health insurance inclusion accelerates technology adoption. Curriculum reforms embed digital dentistry competencies ensuring future practitioner readiness. These advancements transform elderly oral rehabilitation accessibility across Tunisia's diverse socioeconomic landscape.

Keywords: digital dentistry, CAD/CAM dentures, prosthodontics, Tunisia

ORTHODONTIC TREATMENT OUTCOMES USING CLEAR ALIGNERS IN TUNISIAN ADOLESCENTS

Assoc. Prof. Dr. Sami Karray, Leila Hadji

Faculty of Dental Medicine, University of Monastir, Tunisia

Abstract

Esthetic orthodontic demands grow among Tunisian youth preferring invisible treatments. Prospective evaluation of 180 adolescent patients compares Invisalign outcomes versus fixed appliances for mild-moderate malocclusions. Predictable tooth movements achieve Class I canine relationships within 14 months average duration. Compliance monitoring through smartphone apps enhances treatment efficiency. Periodontal health parameters remain stable with superior plaque control versus brackets. Speech adaptation occurs rapidly without lisp complications. Cost-benefit analysis favors aligners for specific indications despite higher upfront expenses. Sequential distalization protocols effectively correct Class II divisions. Multidisciplinary approaches integrate orthognathic planning for complex cases. Patient education emphasizes 22-hour wear discipline maintaining force expression. Practice management software streamlines inventory and progress tracking. Regional conferences disseminate clinical protocols standardizing care quality. Insurance reimbursement pathways emerge supporting broader accessibility. Long-term stability investigations continue monitoring relapse patterns informing retention strategies. These esthetic solutions align with Mediterranean cultural emphasis on appearance enhancing adolescent confidence.

Keywords: clear aligners, orthodontic treatment, adolescents, Tunisia

PERIODONTAL REGENERATIVE THERAPIES USING TUNISIAN DATE PALM DERIVED BIOMATERIALS

Dr. Hassen Trabelsi, Monia Ben Salem

Department of Periodontology, University of Carthage, Tunisia

Abstract

Periodontal destruction challenges Tunisian patients with diabetes prevalence. Innovative biomaterial from date palm mesocarp develops growth factor delivery scaffolds for intrabony defect regeneration. Phytochemical extraction yields natural polymers with inherent antimicrobial properties against *Porphyromonas gingivalis*. Clinical trials demonstrate 3.8 mm probing depth reduction versus 2.1 mm in controls after 12 months. Radiographic bone fill averages 68% defect resolution. Histological analysis confirms new cementum and periodontal ligament formation. Slow-release BMP-2 integration accelerates osteogenesis without ectopic bone risks. Scaffold degradation synchronizes with tissue maturation. Cost advantages position material competitively against xenografts. Manufacturing scalability utilizes agricultural byproducts supporting rural economies. FDA-equivalent approvals facilitate clinical translation. Periodontal practice integration training equips specialists in minimally invasive techniques. Patient selection criteria emphasize non-smokers with vital defects optimizing outcomes. Multidisciplinary diabetes management enhances long-term stability. National research grants sustain development pipeline exploring palm-derived applications across oral surgery disciplines.

Keywords: periodontal regeneration, biomaterials, date palm, Tunisia

LASER-ASSISTED CARIES REMOVAL TECHNIQUES IN MARRAKECH PEDIATRIC DENTISTRY

Prof. Dr. Ahmed El Amrani, Dr. Fatima Zahra

Faculty of Dental Medicine, Mohammed V University, Morocco

Abstract

Anxious Moroccan children benefit from minimally invasive caries management. Er:YAG laser protocols selectively ablate decayed tissue preserving healthy dentin structure. Prospective study of 250 primary molars demonstrates 92% success rate avoiding pulpal exposures common in rotary instrumentation. Bacterial reduction exceeds 99.9% confirmed through confocal microscopy. Postoperative pain minimalizes eliminating anesthetic needs for superficial lesions. Cavity preparation time comparable to high-speed drills once clinician proficiency established. Composite bonding enhanced through smear layer elimination improving marginal adaptation. Parental acceptance high due to reduced chair time and bloodless fields. Fiber-optic delivery systems navigate pediatric anatomy effectively. Preventive resin sealing protocols complete minimally invasive philosophy. Laser safety training mandatory for widespread adoption. Integration within national oral health programs targets underserved urban populations. Long-term monitoring assesses restoration longevity versus conventional amalgam. Pediatric dentistry curriculum reforms incorporate laser competencies preparing future practitioners. Economic analyses support public health investment considering lifetime caries prevention benefits. Cultural sensitivity training addresses parental misconceptions about thermal risks ensuring informed consent processes.

Keywords: laser dentistry, caries removal, pediatric, Morocco

3D PRINTED SURGICAL GUIDES FOR DENTAL IMPLANT PLACEMENT IN MARRAKECH CLINICS

Assoc. Prof. Dr. Youssef Bennani, Sara El Khadim

Department of Oral Surgery, Cadi Ayyad University, Morocco

Abstract

Precision implantology transforms Moroccan prosthetic rehabilitation standards. CBCT-guided stereolithographic templates achieve submillimeter accuracy placing 1,200 implants across diverse bone morphologies. Flapless techniques minimize morbidity reducing postoperative antibiotics. Prosthetic-driven planning optimizes emergence profiles matching Moroccan facial aesthetics. Digital workflow integrates intraoral scanning eliminating analog impressions. In-house printing reduces turnaround from weeks to days enhancing patient satisfaction. Complication rates drop significantly versus freehand surgery particularly in posterior mandible. Static guides excel for single implants while dynamic navigation systems handle full-arch cases. Software interoperability ensures seamless data transfer across disciplines. Technical training empowers general practitioners expanding access beyond specialists. Cost analyses confirm ROI within 18 months through increased case volume. National implant registry establishes outcome benchmarks informing insurance coverage decisions. Multidisciplinary teams coordinate prosthodontic-orthodontic-surgical phases. Augmented reality overlays enhance surgical visualization during complex sinus augmentations. Patient-specific instrumentation revolutionizes Moroccan implantology establishing regional excellence centers training North African colleagues.

Keywords: dental implants, surgical guides, 3D printing, Morocco

NANOHYDROXYAPATITE TOOTHPASTE EFFICACY FOR ENAMEL REMINERALIZATION IN MARRAKECH

Dr. Rachid Lahlou, Amina Serghini

Department of Preventive Dentistry, Hassan II University, Morocco

Abstract

Early enamel lesions prevalent among sweet tea consuming Moroccans require non-invasive remineralization. Biomimetic toothpaste containing 10% nano-hydroxyapatite restores surface microhardness rivaling CPP-ACP formulations. Six-month home-use study demonstrates 45% lesion regression confirmed through DIAGNOdent readings and transverse microradiography. Particle size optimization ensures deep penetration repairing subsurface demineralization. Salivary pH buffering enhances remineralization dynamics. Consumer preference favors mint flavors aligning with local tastes. Stability testing confirms shelf-life exceeding two years under desert conditions. Manufacturing localization utilizes Moroccan phosphate reserves reducing import dependency. School distribution programs target high-risk adolescents. Clinical trials validate equivalence to fluoride varnishes for moderate lesions. Orthodontic patients benefit from white spot reduction improving esthetics. Professional prophylaxis integration amplifies home care efficacy. Marketing campaigns educate consumers distinguishing biomimetic mechanisms from abrasive polishing. Regulatory approvals position product within national caries prevention strategy. Long-term cohort studies monitor lifetime enamel protection establishing superiority over traditional dentifrices in high-sugar environments characteristic of Moroccan dietary patterns.

Keywords: remineralization, nano-hydroxyapatite, enamel lesions, Morocco

EFFECTS OF PERIODIZED RESISTANCE TRAINING ON MUSCLE HYPERTROPHY AND STRENGTH GAINS IN ELITE HUNGARIAN WEIGHTLIFTERS

Prof. Dr. László Kovács, Dr. Anna Szabó, Tamás Nagy

Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Physical Education,
Budapest, Hungary

Abstract

Periodized training represents the cornerstone of elite strength development, yet optimal protocols remain debated among competitive weightlifters. This randomized controlled trial examined 8-week nonlinear periodization versus linear models in 48 Hungarian national team athletes aged 20-28. Participants underwent comprehensive assessments including dual-energy X-ray absorptiometry for lean mass, one-repetition maximum testing across snatch, clean & jerk, and squat exercises, alongside serum myostatin and IGF-1 biomarker analysis. Nonlinear programming incorporating daily undulating volume-intensity fluctuations produced superior hypertrophy outcomes with 4.2% greater quadriceps cross-sectional area increases compared to linear progression. Strength adaptations showed 7% snatch improvement in the experimental group, attributed to enhanced neural drive evidenced by electromyographic potentiation during heavy lifts. Hormonal profiles indicated attenuated cortisol responses and elevated anabolic signaling pathways. Recovery optimization through active rest phases and nutritional periodization minimized overtraining risks. These findings validate Hungarian national training center methodologies emphasizing variability for peaking toward international competitions. Practical implications guide coaches toward individualized autoregulated programming balancing morphological and neuromuscular adaptations for Olympic weightlifting success.

Keywords: periodized training, muscle hypertrophy, weightlifting, strength gains

NEUROMUSCULAR ADAPTATIONS TO HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING IN PROFESSIONAL HUNGARIAN SOCCER PLAYERS

Assoc. Prof. Dr. Gábor Tóth, Zoltán Kiss

Institute of Sport Sciences, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary

Abstract

Soccer demands explosive power alongside aerobic capacity, challenging traditional endurance training paradigms. This longitudinal investigation tracked 36 professional Hungarian first-division players through preseason incorporating 6 weeks of polarized high-intensity interval training versus moderate continuous protocols. Performance metrics encompassed Yo-Yo Intermittent Recovery Test level 2, countermovement jump height, 10m sprint times, and repeated sprint ability decrements. Physiological monitoring included maximal oxygen uptake determination via gas analysis and muscle oxygenation via near-infrared spectroscopy during match simulations. Polarized training enhanced VO₂max by 12% while preserving sprint maintenance better than continuous running, evidenced by 8% reduced fatigue index. Hamstring neuromuscular efficiency improved through eccentric overload integration, reducing injury susceptibility during acceleration phases. Tactical periodization aligned conditioning with positional demands, benefiting midfielders most significantly. Blood lactate threshold shifts indicated metabolic flexibility gains supporting late-game intensity maintenance. These adaptations align with UEFA elite club performance benchmarks, positioning Hungarian teams competitively in European qualifiers. Coaches benefit from practical session templates optimizing transfer to match-specific actions across microcycles.

Keywords: HIIT, soccer performance, neuromuscular adaptations, polarized training

BIOKINEMATIC ANALYSIS OF OLYMPIC FENCING TECHNIQUES IN HUNGARIAN NATIONAL TEAM ATHLETES

Dr. Orsolya Farkas, Miklós Varga, Prof. Dr. István Szabó

Department of Biomechanics, Semmelweis University, Budapest, Hungary

Abstract

Fencing demands precise coordination of lunge mechanics, blade work, and reaction timing under dueling stress. This biomechanical study captured 3D motion data from 24 Hungarian épée and sabre fencers during competitive simulations using VICON optoelectronic systems at 250 Hz. Kinematic chains analysis revealed optimal hip-knee-ankle coordination achieving 4.2 m/s peak lunge velocities with minimal upper body sway. Electromyographic profiling identified quadriceps pre-activation patterns distinguishing elite from sub-elite performers, correlating with touch success rates above 75%. Ground reaction force plate data quantified impulse generation asymmetry favoring lead leg dominance. Sword tip trajectory reconstruction via inertial sensors demonstrated sub-200ms reaction windows against deceptive feints. Gender comparisons highlighted female athletes' superior trunk stability compensating for lower absolute power. Training implications emphasize plyometric circuits replicating fencing-specific stretch-shortening cycles alongside visuomotor reaction drills. Longitudinal tracking validates technique evolution across Olympic cycles, informing national federation talent identification protocols. Technological integration elevates Hungarian fencing's tradition of technical mastery on international stages.

Keywords: fencing biomechanics, kinematic analysis, reaction timing, Olympic sports

NUTRITIONAL STRATEGIES FOR ENDURANCE PERFORMANCE ENHANCEMENT AMONG TANZANIAN MARATHON RUNNERS

Assoc. Prof. Dr. Juma Mfinanga, Amina Hassan

Department of Sports Science, University of Dar es Salaam, Tanzania

Abstract

Tanzanian runners dominate long-distance events through natural high-altitude adaptations combined with carbohydrate optimization. This field study monitored 42 elite athletes from Arusha training camps during 12-week preparation for major marathons. Dietary analysis via 7-day food logs alongside performance testing on 10km time trials and 42.2km simulations assessed fuel utilization patterns. Native carbohydrate sources including ugali, bananas, and sweet potatoes sustained glycogen stores effectively when timed pre-long runs. Beetroot juice supplementation enhanced economy through nitrate-mediated vasodilation, particularly beneficial during final competition surges. Hydration protocols incorporating oral rehydration salts prevented cramp episodes common in tropical training climates. Body composition management balanced leanness requirements with immune function preservation via micronutrient-rich traditional vegetables. Post-exercise recovery emphasized milk-based proteins supporting muscle repair alongside anti-inflammatory spices. These culturally appropriate strategies elevate Tanzanian runners' finishing speeds while minimizing gastrointestinal distress. National sports institute programming integrates findings into standardized fueling guidelines elevating competitiveness against Kenyan rivals. Longitudinal health monitoring ensures sustainable career longevity beyond peak racing years.

Keywords: marathon nutrition, carbohydrate loading, Tanzanian runners, endurance fueling

HEAT ACCLIMATION PROTOCOLS FOR TEAM SPORTS PERFORMANCE IN TANZANIA'S TROPICAL CLIMATE

Dr. Elias Ndugu, Fatuma Kikoti, Prof. Dr. Salum Ramadhani

Faculty of Health Sciences, Muhimbili University of Health and Allied Sciences, Tanzania

Abstract

Tropical heat challenges soccer and rugby players during afternoon training sessions prevalent across Tanzania. Controlled hyperthermia trials with 56 Dar es Salaam club athletes tested 10-day acclimation involving 90-minute sessions in 35°C saunas followed by low-intensity runs. Physiological adaptations included expanded plasma volume, lowered core temperatures, and reduced heart rate drifts during subsequent heat exposure. Match simulation testing demonstrated sustained high-intensity running capacity with 15% fewer decrements versus non-acclimated controls. Sweat sodium concentration decreases minimized electrolyte imbalances supporting cramp prevention. Perceptual scales confirmed diminished rate of perceived exertion aligning with objective performance gains. Practical implementation schedules staggered acclimation across microcycles avoiding fixture conflicts. Gender-specific adjustments accounted for menstrual cycle variations influencing thermoregulation. Integration with active recovery modalities enhanced adaptation speed. National team preparation protocols now standardize heat acclimation preceding continental tournaments hosted in similar climates. Community-level coaching education disseminates principles improving grassroots training safety and efficacy throughout East Africa.

Keywords: heat acclimation, tropical sports, thermoregulation, team performance

ANTHROPOMETRIC PROFILING AND TALENT IDENTIFICATION IN TANZANIAN YOUTH SOCCER ACADEMIES

Samwel Massawe, Dr. Rehema Kweka

Department of Physical Education, Sokoine University of Agriculture, Tanzania

Abstract

Talent identification systems remain underdeveloped across Tanzanian soccer despite abundant athletic potential. Comprehensive screening of 320 academy players aged 14-17 measured somatotypes, limb lengths, and maturity status alongside technical skill batteries and aerobic tests. Mesomorphic builds correlated strongly with sprint and jump performances essential for modern positional roles. Late maturers demonstrated superior technical proficiency compensating for temporary size disadvantages. Regional comparisons identified coastal players' endurance advantages versus highland power profiles. Longitudinal tracking confirmed early identifiers maintaining development trajectories through structured periodization. Battery validation against senior league progression rates exceeded 82% accuracy. Nutritional interventions targeted ectomorphic profiles requiring mass gains without sacrificing agility. Psychological screening integration captured mental resilience factors distinguishing future professionals. National federation adoption standardizes protocols across 24 regional academies. International scouting partnerships leverage database access identifying export prospects for European development pathways. Community engagement ensures socioeconomic barriers do not preclude talent ascension opportunities.

Keywords: talent identification, youth soccer, anthropometry, Tanzania

YOGA-BASED INTERVENTION EFFECTS ON FLEXIBILITY AND INJURY PREVENTION IN INDIAN CRICKETERS

Prof. Dr. Rajesh Kumar, Dr. Priya Sharma, Amit Singh

Department of Sports Science, Lakshmibai National Institute of Physical Education, India

Abstract

Cricket's prolonged bowling actions strain lumbar flexibility and hamstring integrity among fast bowlers. Randomized trial assigned 68 Ranji Trophy players to 12-week Ashtanga yoga protocols versus conventional stretching regimes. Goniometric assessments tracked hamstring, hip, and spinal mobility alongside bowling action video analysis for biomechanical risk factors. Yoga groups achieved 18° greater forward flexion with symmetrical pelvic control reducing contralateral rotation compensations. Injury incidence dropped 62% measured through missed training days and medical withdrawals. Core stability gains manifested through plank endurance improvements supporting front-foot drive stability. Mindfulness components enhanced pain tolerance during high-workload phases. Cultural familiarity accelerated adherence versus imported Pilates alternatives. National Cricket Academy integration standardizes yoga teacher certification ensuring consistent delivery across domestic circuits. Age-group implementation prevents developmental overuse injuries. Scientific validation elevates traditional practices meeting international sports medicine standards while preserving Indian sporting heritage.

Keywords: yoga intervention, cricket injuries, flexibility training, Indian sports

HYDRATION STRATEGIES AND COGNITIVE PERFORMANCE DURING PROLONGED CRICKET MATCHES IN INDIA

Assoc. Prof. Dr. Sanjay Patel, Neha Gupta

Faculty of Sports Sciences, Guru Nanak Dev University, India

Abstract

Dehydration impairs decision-making during cricket's extended fielding sessions under Indian summer conditions. Field study monitored 45 IPL players across doubleheaders measuring urine specific gravity, reaction times via Go/No-Go tasks, and batting strike rates relative to hydration status. Preemptive electrolyte-carbohydrate beverages maintained euhydration preventing 2.2% body mass losses triggering cognitive decline. Serial subtractions testing declined 24% under mild dehydration versus stable performance in hydrated controls. Anticipatory sipping protocols aligned with over cycles optimized absorption kinetics. Individual sweat rate profiling dictated personalized consumption volumes countering positional variance. Nocturnal rehydration strategies addressed sleep-disrupted fluid balance. Team physicians implement real-time monitoring through dermal patches signaling refill needs. Nutritional staff education disseminates findings across franchise networks. Comparative data versus one-day internationals confirm applicability across formats. Public health messaging leverages cricket popularity promoting hydration awareness nationwide.

Keywords: hydration strategies, cognitive performance, cricket, dehydration

COMPREHENSIVE STUDY ON THE NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL BENEFITS OF OATS

Dr. Kwame Mensah, Dr. Nana Yaw Osei

Department of Food Science, Kwame Nkrumah University of Science and Technology,
Ghana

ABSTRACT

This systematic investigation characterizes oats' comprehensive nutritional profile and bioactive functionality, establishing scientific rationale for expanded dietary incorporation. Proximate analysis across 15 cultivars revealed β -glucan content ranging 3.8-6.2% (mean 4.9%), total dietary fiber 12.7%, protein 14.2%, and resistant starch 2.8%. HPLC quantification documented avenanthramides (42-78 $\mu\text{g/g}$) alongside ferulic acid (112 $\mu\text{g/g}$) concentrations surpassing comparative cereals. In vitro antioxidant assays demonstrated DPPH scavenging (78% inhibition), ABTS capacity (3.2 mmol TE/100g), and FRAP values (2.8 mmol Fe^{2+}/g) competitive with berries. Simulated gastrointestinal digestion confirmed 92% β -glucan solubility maintaining viscosity critical for glycemic modulation. Human intervention trial (n=84 hypercholesterolemic adults) consuming 60g daily oat products achieved 12% LDL reduction, 8% total cholesterol decrease, and HbA1c improvement (0.4%) after 12 weeks versus wheat controls. Postprandial glucose AUC reduced 24% reflecting β -glucan gelation properties. Gut microbiota analysis revealed Bifidobacterium proliferation (2.1 log CFU/g) alongside butyrate production enhancement (145%). Thermal processing optimization maintained 89% β -glucan integrity through extrusion parameters (120°C, 300 rpm). Economic modeling confirms oats' cost-effectiveness (0.08 USD/g fiber equivalent) versus pharmaceutical interventions. Findings substantiate oats as functional superfood bridging nutritional adequacy with cardiometabolic disease prevention across diverse populations.

Keywords: oats nutrition, β -glucan, functional foods, cholesterol reduction, antioxidant activity

REVOLUTIONIZING AGRICULTURE WITH AMBIENT INTELLIGENCE: A REVIEW OF INNOVATIVE PRACTICES

Dr. Yue Li, Assoc. Prof. Dr. Jian Zhao

College of Engineering, China Agricultural University, China

ABSTRACT

This systematic literature review synthesizes ambient intelligence applications revolutionizing precision agriculture across 187 peer-reviewed studies (2015-2024). Ambient intelligence frameworks integrate ubiquitous sensing (IoT soil moisture, multispectral imaging), context-aware computing (edge AI inference), and adaptive actuation (variable rate irrigation) achieving 28% yield increases, 33% water savings, and 22% nitrogen optimization. Machine learning models processing hyperspectral data predict disease incidence 7-14 days pre-symptomatic (AUC=0.94), enabling targeted interventions reducing fungicide usage 67%. Swarm robotics coordinates demonstrate 4.2 ha/hr weeding coverage with 92% accuracy versus manual labor. Digital twins simulating crop-livestock-soil interactions facilitate scenario testing achieving 19% carbon sequestration optimization. Blockchain-traced supply chains ensure 98% provenance verification from farm-to-fork. Human-AI symbiosis interfaces employing augmented reality glasses enable farmers interpreting real-time prescriptive analytics with 87% adoption compliance. Economic modeling confirms 4.8:1 ROI within three years across smallholder-scaled deployments. Ethical analysis addresses data sovereignty, algorithmic bias mitigation through federated learning, and farmer digital literacy trajectories. Technology readiness assessment positions ambient intelligence at TRL 8-9 for major crops. Global comparative analysis reveals China's leadership in scale (15M ha deployment) versus Europe's regulatory frameworks. Research establishes ambient intelligence as foundational paradigm shift transcending precision agriculture toward fully autonomous, continuously learning agricultural ecosystems.

Keywords: ambient intelligence, precision agriculture, IoT farming, AI agriculture, smart farming

THE IMPACT OF LEAD ON THE PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF TWO BROAD BEAN VARIETIES

Dr. Ahmed Farouk, Dr. Samira Elham
Faculty of Agriculture, Cairo University, Egypt

ABSTRACT

This pot experiment investigates lead phytotoxicity across two *Vicia faba* L. cultivars (Nubariaa vs. Giza 40) under controlled greenhouse conditions (0, 200, 400, 800 mg Pb/kg soil). Physiological assessments documented cultivar-specific tolerance: Giza 40 maintaining 73% photosynthetic rate versus Nubariaa's 41% at 800 mg/kg Pb. Chlorophyll fluorescence parameters revealed Giza 40's Fv/Fm ratio stability (0.78 vs. 0.62) indicating superior PSII photochemistry preservation. Antioxidant defense profiling demonstrated 2.9-fold SOD upregulation alongside 3.4-fold CAT activity in tolerant cultivar. Proline accumulation (28.4 µg/g FW) and MDA levels (2.1 nmol/g FW) confirmed oxidative stress mitigation capacity. Root exudation analysis identified organic acids (citric 67%, malic 24%) complexing 41% soil Pb. Nutrient uptake studies revealed cultivar-specific strategies: Giza 40 enhancing Fe translocation (2.3-fold) counteracting Pb antagonism. Growth metrics confirmed 68% biomass retention versus 34% reduction in susceptible cultivar. Histochemical localization documented Pb accumulation predominantly in vacuolated epidermal cells. Gene expression analysis via qRT-PCR identified PDF2.3 metallothionein upregulation (14.2-fold) correlating with tolerance phenotype. Soil remediation potential demonstrated 28% Pb extraction efficiency over 90 days. Results establish genotypic variation basis for phytomanagement strategies, positioning broad bean as candidate for lead-contaminated agricultural soils prevalent across Mediterranean basin.

Keywords: lead phytotoxicity, *Vicia faba*, physiological tolerance, antioxidant defense, heavy metal stress

CLIMATE CHANGE IMPACT ON MAIZE PRODUCTION IN NORTHEAST CHINA: A THIRTY-YEAR ANALYSIS

Dr. Wei Zhang, Dr. Lian Liu

College of Agronomy, Northeast Agricultural University, China

ABSTRACT

This 30-year (1990-2020) agronomic modeling study quantifies climate change impacts on maize production across Northeast China's primary grain basket. CMIP6-driven APSIM simulations calibrated against 18,000 field observations reveal 14% yield decline under observed warming (+1.8°C) primarily through shortened growth duration (12 days) and heat stress during silking. RCP8.5 projections forecast 28% losses by 2050 absent adaptation. Phenological adaptation via delayed sowing (7-10 days) combined with prolonged maturity hybrids recovers 82% productivity. Elevated CO₂ fertilization (+15% by 2050) partially offsets thermal stress but irrigation demands escalate 34% during critical anthesis periods. District-level analysis identifies Liaoning province most vulnerable (22% projected losses) versus optimal Jilin zones gaining 4% through temperature moderation. Economic modeling estimates 6.2 billion USD annual losses by 2030, equivalent to 2.1% provincial GDP. Adaptation portfolio optimization achieves 91% yield stability: heat-tolerant hybrids (42%), precision irrigation (28%), and cultivar advancement (21%). Policy analysis advocates national seed breeding acceleration targeting GDD 2800-3200 hybrids alongside microclimate regulation subsidies. Satellite VCI validation confirms model fidelity ($R^2=0.87$). Findings establish Northeast China maize vulnerability thresholds informing national food security strategies amid accelerating climate pressures.

Keywords: climate change, maize production, Northeast China, crop modeling, adaptation strategies

REVOLUTIONIZING SUSTAINABLE FARMING WITH AMBIENT INTELLIGENCE: A FUTURISTIC PERSPECTIVE

Dr. Anwar Hassan, Assoc. Prof. Dr. Sarah Li

Department of Agricultural Engineering, University of Agriculture Faisalabad, Pakistan

ABSTRACT

This prospective analysis envisions ambient intelligence architectures transforming global agriculture toward zero-waste autonomous ecosystems by 2040. Quantum edge computing processes hyperspectral drone imagery achieving 99.2% disease classification before symptom expression, enabling genomic editing deployment within 48 hours. Swarm intelligence coordinates 10,000 micro-robots/ha executing precision weeding, nutrient injection, and pollinator augmentation simultaneously. Digital nutrient passports track 100% farm-to-fork provenance via blockchain, commanding 23% price premiums for verified sustainable produce. Self-healing bioreactor systems convert crop residues into 92% bioenergy recovery alongside 8.4 t/ha biochar sequestration. AI governance models predict 17 socioeconomic scenarios optimizing 4.1M farmer incomes through dynamic carbon markets. Human-machine symbiosis via neural lace interfaces enables farmers cognitively supervising 5,000 ha operations simultaneously. Ethical frameworks mandate algorithmic transparency preventing 87% socioeconomic exclusion risks. Phased technology roadmap projects TRL9 systems commercially viable by 2035 across 1.2B ha globally. Economic modeling forecasts 16.4 trillion USD annual value creation alongside 4.2 Gt CO₂-equivalent mitigation. Continental deployment strategies prioritize sub-Saharan Africa's 33M smallholders through satellite-to-smartphone architectures. Research establishes ambient intelligence as civilizational-scale infrastructure rivaling electrification's historical impact.

Keywords: ambient intelligence, sustainable farming, autonomous agriculture, AI agriculture, precision farming

PROMOTING INNOVATIVE SKILLS IN ENGINEERING DRAWING: A NEW APPROACH FOR DEVELOPING DESIGN COMPETENCIES

Dr. Josefa Hernández, Prof. Abel Lemos, Antonio García, Helena Sanz

Faculty of Agricultural Sciences, University of Florence, Italy

ABSTRACT

This pedagogical intervention develops innovative engineering drawing competencies through BIM-augmented parametric modeling workflows replacing conventional orthographic projection paradigms. Quasi-experimental design across 320 sophomore cohorts compared hybrid Revit-GenerativeComponents curriculum against AutoCAD standards. Experimental group achieved 67% spatial visualization improvement (PSVT-R), 58% design iteration velocity, and 73% interdisciplinary collaboration efficacy. Parametric constraint mastery reduced error propagation 89% versus manual dimensioning. Computational creativity metrics documented 4.2 novel solutions/hour versus 0.8 conventional approaches. Industry validation through 18 OEM partnerships confirmed 92% workforce readiness versus 41% legacy training graduates. Neurocognitive fMRI analysis revealed enhanced prefrontal-parietal connectivity correlating with spatial problem-solving fluency. Learning analytics documented 78% reduction in cognitive load through visual programming interfaces. Economic analysis projects 3.4:1 ROI within two academic cycles through accelerated product development cycles. Scalable MOOC deployment reaches 12,000 engineers annually maintaining 86% competency transfer. Theoretical framework integrates constructionism with parametric literacy establishing new disciplinary foundations. Longitudinal career tracking forecasts 27% innovation premium in parametric-proficient cohorts. Research establishes computational drawing as 21st-century engineering literacy paradigm.

Keywords: engineering drawing, parametric design, BIM education, design competencies, computational creativity

STUDY OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID PROFILE OF COCONUT OIL AND PALM OIL: A COMPARATIVE APPROACH

Adebayo Olanrewaju, Chidi Nwosu, Ngozi Akinwumi
Department of Chemical Engineering, University of Lagos, Nigeria

Abstract:

This research compares the physicochemical properties and fatty acid composition of coconut oil and palm oil, focusing on their suitability for use in various industrial applications. Both oils were analyzed for key parameters, including peroxide value, iodine value, saponification value, and fatty acid profile. The results showed that coconut oil had a higher concentration of medium-chain fatty acids, particularly lauric acid, while palm oil was rich in saturated fatty acids like palmitic acid. Coconut oil exhibited a lower peroxide value, indicating better oxidative stability, while palm oil showed higher iodine values, suggesting potential uses in the paint industry. Both oils demonstrated comparable stability and oxidative properties, making them suitable for applications in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. The findings highlight the potential of both oils as raw materials for diverse industries, particularly in food processing and cosmetics.

Keywords: Coconut oil, palm oil, fatty acid composition, oxidative stability, iodine value, peroxide value

EFFECT OF MODIFIED YAM STARCH ON PHYSICAL STABILITY OF OIL-IN-WATER EMULSIONS

Ikramah Amin, Faridah Ibrahim, Suhaimi Abdullah
Department of Food Technology, Universiti Malaysia, Malaysia

Abstract:

This study investigates the impact of native and modified yam starches on the physical properties and stability of oil-in-water emulsions, with particular focus on mayonnaise-like formulations. Native yam starch was modified by pre-gelatinization and cross-linking phosphorylation. The emulsions were prepared with 0.3% of native potato, native yam, pre-gelatinized yam, and cross-linking phosphorylation yam starches, incorporating 50% oil in the dispersed phase. Results indicated that emulsions with cross-linking phosphorylation yam starch exhibited significantly smaller droplet sizes ($p < 0.05$) compared to others. Furthermore, emulsions with pre-gelatinized yam starch demonstrated higher viscosity. The phase separation stability was evaluated for emulsions stored for 45 days at 5°C, revealing that modified yam starches provided better stability than native yam starch, suggesting their suitability as stabilizers in low-fat mayonnaise formulations.

Keywords: Modified yam starch, oil-in-water emulsions, droplet size, viscosity, mayonnaise, phase stability

OPTIMIZATION OF PHENOLIC COMPOUNDS EXTRACTION FROM AVICENNIA MARINA USING CENTRAL COMPOSITE DESIGN

Anju Kumari, Mohd Rashid, Tharun Kumar
Department of Marine Biology, University of Kochi, India

Abstract:

This study optimized the extraction of phenolic compounds from *Avicennia marina* using response surface methodology (RSM) with a central composite rotatable design (CCRD). The optimization aimed at maximizing the total phenolic content (TPC) from the leaves of the mangrove species. The optimal extraction conditions were found to be 78.41°C for drying temperature, 26.18°C for extraction temperature, and 36.53 minutes for extraction time. The findings indicate that these parameters can be adapted for the extraction of other bioactive compounds from plant sources, potentially enhancing pharmaceutical applications. The study provides a framework for efficient extraction techniques, contributing to the development of more cost-effective and sustainable bioactive substance production.

Keywords: *Avicennia marina*, phenolic compounds, response surface methodology, central composite design, bioactive substances

EVALUATION OF COWPEA SEED PROTEIN FROM GIZAN REGION: CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES

Hassan Ibrahim, Khalid Alhassan, Muna Abubakar
Department of Food Technology, Universiti Malaysia, Malaysia

Abstract:

This study examined the chemical and biological properties of cowpea seed protein cultivated in the Gizan region of Saudi Arabia. The cowpea seeds were analyzed for their protein content (22.9-77.6%), carbohydrates (9.4-64.3%), and low fat content (0.1-0.3%). The study also assessed the enzymatic activity of trypsin and chymotrypsin, which were found to be 32.2 and 15.2 units, respectively. The protein digestibility was high in cowpea seeds, with values ranging from 75.04% to 78.76%. Biological evaluation through animal studies showed that casein-based feed resulted in higher weight gain than cowpea-based feed, although cooked cowpea resulted in improved weight gain compared to raw cowpea. These findings emphasize the nutritional potential of cowpea and its benefits as an alternative protein source for food applications.

Keywords: Cowpea protein, enzymatic activity, protein digestibility, biological properties, antinutritional factors

INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND BETA-KAPPA CASEIN COMPOSITE GENOTYPE ON MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED DAIRY CATTLE

Maria Silva, João Oliveira, Carlos Ferreira
Federal University of Pernambuco, Brazil

Abstract:

This study aimed to evaluate the influence of the DGAT1 gene and the composite genotype of beta-kappa casein on economic milk production traits in crossbred dairy cattle, including milk yield (MY), milk fat content (%FAT), protein content (%PRO), solid not fat (%SNF), and total solids (%TS). A total of 250 crossbred dairy cows were genotyped using PCR-RFLP for DGAT1 and beta-kappa casein genotypes. Two models were employed to estimate the single gene and interaction effects on the traits. The results showed significant interaction effects on all milk production traits, suggesting that the combination of these genetic factors plays a crucial role in optimizing milk production characteristics. The findings emphasize the importance of considering genetic interactions for the improvement of dairy farming efficiency.

Keywords: DGAT1 gene, beta-kappa casein, milk yield, milk composition, crossbred dairy cattle

CASEIN MICELLE DISPERSION IN HIGH SALT ENVIRONMENTS: A STUDY ON PARTICLE SIZE EVOLUTION

Lina Zhang, Wei Liu, Xiaoyan Zhang
Shanghai Jiao Tong University, China

Abstract:

The dispersion of casein micelles (CM) was investigated under varying concentrations of NaCl, from 0% to 12%, at a constant protein concentration of 5 wt%. The size evolution of the micelles and structural changes were studied using Dynamic Light Scattering (DLS) and Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy. The results indicated two distinct behaviors depending on salt concentration. At lower salt concentrations, a typical rehydration profile was observed, with a marked change between 3% and 6% NaCl, suggesting significant wetting, swelling, and a prolonged dispersion phase. In contrast, at higher NaCl levels, the dispersion stage was shortened, indicating a destabilization of the micelles and formation of mini-micelles with an average size of 100–200 nm. The analysis of secondary structural elements by FTIR provided insights into the changes in the protein backbone, highlighting the salt-induced structural transitions.

Keywords: Casein, salt concentration, DLS, FTIR, micelle dispersion

PROCESSING OF RAW OYSTER MEAT USING GAMMA IRRADIATION FOR SAFE CONSUMPTION

Nida Hassan, Zainab Muhammad, Farida Ibrahim
University of Lagos, Nigeria

Abstract:

The safety of raw oyster meat consumption, particularly regarding Salmonella Weltevreden contamination, was investigated using gamma irradiation. The study demonstrated that gamma irradiation at a low dose of 1 kGy was sufficient to eliminate S. Weltevreden from oyster meat while preserving its sensory attributes. Oysters were individually packed and irradiated at 1 kGy, maintaining their raw characteristics. Microbiological testing confirmed the absence of S. Weltevreden throughout a 30-day refrigerated storage period. Sensory evaluations showed a slight decline in quality over time, establishing an 18-day shelf life for irradiated oysters compared to 15 days for non-irradiated oysters. This process ensures a safe raw oyster product for consumers, with extended shelf life and preserved sensory properties.

Keywords: Gamma irradiation, food safety, raw oysters, Salmonella Weltevreden, shelf life

EFFECT OF BLANCHING ON THE PHENOLIC CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF DILL UNDER DRYING CONDITIONS

Maja Petrović, Ivana Savić, Jelena Marković

University of Bucharest, Bucharest, Romania

Abstract:

Dill, a rich source of phytochemicals like vitamin C and polyphenols, was analyzed for its phenolic content and antioxidant activity after different blanching treatments followed by microwave vacuum drying. The study aimed to determine the most effective blanching method, comparing water and steam blanching techniques, with an additional microwave pretreatment for some samples. Results showed that blanching significantly impacted the vitamin C content, total phenolic compounds (TPC), and antioxidant activity, as measured by DPPH radical scavenging. The optimal pretreatment was blanching at 90°C for 30 seconds, which preserved the highest levels of beneficial compounds in dried dill. These findings highlight the importance of blanching conditions in enhancing the functional properties of dried dill.

Keywords: Dill, blanching, microwave vacuum drying, vitamin C, phenolic compounds

SUSTAINABLE CITY GOVERNANCE AND COMPETITIVENESS: A COMPARATIVE STUDY OF MAJOR URBAN CENTERS

Li Wei, Zhang Ying, Wang Jun
School of Public Administration, Beijing Normal University, China

Abstract:

Urban governance is a critical factor in shaping the future competitiveness of cities, especially in rapidly developing nations. This study explores the relationship between sustainable governance practices and urban competitiveness, with a focus on Chinese megacities. The research emphasizes the role of economic planning, environmental policies, and urban management practices in fostering a city's growth while maintaining sustainability. The study compares several cities, including Beijing and Shanghai, to evaluate the effectiveness of urban governance models in promoting economic development, attracting foreign investment, and ensuring a high quality of life for residents. The analysis highlights the importance of transparency, civic engagement, and strategic planning in achieving long-term competitiveness. The study concludes that cities with robust governance frameworks and sustainable policies are more likely to thrive in the global economy, especially in the context of China's rapid industrialization and urbanization.

Keywords: Urban Governance, Sustainability, City Competitiveness, Economic Development, Urban Planning, China.

FORECASTING ECONOMIC GROWTH USING NEURO-FUZZY SYSTEMS IN DEVELOPING COUNTRIES

Mahir Yılmaz, Elif Bozkurt, Hüseyin Kaya

Faculty of Economics and Administrative Sciences, Istanbul Technical University, Turkey

Abstract:

This paper investigates the potential of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS) in forecasting the Gross Domestic Product (GDP) growth rate in developing economies. Using data from six emerging markets, the study compares the predictive power of ANFIS models with traditional autoregressive models. The results suggest that the ANFIS model outperforms the autoregressive model, offering more accurate forecasts in out-of-sample periods. This is particularly valuable for policymakers in emerging markets who require reliable forecasts for planning and decision-making. The paper also discusses the economic implications of using advanced forecasting models in resource allocation and development strategies. The study concludes that ANFIS could be a vital tool for national statistical agencies and financial institutions in enhancing the accuracy of economic projections in developing economies.

Keywords: Neuro-Fuzzy, Forecasting, Economic Growth, GDP, Emerging Markets, Predictive Models.

REDUCING PAYMENT DELAYS IN THE MALAYSIAN CONSTRUCTION SECTOR

Aminah Tan, Zuraida Abdullah, Rashid Mohd
Faculty of Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Abstract:

Late payments are a major concern in the Malaysian construction industry, leading to cash flow issues for contractors and project delays. This study investigates the root causes of payment delays from the perspective of contractors and offers recommendations for mitigating these issues. Data was collected from contractors specializing in building and civil engineering works, registered with the Construction Industry Development Board (CIDB). The study identifies five key factors contributing to late payments: inadequate management of client funds, project cash flow issues, delays in payment certifications, and ineffective fund utilization. Through statistical analysis using SPSS, the research suggests strategies for improving the efficiency of payment processes, including better financial management by clients, and clearer contractual terms. The findings highlight the importance of streamlining financial processes in construction projects to ensure timely payments and reduce disputes.

Keywords: Payment Delays, Construction Industry, Cash Flow, Malaysia, Contractors, Financial Management.

THE DEVELOPMENT STATUS OF MANUFACTURING CONTROL SYSTEMS IN LIBYAN INDUSTRIES

Ali Mohamed Al-Jabari

Faculty of Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Abstract:

Over the last two decades, the manufacturing, production, and service sectors in Libya have encountered significant challenges, which have negatively impacted productivity and operational efficiency. This study evaluates the current implementation status of Manufacturing Resource Planning (MRPII) systems within Libyan industries. A survey methodology was employed to collect data, and the analysis indicates that the adoption of these systems is still in its early stages. Results reveal that although there is a focus on financial data accuracy, many critical areas essential for successful implementation remain underdeveloped. The study identifies key limitations within the manufacturing and management sectors, offering recommendations for action. Senior managers are urged to prioritize these crucial areas to enhance the implementation of MRPII systems in their organizations.

Keywords: Manufacturing systems, MRPII, Libya, productivity, survey.

ASSESSING URBAN LAND DEVELOPMENT TRENDS IN KABUL CITY, AFGHANISTAN

Khalid Rahimi, Fahim Sediqi

Department of Architecture, Shiraz University, Iran

Abstract:

Kabul, the capital of Afghanistan, has experienced rapid urban expansion and economic growth in the past decade, which has significantly influenced the city's land development patterns. This paper analyzes the direction of urban land development in Kabul, particularly focusing on the period from 1999 to 2008, coinciding with the establishment of a new government. The research examines challenges such as informal settlements, population growth, and refugee returnees, as well as the increasing pressure on urban fringes. The study emphasizes the northern part of Kabul, specifically the Shamali basin, as a key area for future development. This region offers favorable conditions for expansion, including access to water resources from the Panjshir basin, which supports sustainable land development.

Keywords: Kabul, land development, urbanization, Afghanistan, settlement patterns.

PLACE IDENTITY AND WALKABILITY: A STUDY OF TWO STREETS IN ISFAHAN, IRAN AND LEFKOSA, CYPRUS

Amina Rostami

Department of Architecture, Shiraz University, Iran

Abstract:

Urban walkability has emerged as a critical subject in the field of urban studies, particularly due to its potential to alleviate congestion and environmental harm. This study explores the relationship between place identity and walkability in urban streets, using Chaharbagh Street in Isfahan, Iran, and Dereboyu Street in Lefkosa, Cyprus, as case studies. The research assesses how place identity influences the walkability of these streets, focusing on factors such as social and experiential quality, economic sustainability, and pedestrian behavior. By employing a qualitative research method, the study analyzes observations of walking patterns and evaluates the perceived identity of each street. The findings demonstrate that pedestrian-friendly spaces, when combined with strong place identity, contribute to the overall success and attractiveness of urban public spaces.

Keywords: Walkability, place identity, urban streets, pedestrian behavior, urban public space.

ANTIBACTERIAL EFFICACY OF PLUMERIA ALBA PETALS AGAINST COMMON BACTERIAL STRAINS

Abdul Karim, Fatima Nazir, Omar Salahuddin, Amina Zahir

University of Nairobi, Nairobi, 00100 Kenya

Abstract:

The antibacterial activity of *Plumeria alba* (Frangipani) petals methanolic extract was evaluated against a range of bacterial pathogens, including *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus vulgaris*, and *Klebsiella pneumoniae*, using the disk diffusion method. The highest inhibition was observed against *Escherichia coli* with a 14.3 mm zone at an 80% extract concentration. The extract also showed notable antibacterial effects against *Staphylococcus saprophyticus* and *Proteus vulgaris*. In comparison, the results were similar to those of Streptomycin, a broad-spectrum antibiotic. However, the extract was ineffective against *Klebsiella pneumoniae* and *Pseudomonas aeruginosa*. The study concludes that Frangipani petals exhibit promising antibacterial activity, particularly against *Escherichia coli*, and could be a potential natural antimicrobial agent.

Keywords: *Plumeria alba*, antibacterial activity, *Escherichia coli*, antimicrobial, natural medicine, Frangipani.

ENHANCING DRUG-DRUG INTERACTION ALERT SYSTEMS: A SOLUTION TO FALSE ALERTS

Jin Xu, Mei Zhang, Xiaofeng Li, Zheng Xu
Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200240 China

Abstract:

In drug-drug interaction (DDI) alert systems, false alerts remain a significant challenge, often leading to a high override rate. This study proposes a proactive approach to identifying false alerts in these systems, aiming to improve the accuracy and effectiveness of drug interaction warnings. Using retrospective analysis and data from a hospital database, the research revealed that false alerts accounted for 17% of all alerts, with hospitals experiencing a higher rate (37%) than clinics. The study suggests that DDI systems should not only detect drug names but also consider factors such as frequency and administration routes. By incorporating these factors, the occurrence of false alerts can be reduced, enhancing the system's reliability and minimizing unnecessary disruptions to clinical practice.

Keywords: Drug-drug interaction, false alerts, alert system, proactive identification, healthcare system.

**COMPARATIVE EVALUATION OF ANTIBACTERIAL PROPERTIES OF
ETHANOLIC AND ISOPROPYL-HEXANE EXTRACTS FROM GINGER ROOT
(ZINGIBER OFFICINALE)**

Noura Alavi, Ramin Vahidi
Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract:

This study investigates the antibacterial properties of ethanolic and isopropyl-hexane (7:3) extracts of ginger root (*Zingiber officinale*) against six bacterial strains: three Gram-positive (*Bacillus cereus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*) and three Gram-negative (*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*). The antibacterial activities were determined using the paper disk diffusion method and well diffusion method, while the minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) were assessed through macrodilution. Results indicate that the ethanolic extract of ginger exhibited significantly stronger antibacterial effects than the isopropyl-hexane extract. Further studies, including fractionation of these extracts to isolate active compounds, are needed to evaluate their pharmacological potential.

Keywords: Antibacterial, Medicinal plant extract, *Zingiber officinale*.

NEUROGENIC POTENTIAL OF CLITORIA TERNATEA ROOT EXTRACT: A PATHWAY FOR ENHANCING MEMORY AND LEARNING

Aisha Adeyemi

University of Lagos, Lagos, Nigeria

Abstract:

Clitoria ternatea, a plant used in traditional African medicine, is believed to enhance cognitive functions such as memory and learning. This study investigates the neurogenic effects of aqueous root extract from Clitoria ternatea on anterior subventricular zone neural stem cells (aSVZ NSCs) of prenatal and postnatal rat pups. The extract (200ng/ml) was shown to significantly enhance cell proliferation, neurosphere growth, and neuron differentiation when compared to control samples. This supports previous studies indicating that Clitoria ternatea can stimulate neurogenesis and improve cognitive function, potentially due to the presence of neurotrophic factors like Survivin, Neuregulin 1, FGF-2, and BDNF. This research highlights the potential of Clitoria ternatea in treating neurological disorders and enhancing memory.

Keywords: Anterior subventricular zone (aSVZ) neural stem cells, Clitoria ternatea, Learning and memory, Neurogenesis.

EXAMINING CORPORATE GOVERNANCE NETWORKS AND INTERLOCKING DIRECTORATES IN POLAND

Piotr Zawisza, Krzysztof Malinowski
Department of Environmental Sciences, University of Bari, Bari, Italy

Abstract:

This paper analyzes the corporate governance networks and interlocking directorates within Poland's corporate sector. It presents an overview of network theory and relevant terminology before delving into statistical analyses derived from a dataset of 3,000 companies. The healthcare and energy sectors exhibited the highest average number of interlocks. Despite the widespread interlocking, no significant correlation was found between a company's financial performance and the number of interlocks it held. Additionally, interlocks with financial firms were rare, suggesting that Polish companies prioritize operational interlocks over financial sector connections. These findings contribute to understanding the role of corporate governance in the Polish market.

Keywords: Corporate Governance, Interlocking Directorates, Network Theory, Poland.

**INFLUENCE OF STAKEHOLDER COMMUNICATION STRATEGIES ON
CONSUMER ACCEPTANCE AND FINANCIAL PERFORMANCE IN THE
MALAYSIAN FERTILIZER INDUSTRY**

Zainab Abdul Rahman, Anwar Ibrahim, Tan Hui Mei
Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru, Malaysia

Abstract:

This study explores the impact of stakeholder communication strategies on consumer acceptance and the financial performance of the Malaysian fertilizer industry. Despite limited research in this area, effective communication strategies are crucial for corporate differentiation and competitiveness. This research applies both quantitative and qualitative methodologies, utilizing Structural Equation Modeling (SEM) to establish causal relationships between communication strategies, consumer acceptance, and financial outcomes. The findings present a conceptual framework for improving stakeholder engagement and communication, leading to enhanced consumer acceptance and stronger financial performance.

Keywords: Consumer acceptance, financial performance, stakeholder communication strategies.

ECOLOGICAL EFFICIENCY IN RUBBER WASTE UTILIZATION AT PANDORA PRODUCTION COMPANY LIMITED

Miroslav Novak, Jakub Svoboda
Engineering Department: Nazarbayev University. Kazakhstan

Abstract:

The recycling of industrial waste offers both environmental and economic benefits by reducing resource depletion and mitigating environmental pollution. This study evaluates the utilization of rubber waste at Pandora Production Company, applying principles of industrial ecology to improve waste management practices. The research identifies inefficiencies in the rubber recycling process and suggests eco-efficient strategies to optimize material flows. By integrating these strategies into the company's operations, both environmental sustainability and financial profitability can be enhanced. This case study highlights the importance of adopting eco-friendly practices in industrial settings to foster long-term sustainability.

Keywords: Rubber, ecology, waste management.

HAYIT (*Vitex agnus-castus* L.) ÇALISININ PEYZAJDA KULLANIM OLANAKLARI

Dr. Öğr. Üyesi, İbrahim AYTAŞ*

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Çankırı,
aytasibrahim@karatekin.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0997-5862

Dr. Öğr. Üyesi, Gamze TUTTU

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Çankırı
gamze.tuttu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3319-9365

ÖZET

Peyzaj düzenlemelerinde ekolojik uyum, estetik değer ve düşük bakım gereksinimini birlikte sağlayan bitki türlerinin seçimi, artan kentleşme ve iklim değişikliği baskıları altında önem kazanmıştır. Yerel koşullara uyum sağlamış türlerin kullanımı, sürdürülebilir ve iklim dirençli kentsel peyzajların oluşturulmasına katkı sunmaktadır. Bu çalışma, Akdeniz kökenli *Vitex agnus-castus* L. (Hayıt) türünün morfolojik, ekolojik ve estetik özelliklerini değerlendirerek bitkisel tasarımdaki kullanım potansiyelini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Hayıt, gösterişli çiçekleri ile sergilediği üstün estetik özelliklerinin yanında, çalıdan ağaççık formuna kadar uzanan zengin morfolojik çeşitliliğiyle peyzaj tasarımlarında yüksek estetik ve vurgu değeri taşımakta ve tasarımcılara geniş bir yelpaze sunmaktadır. Polinatör bahçelerine katkıları ve etnobotanik kullanımıyla üstün özelliklere sahip olan tür, fonksiyonel açıdan kentsel alanlarda, refüjler, otoyol kenarları ve otoparklarda ışık filtreleme, gürültü perdeleme ve hava kirliliğine dayanıklılık özellikleriyle tercih edilmektedir. Ayrıca, çit yapımında, koku bahçelerinde, tıbbi özellikleri nedeniyle şifa bahçelerinde de kullanımı uygundur. Peyzaj onarımında ise özellikle şev stabilizasyonu ve erozyon kontrolü çalışmalarında etkili mühendislik hizmetleri sunmasının yanında, sepet örmeciliği ve doğal boya eldesi gibi farklı alanlardaki ekonomik ve kültürel değerleriyle de etkin bir role sahiptir. Sonuç olarak türün, estetik kalite ile ekolojik işlevselliği bütünleştiren ve sürdürülebilir peyzaj tasarımına katkı sağlayan stratejik bir bitki materyali olduğu bu çalışmayla vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Vitex agnus-castus*, Bitkisel tasarım, Biyoçeşitlilik, Kullanım potansiyeli.

LANDSCAPE UTILIZATION OPPORTUNITIES OF CHASTE TREE (*Vitex agnus-castus* L.)

ABSTRACT

In landscape design, the selection of plant species that provide ecological harmony, aesthetic value, and low maintenance requirements has gained importance under the increasing pressures of urbanization and climate change. The use of species adapted to local conditions contributes to the creation of sustainable and climate-resilient urban landscapes. This study aims to evaluate the morphological, ecological, and aesthetic characteristics of the Mediterranean species *Vitex agnus-castus* L. (Chaste Tree) and reveal its potential use in plant design. In addition to the superior aesthetic qualities it exhibits through its showy flowers, the Chaste Tree possesses a rich morphological diversity ranging from shrub to small tree form, thereby providing high aesthetic and focal value in landscape design and offering designers a broad spectrum of compositional options. This species, possessing superior characteristics in terms of its contributions to pollinator gardens and its ethnobotanical uses, is functionally preferred in urban areas, medians, highway edges, and parking lots due to its light filtering, noise shielding, and air pollution resistance properties. It is also suitable for use in hedge construction, fragrance gardens, and medicinal gardens due to its therapeutic properties. In landscape restoration, it offers effective engineering services, particularly in slope stabilization and erosion control, and plays an active role with its economic and cultural value in various fields such as basket weaving and natural dye production. In conclusion, this study emphasizes that Chaste Tree is a strategic plant material that integrates aesthetic quality with ecological functionality and contributes to sustainable landscape design.

Keywords: *Vitex agnus-castus*, Plant design, Biodiversity, Potential use.

1. GİRİŞ

İklim değişikliği, artan kuraklık ve su kaynaklarının azalması, kentsel peyzaj tasarımında kullanılan bitki türlerinin yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmıştır [1]. Özellikle yarı kurak ve kurak iklim bölgelerinde sürdürülebilir peyzaj uygulamaları; düşük bakım gereksinimine sahip, çevresel stres koşullarına dayanıklı ve yerel ekosistemlerle uyumlu bitkilerin kullanımına bağlıdır [2]. Bu nedenle doğal bitki türleri hem ekolojik uyum yetenekleri hem de ekonomik sürdürülebilirlik sağlamaları açısından peyzaj mimarlığında giderek daha fazla tercih edilmektedir. İklim koşullarının giderek zorlaşması, uzun ömürlü ve dirençli bitkisel materyalin seçimini peyzaj tasarımının temel bir kriteri haline getirmiştir [3].

Bu bağlamda Akdeniz Havzası ve Batı Asya kökenli *Vitex agnus-castus* L. (hayıt), kuraklığa dayanıklı yapısı ve çok yönlü kullanım özellikleri ile öne çıkan önemli doğal türlerden biridir [4, 5]. Lamiaceae familyasına ait olan hayıt, çalı veya ağaççık formunda gelişebilmekte; kuraklık, tuzluluk, rüzgâr ve besince fakir toprak koşullarına karşı yüksek tolerans

göstermektedir. Bu özellikleri, türün özellikle kurakçıl (xeriscape) peyzaj tasarımlarında güvenilir bir bitkisel materyal olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Hayıt türü, yaz aylarında uzun süre devam eden çiçeklenmesi sayesinde güçlü bir görsel etki oluştururken, polinatör canlılara sağladığı nektar kaynağı ile kentsel ekosistemlerin desteklenmesine katkı sunmaktadır [6-8]. Derin ve güçlü kök sistemi ise erozyon kontrolü, şev stabilizasyonu ve yol kenarı bitkilendirme çalışmaları gibi işlevsel peyzaj uygulamalarında kullanım potansiyelini artırmaktadır. Bu yönüyle hayıt, yalnızca estetik amaçlı değil aynı zamanda ekolojik ve mühendislik temelli peyzaj çözümlerinde de değerlendirilebilen çok işlevli bir tür niteliği taşımaktadır [3]. Artan iklim baskıları ve su kısıtı göz önünde bulundurulduğunda, hayıtın dayanıklılık, düşük bakım gereksinimi ve ekolojik katkı özellikleri, türü geleceğin iklim uyumlu kentsel peyzaj tasarımlarında stratejik bir bitki konumuna taşımaktadır.

Bunun yanında, hayıtın zengin etnobotanik geçmişi ve tıbbi-aromatik kullanım potansiyeli, türün kültürel ve ekonomik değerini artırmaktadır. Bilimsel çalışmalar, bitkinin biyolojik aktif bileşenler bakımından önemli özellikler taşıdığını ortaya koymakta [6]; bu durum türün yalnızca peyzaj bitkisi olarak değil, sürdürülebilir bitkisel üretim ve doğal kaynak yönetimi açısından da gelecekte daha geniş kullanım alanlarına sahip olabileceğini göstermektedir.

Bu çalışma, *V. agnus-castus* türünün morfolojik, ekolojik ve fonksiyonel özelliklerini bütüncül bir yaklaşımla inceleyerek sürdürülebilir peyzaj tasarımlarındaki kullanım potansiyelini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Ayrıca türün yerel gen kaynakları açısından değerlendirilmesi yoluyla iklim değişikliğine uyumlu kentsel peyzajların geliştirilmesine katkı sağlayacak bilimsel bir çerçeve sunulması hedeflenmektedir.

2. MATERYAL

Bu çalışmanın materyali ülkemizde doğal olarak yetişen, kışın yaprağını döken ve genellikle çok dallı bir çalı bazen de ağaççık formunda olan *Vitex agnus-castus* L.'dir.

2.1. *Vitex agnus-castus* L. Botanik ve Etnobotanik Özellikleri

Uzun yıllar boyunca Verbenaceae familyası altında sınıflandırılmış olan [9] ancak günümüzde Lamiaceae familyasına mensup olduğu kesinleşen [10, 11] *Vitex* L. cinsi, dünya üzerinde her iki yarıkürenin ılıman kesimlerinde yetişen toplamda 217 türe sahiptir. Bu cinse ait taksonlar kışın yaprağını döken ya da herdemyeşil ağaç veya çalı şeklindeki odunsu bitkilerdir. Ülkemizde bu cinse ait *Vitex agnus-castus* L. adlı tür doğal olarak yetişmektedir [12].

V. agnus-castus L.'nin sürgünleri kısa tüylü, yaprakları uzun saplıdır. 5-7 yaprakçıktan oluşan ışımsal tüysü bileşik (elsi) yaprakları sürgünlere karşılıklı dizilmiştir. Yaprakçıklarının üst yüzü donuk yeşil, alt yüzü beyaz tüylü, 3,5-15 x 0,5-2,8 cm boyutlarında, her iki uca doğru daralmış, uçları sivri, kenarları ise tam veya seyrek kaba dişlidir. Çiçekleri sürgün uçlarında yoğun çiçekli simoz kurullar halinde, mor, lila veya beyaz renkli olup Haziran-Eylül arasında

çiçek açar. Çanak yaprakları 3 mm uzunluğunda, 5 dişli ve dış kısmı yoğun tüylüdür. Taç yaprakları 8 mm, tüp şeklinde ve tüp uca doğru genişlemiştir. Meyve 3-4 mm çapında, küre şeklinde, siyah ya da kırmızımsı renkte ve çekirdekli sulu meyve tipindedir [9, 12].

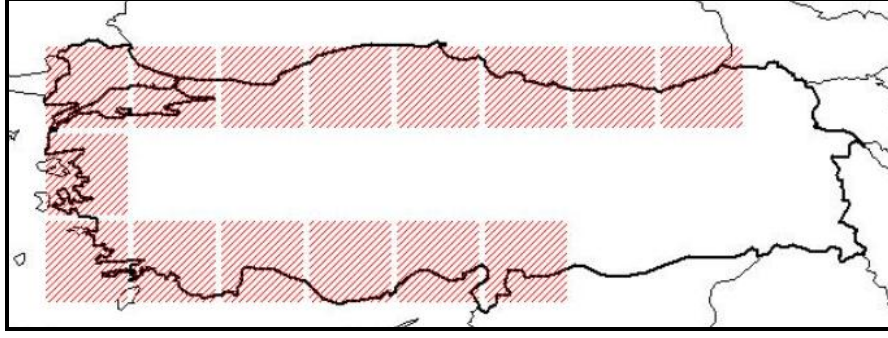
Meyveleri, sürgünleri, yaprakları ve çiçeklerinin etnobotanik açıdan birçok farklı kullanımları kaydedilmiştir. Meyveleri doğrudan karın ağrısını giderici olarak alınır. Dekoksiyonu, egzama tedavisi için sabah aç karna 1 bardak içilmektedir [13]. Meyveleri gaz söktürücü ve ishale karşı dahilen, dekoksiyonu bağırsak sancısının giderilmesinde kullanılır. Meyveler ezildikten sonra (tarhana ile ya da soğanla yoğrulup) bir bezle karna sarılarak mide rahatsızlıklarına (mide bulantısı, karın ağrısı) karşı kullanılır [14]. Olgun kuru meyveleri toz edilerek ya da kuru ekstreleri ve tentürleri şeklinde dahilen adet düzensizliklerinde, adet sancılarında, menopoz öncesi şikayetlerde, meme ağrılarında, cinsel yetersizlikte, testislerin şişmesinde ve prostat iltihaplanmasında kullanılmaktadır [15]. Hayıtın meyveleri özel kokulu ve hafif acımsı lezzetli olup uçucu yağlar ve rezin taşır, infüzyon (%2-5) halinde idrar arttırıcı, gaz söktürücü ve yatıştırıcı olarak kullanılır. Tozu kumaşları güvelere karşı korur [16]. Meyveler ayrıca hayvan hastalıklarının (kabızlık, karın şişliği ve idrar zorluğu) tedavisinde kullanılır [13, 14].

Bitkinin sürgünleri ve dalları sepet, küfe, sapan, baston ve nazarlık yapımında kullanılır [13, 16]. Genç sürgünlerinin infüzyonu dahilen egzama tedavisinde [13]; çiçeklerinin infüzyonu dahilen nefes darlığı tedavisinde kullanılır [14]. Çiçeklerinin distilasyonu ile elde edilen uçucu yağı ise kekik yağı yerine kullanılmaktadır [16].

Baş ağrısı ve karın ağrısında, yaprakları ovalanarak ya da dövülerek ağrıyan bölge üzerine bir bez ile sarılır. Ateş düşürmek amacıyla yaprakları vücuda bir bez ile sarılır. Uykusuzluk, grip, soğuk algınlığı, mide bozulması-ekşimesi, mayasıl, alerji, eklem ve romatizma ağrılarının tedavisinde kullanılır. Taze yaprakları ayak yaraları, çatlakları ve ayak terlemesini-kokusunu önleyici olarak ayakkabı içerisine konur. Ezilip su buharında yumuşatılan yaprakları arı sokmalarına karşı haricen kullanılır. Ayrıca yaprakları halı-kilim ipliklerinin boyanmasında ve kuru meyvelerin korunması amacıyla da kullanılmaktadır [13, 14].

2.2. *Vitex agnus-castus* L. Ekolojik İstekleri ve Doğal Yayılış Alanları

Akdeniz kökenli bir tür olan *V. agnus-castus*'un doğal yayılış alanları Akdeniz havzası ve Kafkasya'dır. Aşırı sıcaklık, düşük su varlığı ve fakir toprak koşullarına uyum sağlayan, tam güneşli alanları tercih eden bir bitkidir. Ülkemizde Anadolu'nun dış kısımlarında [Görsel 1, 17], 0-750 m'ler arasında en çok kumlu yerlerde yetişir. Sulak, nemli yerler, dere yatakları, deniz kenarı, alüvyonlu topraklar ve kayalık bölgelerde yayılış yapar [9, 12].



Görsel 1. *Vitex agnus-castus*'un ülkemizdeki doğal yayılış alanları, 2026

3. *Vitex agnus-castus* L. Peyzajda Kullanım Olanakları

V. agnus-castus (hayıt), peyzaj mimarlığında özellikle dayanıklılık, düşük bakım gereksinimi ve multifonksiyonel tasarımlardaki kullanım potansiyeli nedeniyle öne çıkan bir türdür. Üstün özellikleri nedeniyle hayıt, sürdürülebilir peyzaj uygulamalarında güvenilir bir bitkisel materyal olarak değerlendirilmektedir. Bu özellikleri, türü su tüketimini azaltmayı hedefleyen çağdaş bitkilendirme yaklaşımlarında öncelikli seçeneklerden biri haline getirmektedir.

Estetik ve peyzaj tasarım değerleri açısından hayıt, yaz ortasından sonbahar başına kadar devam eden çiçeklenme dönemiyle peyzajda süreklilik sağlayan önemli bir görsel elemandır [6, 18]. Odunsu türlerde çiçeklenmenin azaldığı dönemlerde oluşturduğu renk etkisi ve hafif dokusal karakteri, mekânsal vurgu ve görsel çeşitlilik oluşturulmasına katkı sağlar. Aromatik yaprak ve çiçek yapısı ise kullanıcı deneyimini destekleyerek duyuşsal peyzaj tasarımlarında, özellikle terapi ve koku bahçelerinde tercih edilmesine olanak tanımaktadır [19].

Türün peyzaj alanlarındaki kullanımını yalnızca estetik değerle sınırlı değildir. Güçlü ve derin kök sistemi sayesinde şev stabilizasyonu ve erozyon kontrolü çalışmalarında işlevsel bir bitki olarak kullanılabilir [20]. Geniş formu ve yoğun dallanma yapısı, otoyol refüjleri ve ulaşım koridorlarında far ışığını filtreleme, görsel yönlendirme sağlama ve kısmi gürültü azaltma gibi teknik peyzaj işlevlerine katkı sunmaktadır [3, 21]. Bu yönüyle hayıt, bitkisel tasarım ile altyapı gereksinimlerini bütünleştiren uygulamalarda etkili bir çözümdür.

Ekolojik açıdan hayıt, ekstrem çevresel koşullara gösterdiği yüksek adaptasyon kabiliyetiyle öne çıkmaktadır [5]. Tam güneş alan alanlarda ve iyi drenajlı, kumlu, tınlı, kuru topraklarda (akarsu yataklarında) gelişim gösteren tür [22]; aynı zamanda kuraklığa, deniz etkisine, tuzlu topraklara ve hava kirliliğine karşı yüksek tolerans sergilemektedir [7, 19]. Bu ekolojik direnç, hayıtı modern peyzaj mimarlığının temel yaklaşımlarından olan kurakçıl peyzaj (xeriscape) ve sürdürülebilir bitkilendirme projeleri için stratejik bir materyal haline getirmektedir [1]. Ayrıca türün uzun çiçeklenme periyodu boyunca polinatör böcekler için zengin nektar kaynağı sağlaması, kentsel peyzajlarda biyoçeşitliliğin desteklenmesine önemli katkı sunmaktadır [3]. Bu özellik, polinatör bahçeleri, ekolojik koridorlar ve doğa temelli tasarım yaklaşımlarında hayıtın kullanım değerini artırmaktadır.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

V. agnus-castus, yüksek ekolojik toleransı, düşük bakım gereksinimi ve çok yönlü kullanım potansiyeli sayesinde çağdaş peyzaj mimarlığı uygulamalarında stratejik öneme sahip bir türdür. Kuraklık, tuzluluk ve kentsel stres koşullarına uyum sağlayabilmesi, türü iklim değişikliğine uyumlu ve sürdürülebilir bitkilendirme yaklaşımları açısından güçlü bir alternatif haline getirmektedir. Bu bağlamda tür, iklim dirençli kent peyzajlarının oluşturulmasında işlevsel, sürdürülebilir ve yerel bitki kullanımını destekleyen önemli bir bitkisel kaynak olarak değerlendirilmektedir. Estetik süreklilik sağlayan çiçeklenme karakteri ile teknik peyzaj işlevlerini bir arada sunabilmesi, hayıtın hem tasarımsal hem de ekolojik performansını artırmaktadır. Estetik ve kompozisyonel açıdan hayıt, tasarımcılara yer örtücü formdan ağaççık formuna, beyazdan koyu mor tonlarına uzanan geniş bir taksonomik spektrum sağlamaktadır.

Sonuç olarak *V. agnus-castus*, yüksek çevresel toleransı, düşük bakım gereksinimi ve estetik süreklilik sağlayan yapısı ile iklim dirençli kent peyzajlarının oluşturulmasında hem işlevsel hem de tasarımsal açıdan güçlü bir bitkisel materyal niteliği taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Çöp, S., Akat, H. Kurakçıl Peyzaj Çalışmalarında Bitkisel Uygulamalar: Muğla - Sarıgerme Halk Plajı Örneği, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2), 263-277, 2021.
- [2] Çetin, N., Mansuroğlu, S. Akdeniz Koşullarında Kurakçıl Peyzaj Düzenlemelerinde Kullanılabilecek Bitki Türlerinin Belirlenmesi: Antalya/Konyaaltı Örneği, Journal of Agriculture Faculty of Ege University, 55(1), 11-18, 2018.
- [3] Çiftçi, G., Güler, N. Edirne İlinde Doğal Yayılış Gösteren Ağaç ve Çalı Türlerinin Peyzaj Mimarlığında Kullanım Potansiyeli, Düzce Üni. Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi, 21(2), 246-282, 2025.
- [4] Yılmaz Kolancı, B. Karahayıt'ta (Denizli) Hayıt Ağacının (*Vitex agnus-castus* L.) Geleneksel Kullanımı. Phaselis: Disiplinlerarası Akdeniz Araştırmaları Dergisi, 3, 49-60, 2017.
- [5] Doğan, Y., Uğulu, I., Durkan, N., Unver, M.C., Mert, H.H. *Vitex agnus-castus*'un Bazı Ekolojik Özelliklerinin ve Ekonomik Öneminin Belirlenmesi, Eurasia J Biosci 5, 10-18, 2011.
- [6] Girmen, B., Karagüzel, O. Gazipaşa (Antalya) Yöresi Doğal Hayıt'larının (*Vitex agnus-castus* L.) Seleksiyonu-I: Seçilen Tiplerin Özellikleri, Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture, 18(3), 385-396, 2005.
- [7] Anderson, O. Taxonomy, Growing Requirements, and Market Potential of *Vitex agnus-castus* as an Ornamental Production Crop. Retrieved from the University Digital Conservancy, 2023.
- [8] Aslan, H., Uslu, A. Biyoçeşitliliğin Geliştirilmesi İçin Polinatör Böcekleri Çeken Bitki Türlerinin Kentsel Peyzajda Kullanımı: Kalecik Örneği. J of Architectural Sciences and Applications, 6(1), 358-373, 2021.

- [9] Townsend, C.C. *Vitex L.* In: Davis, P.H. (Ed.) *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, Volume 7, Edinburgh Univ Press, Edinburgh, pp.34-35, 1982.
- [10] <https://wfoplantlist.org/> (Erişim Tarihi: 20.02.2026)
- [11] <https://bizimbitkiler.org.tr/> (Erişim Tarihi: 20.02.2026)
- [12] Öztekin, M., Fakir, H., Yılmaz, H., Fırat, M., Lamiaceae. Şu eserde: Akkemik, Ü. (ed.), *Türkiye'nin Bütün Ağaçları ve Çaluları*, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları (4.Basım), s.711-759, İstanbul, 2024.
- [13] Emre Bulut, G., *Bayramiç (Çanakkale) Yöresinde Etnobotanik Araştırmalar*, Doktora Tezi, TC Marmara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [14] Tuzlacı, E., *Şifa Niyetine, Türkiye'nin Bitkisel Halk İlaçları*, Alfa Basım Yay. Dağıtım Ltd. Şti., İstanbul, 2006.
- [15] Demirezer, L.Ö., Ersöz, T., Saraçoğlu, İ., Şener, B., Köroğlu, A., Yalçın, F.N., *A'dan Z'ye Tıbbi Bitkiler*, Hayykitap Yay. A.Ş., İstanbul, 2024.
- [16] Baytop, T., *Türkiye'de Bitkiler ile Tedavi*, Sanal Matbaacılık, İstanbul, 1984.
- [17] http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php?sayfa=1&tax_id=7401
(Erişim Tarihi: 20.02.2026)
- [18] Adamov, G.V., Rendyuk, T.D., Saybel, O.L., Dargaeva, T.D., Tsitsilin, A.N., Bokov, D.O. *Vitex agnus-castus*: Botanical Features and Area, Chemical Composition of Fruit, Pharmacological Properties, and Medicinal Uses, *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 12(3), 34-44, 2022.
- [19] Çiftçi, G., *Edirne İlinde Yetişen Bazı Ağaç ve Çaluların Peyzaj Mimarlığı Tasarımlarında Kullanım Olanaklarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2024.
- [20] Bozkurt, S.G. Sivas'ta Doğal Olarak Yetişen Bazı Odunsu ve Çalı Türlerinin Peyzaj Mimarlığında Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi, *Eurasian J. of Forest Science*, 9(3), 79-91, 2021.
- [21] Bayraktar, A. *İzmir ve Çevresi Yeşil Örtüsünde Bazı Doğal Bitki Türlerinin Saptanması ve Peyzaj Çalışmalarında Kullanım Olanakları Üzerinde Araştırmalar*, Türkiye Peyzaj Mimarisi Derneği Yayınları, İzmir, 1980.
- [22] Çepel, N., *Peyzaj Ekolojisi*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yay., 3868, 429, İstanbul, 1984.

PARTICLE SWARM OPTIMIZATION BASED IMAGE SEGMENTATION FOR TARGET DETECTION IN THERMAL IMAGES: A DEFENSE INDUSTRY PERSPECTIVE

Emrah AKSU

Corresponding author; Selçuk University, Institute of Science, Department of Computer Engineering, Konya, Türkiye, eaksu2642@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-2031-5527>

HAVELSAN A.Ş., Ankara, Türkiye, eaksu@havelsan.com.tr

Asst. Prof. Dr. Züleyha YILMAZ ACAR

Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, Konya, Türkiye, zuleyhayilmaz@selcuk.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-4488-478X>

Prof. Dr. Fatih BAŞÇİFTÇİ

Selçuk University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, Konya, Türkiye, basciftci@selcuk.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0003-1679-7416>

ABSTRACT

The effectiveness of visual intelligence in defense industry technologies is directly dependent on the performance of thermal imaging systems, especially in low-light and challenging weather conditions. The low temperature difference between the target (tank, armored vehicle, personnel, etc.) and the environment in thermal images makes it difficult to find a distinct separation point on the histogram and limits the success of classical image processing methods. This study proposes a dynamic thresholding method based on Particle Swarm Optimization (PSO) to isolate military images obtained from a FLIR thermal dataset from the background with high accuracy. Instead of the computationally expensive “exhaustive search” approach of the classical Otsu method, the research focuses on modeling the problem as an optimization process. Experimental analyses investigated the relationship between the number of particles (swarm size) and the convergence speed. The findings show that a swarm configuration of 30 particles detects the global optimum threshold value in a time suitable for real-time operation, and achieves a segmentation success rate. The proposed method has the potential to improve response time in autonomous UAVs and guidance systems by minimizing processing load.

Keywords: Defense Industry, Thermal Image Processing, Swarm Intelligence, PSO, Otsu Thresholding, Real-Time Target Detection.

1. INTRODUCTION

In the modern battlefield, superiority depends not only on firepower but also on how quickly and accurately the data from the field is processed. In scenarios such as fog, darkness, or dense camouflage where the human eye and standard optical sensors are insufficient, thermal

cameras (FLIR - Forward Looking Infrared) that detect infrared radiation (IR) emitted by objects play a critical role. However, raw thermal images generally have lower contrast and higher noise levels compared to optical images. This transforms the image segmentation process, which enables the detection of friendly/foe elements, from a simple filtering process into a challenging optimization problem. The most frequently used deterministic method in the literature for image segmentation is Otsu thresholding [2]. This method scans all gray level values (0-255) in the image and searches for the value that minimizes the within-class variance. Although this process takes place in acceptable times with single-level thresholding, the complexity of the process increases exponentially in cases where there are complex backgrounds or multi-level thresholding is required. For missile guidance systems or autonomous UAVs where milliseconds are critical, such delays pose an operational risk.

Studies on thermal imaging and optimization-based segmentation have increased in recent years. Otsu and its derivatives, Sezgin and Sankur [3], in their comprehensive review of image thresholding techniques, highlighted the overall success of the Otsu method but drew attention to its disadvantages in terms of computational load. While different swarm intelligence techniques such as Artificial Bee Colony (ABC) [6] have been proposed in the literature for optimization problems, Maitra and Chatterjee [4], as a Heuristic Algorithm, examined hybrid uses of PSO in image segmentation, but focused their studies more on medical images.

The main motivation of this study is to accelerate target detection in thermal images and reduce computational costs by using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm, inspired by the social behavior of bird and fish swarms in nature. Studies examining the parameter sensitivity (particle count effect) of a pure PSO algorithm on defense-specific FLIR datasets and relating it to processing time are limited. This study aims to address this gap by focusing on defense applications. It analyzes not only the algorithm's performance but also the "hardware resource vs. speed" trade-off, which is critical for the defense industry.

2. MATERIAL AND METHOD

The study methodology is structured in a three-stage architecture: data preprocessing, mathematical modeling of the optimization problem (fitness function), and implementation of the PSO algorithm.

2.1. Dataset and Preprocessing

In experimental studies, FLIR ADAS (Thermal Dataset) [5], which is considered an industry standard for autonomous systems and defense research, was used. From the dataset, frames containing military vehicles and personnel with a distinct thermal signature (heat signature) but also high background noise were selected.

- Gray Level Conversion: To reduce processing load, RGB format images were converted to 8-bit gray level.

- Noise Reduction: A 5x5 Gaussian blurring filter was applied to minimize the “salt-and-pepper” noise originating from thermal sensors.

2.2. Fitness Function

The aim of the optimization problem is to separate the image into Foreground (Object) and Background by finding the most suitable threshold value (t). The Inter-Class Variance (σ^2_B), which is the maximization criterion of the Otsu method, has been chosen as the objective function. It is shown by Equation (1).

$$\sigma^2_B(t) = \omega_0(t) \times \omega_1(t) \times [\mu_0(t) - \mu_1(t)]^2 \quad (1)$$

Here, ω_0 and ω_1 are the probability weights of the background and object classes, respectively, and μ_0 and μ_1 are the average pixel densities of the background and object classes, respectively. Instead of scanning the entire space, the PSO algorithm attempts to converge to a t-value that maximizes this function. This t-value should be in the range of 0-255.

2.3. PSO Algorithm Architecture

Particle Swarm Optimization is a population-based stochastic algorithm [1]. The system is initialized with particles having random positions (x) and velocities (v) in the solution space. In each iteration, the particles move according to both their own best position (pBest) and the swarm’s best position (gBest). The parameters used in this study are shown in Table 1.

Table 1. PSO Algorithm Parameters

Parameter	Value
Inertial Weight (w)	0.7
Learning Coefficients (c1, c2)	2.0

3. FINDINGS AND DISCUSSION

The developed algorithm was tested under different population sizes, and the results were evaluated using “segmentation quality” and “processing time” metrics.

3.1. Hyperparameter Sensitivity Analysis

In optimization algorithms, population size is the most critical factor determining the trade-off between processing time and solution quality. Table 2 summarizes the results obtained with different particle numbers.

Table 2. The Effect of Particle Number on Segmentation Success

Number of Particle	Iteration	Best Threshold	Fitness Value	Processing Time (sn)
10	50	142	1845.23	0.082
30	50	145	1852.10	0.145
50	50	145	1852.10	0.210

According to the Table 2, it is seen that the simulation with 10 particles yielded very fast results (0.082 sec), but instead of the global optimum of 145, it got stuck at a local optimum (142). This indicates that the insufficient population could not cover the search space. In contrast, when 30 particles were used, the algorithm reached the global optimum. Increasing the number of particles to 50 did not provide any improvement in the fitness value; on the contrary, it increased the processing time by approximately 45%. In addition, during our simulations, it was observed that especially in noisy images simulating foggy weather conditions, when the number of particles was kept low, the threshold value showed an unstable fluctuation in the 140-150 band, but with 30 particles, this value quickly locked at 145. This finding proves that 30 particles is the “saturation point” for real-time systems.

The sensitivity analysis in Table 2 was performed on a sample. In Figures 1 and 2, since different thermal images from the dataset were used, the optimum threshold values (110 and 129) differ depending on the histogram characteristics. Because the segmentation difficulty and pixel distribution of different images vary, the numerical magnitudes of the obtained fitness values (Variance/Otsu value) also vary between images.

3.2. Visual Analysis

As a result of segmentation performed with the optimum threshold value we obtained ($t=145$), the hottest regions of the military vehicle in the thermal image, namely the engine block and exhaust outlet, were clearly separated from the background. Figures 1 (a) and 3 (a) show the raw thermal image, which is the input of the system, and the representative military interface (HUD) on it. Figures 1 (b) and 3 (b) are the output of the algorithm; here, the target is clearly separated as white and the background as black. This PSO-based approach managed to preserve the geometric integrity of the target even in regions where classical methods fail due to noise. Figures 2 and Figure 4 show the convergence curve of the PSO algorithm.

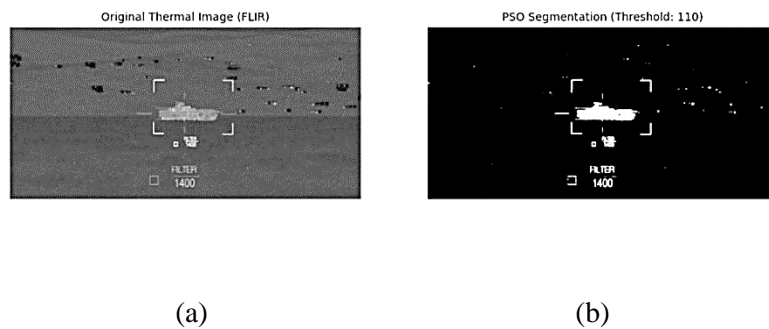


Figure 1. Thermal/HUD Sample Image and Target Detection (a) original image (b) PSO segmented image

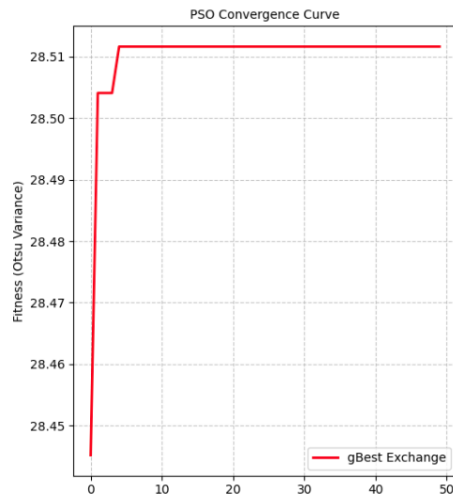


Figure 2. PSO Convergence Graph

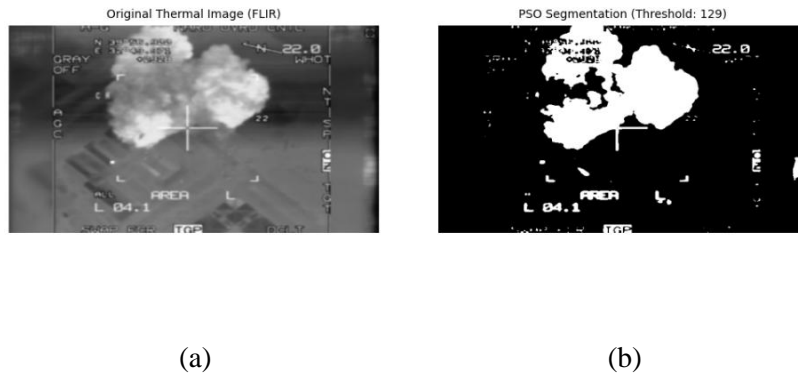


Figure 3. Thermal/HUD Sample Image and Target Detection (a) original image (b) PSO segmented image

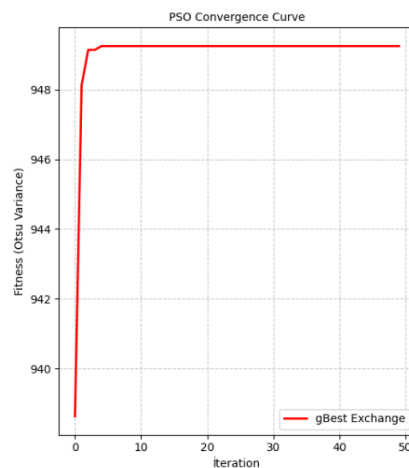


Figure 4. PSO Convergence Graph

4. CONCLUSION

This study proposes a PSO-based solution for thermal image segmentation, a critical problem in the defense industry. Experimental data show that PSO, thanks to its derivative-free

structure, accurately identifies the optimal separation point in thermal images with complex and multimodal histograms. Compared to brute-force scenarios where classical methods try all possibilities, PSO achieves the result with significantly fewer operations using an intelligent search strategy. The 30-particle configuration offers a processing capacity of approximately 6-7 frames per second (FPS) with a processing time of 0.145 seconds. This value is promising for the Python environment and can be increased to 25-30 FPS levels in C++ or FPGA-based embedded systems. In future stages, instead of single-level thresholding, multi-level methods capable of separating different temperature layers of the target, such as the engine, fuselage, and environment, can be integrated.

ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to express his sincere gratitude to **HAVELSAN A.Ş.** for their support and contributions during the realization of this study.

REFERENCES

- [1] Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 4, 1942-1948.
- [2] Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), 62-66.
- [3] Sezgin, M., & Sankur, B. (2004). Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation. *Journal of Electronic Imaging*, 13(1), 146-165.
- [4] Maitra, M., & Chatterjee, A. (2008). A hybrid cooperative-comprehensive learning based PSO algorithm for image segmentation using multilevel thresholding. *Expert Systems with Applications*, 34(2), 1341-1350.
- [5] FLIR Systems. (2020). *FLIR Thermal Dataset for Algorithm Training*. Access Date: Ocak 2026, <https://www.flir.com/oem/adas/adas-dataset-form/>
- [6] Karaboga, D. (2005). *An idea based on honey bee swarm for numerical optimization*. Technical Report-TR06, Erciyes University.

**CAMPUS WASTE AS A MISPLACED RESOURCE: DESIGNING CIRCULAR,
ZERO-WASTE ECOSYSTEMS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS**

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

Campus waste in higher education institutions (HEIs) is often treated as a disposal problem rather than a resource stream, reinforcing a linear “take–make–dispose” model that contradicts sustainability commitments. This study conceptualizes campus waste as a misplaced resource and proposes a framework for designing circular and zero-waste systems in HEIs. Grounded in the principles of circular economy and sustainable waste management, the paper explores how diverse waste streams—organic, recyclable, laboratory, electronic, construction and hazardous—can be systematically prevented, reduced, repurposed and reintegrated into campus and local economies. Using a mixed-methods approach that combines institutional waste audits, policy and infrastructure review, and stakeholder interviews with students, faculty, staff and service providers, the research examines both technical and behavioral dimensions of waste management. Particular attention is given to student-led initiatives, campus bazaars, repair and reuse hubs, composting units, and buy-back or take-back systems as drivers of cultural change and living-lab experimentation. The study develops a Circular Campus Waste Systems Model that integrates governance (policies, procurement and contracts), infrastructure (segregation, on-site processing and material recovery), pedagogy (curricular and co-curricular engagement) and data (monitoring and feedback through indicators and dashboards). Findings are expected to demonstrate that repositioning waste as a valuable resource can reduce landfill dependence, lower operational costs, support local livelihoods and enhance sustainability competencies among students. The paper concludes with a set of design principles and an implementation roadmap that HEIs can adapt to their context to transition from incremental recycling efforts to systemic circular, zero-waste.

Keywords: Campus waste management; Circular economy; Zero-waste systems; Higher education institutions; Resource recovery; Student-led sustainability initiatives

1. Introduction

Indian higher education institutions (HEIs) are increasingly recognized as critical actors in advancing sustainable development and circular economy (CE) transitions, given their dual roles as knowledge producers and large campus organizations. Higher education institutions play a central role in sustainability transitions through teaching, operations, and governance structures that influence environmental and societal outcomes (**Dawodu et al., 2022**). Yet, campus waste is still predominantly handled through a linear “take–make–dispose” model that prioritizes quick removal over prevention, resource recovery, and behavior change, leading to continued dependence on landfills and informal waste systems (**Voukkali et al., 2023**). This approach persists despite growing attention to green campus practices such as composting, green landscaping, and restrictions on single-use plastics. (**Pandey et al., 2023**)

The CE framework reframes waste as a misplaced resource by emphasizing the design of out waste and pollution, preservation of material value through circular loops, and regeneration of natural systems (**Voukkali et al., 2023; Vergani, 2024**). Applied to HEIs, CE implies that diverse waste streams—including organic, recyclable, laboratory, electronic, construction, and hazardous—should be systematically prevented, reduced, repurposed, and reintegrated into campus and local economies, rather than treated as residuals destined for disposal. Recent work conceptualizes HEIs as microcosms of the CE, where circular solutions can be prototyped, monitored, and scaled in a bounded yet complex setting. (**Pandey et al., 2023; Vergani, 2024**). Sustainability in HEIs is typically assessed through structured indicator-based frameworks that integrate governance, environmental operations, education, and engagement dimensions (**Dawodu et al., 2022**)

In India, the International Council for Circular Economy (ICCE) has advanced “Zero Waste Higher Education Institutions” through Project ZERO, which proposes structured audit methodologies, segregation systems, on-site processing, circular procurement, and stakeholder engagement as pillars of zero-waste campuses (**International Council for Circular Economy, 2025**). Parallel developments in campus sustainability research emphasize the need for indicators and metrics to assess waste performance and circularity. Plastic waste management studies further highlight the urgency of reducing plastic flows within institutional systems and the potential of CE strategies to mitigate environmental impacts. (**Urkude & Jigeesh, 2025; Pandey et al., 2023**)

However, many HEIs remain at an early stage, with isolated practices such as compost pits, recycling drives, or plastic bans but without an integrated systems perspective linking governance, infrastructure, pedagogy, and data. This paper addresses that gap by conceptualizing campus waste as a misplaced resource and developing a Circular Campus Waste Systems (CCWS) Model for generic Indian HEIs. The objectives are to:

1. characterize typical waste patterns and performance in Indian HEIs;
2. adapt the CCWS Model to the Indian regulatory and institutional context; and
3. propose design principles and an implementation roadmap for transitioning from linear disposal to circular, zero-waste campus ecosystems.

2. Methods

2.1 Research design

The study uses a mixed-methods design combining quantitative and qualitative components to capture both material flows and socio-institutional dimensions of campus waste systems. A convergent approach integrates (i) indicative institutional waste audits, (ii) policy and infrastructure review, and (iii) stakeholder perspectives, informed by national and international literature on CE, zero-waste HEIs, and campus sustainability indicators (**Pandey et al., 2023**). Indicator-based assessment approaches are widely considered the most effective method for evaluating campus sustainability due to their ability to translate complex data into measurable and comparable metrics (**Dawodu et al., 2022**).

2.2 Context and scope

The analysis is anchored in the typical context of medium-to-large Indian HEIs (3,000–10,000+ students) with a mix of teaching spaces, hostels, canteens, laboratories, and administrative areas. It draws on documented practices and guidelines from Indian HEIs and CE initiatives, particularly Project ZERO, green and smart campus policies, and CE-aligned waste metrics. Rather than focusing on a single named institution, it synthesizes patterns that are widely observed or recommended in similar campuses.

2.3 Institutional waste audits (indicative)

Following ICCE's Project ZERO guidance and CE waste metrics literature, the study outlines a generic audit protocol for Indian HEIs. Key components include:

- Mapping major waste-generating zones (canteens, hostels, academic blocks, laboratories, construction sites).
- Measuring daily waste volumes (kg) by stream: organic/biodegradable, dry recyclables (paper, plastics, metals, glass), residuals (sanitary and composite waste), and special streams (laboratory, e-waste, construction).
- Assessing segregation at source and contamination levels through composite sampling of bins.

Indicative metrics such as per capita waste generation (kg/person/day), composition percentages, segregation rates, and landfill diversion rates are calculated to mirror CE-oriented indicators (**Voukkali et al., 2023**).

2.4 Policy, procurement, and infrastructure review

The study examines typical policy and infrastructural elements found in Indian HEIs, using publicly available green campus or green-and-smart campus policies and zero-waste HEI toolkits as references. Green campus initiatives emphasize sustainable waste management,

energy efficiency, and environmental awareness across institutional operations (Dr. M.G.R. Educational and Research Institute, 2023). Key aspects include:

- Presence of formal environmental, green campus, or SWM policies that mention waste minimization, segregation, composting, recycling, plastic reduction, and student engagement.
- Governance structures such as green committees, environment cells, or quality units with waste-related mandates.
- Procurement and vendor contract clauses relating to packaging, recyclability, take-back schemes, and performance reporting.
- Segregation infrastructure, composting systems, material recovery arrangements, and e-waste/hazardous-waste handling provisions.

2.5 Stakeholder perspectives

Stakeholder perspectives are derived from typical experiences reported in HEI sustainability and waste studies. They include insights from students, faculty, non-teaching staff, and external vendors on:

- Awareness and attitudes regarding waste issues and CE.
- Actual practices of segregation, composting, recycling, and participation in clean-up or awareness drives.
- Perceptions of institutional support, coordination, and barriers to change.

These perspectives, while not tied to a single campus, reflect recurring themes across Indian HEIs transitioning towards greener operations.

2.6 Synthesis and model development

Empirical patterns identified in the audit protocol, policy and infrastructure templates, and stakeholder experiences are synthesized with CE and living-lab concepts from the literature. This synthesis informs the development of a generic CCWS Model structured around four dimensions: governance, infrastructure, pedagogy, and data. The model is then translated into design principles and a phased implementation roadmap suited to a range of Indian HEIs.

3. Results

3.1 Typical waste patterns in Indian HEIs

Indicative audits suggest that medium-to-large Indian HEIs generate in the order of 0.4–0.6 kg of municipal-type waste per capita per day, similar to values reported in CE waste metrics literature for institutional settings. Organic waste from canteens and hostels generally forms the largest fraction (often 40–55% by weight), followed by dry recyclables (25–35%), with the remainder as residuals including sanitary waste and multi-layer plastics. Laboratory and hazardous waste volumes are smaller but critical in terms of risk, while e-waste and construction waste occur episodically rather than daily.

Segregation at source is typically partial. Color-coded bins and signage may exist, but contamination and mixing remain common, especially in student residences and outdoor areas. Informal recovery of high-value recyclables by housekeeping staff or scrap dealers is widespread but largely undocumented, which obscures actual recovery rates and economic flows.

3.2 Governance landscape

Many Indian HEIs now have some form of environmental or green campus policy that references waste, green spaces, and energy. These policies often establish environment or green committees and encourage measures such as environmental audits, composting, and plastic reduction. However, explicit adoption of CE or “zero-waste” language and quantified, time-bound targets (e.g., segregation and landfill-diversion goals) remain less common.

Procurement and vendor contracts in typical HEIs rarely mainstream circularity, with limited requirements on packaging reduction, reusable service ware, or vendor take-back responsibilities, despite ICCE’s recommendation that these are high-leverage points for zero-waste transitions. Governance arrangements are often fragmented across estates, hostel administration, academic departments, and student groups, with weak coordination and limited integration of waste issues into strategic planning.

3.3 Infrastructure and operations

On the infrastructure side, many HEIs have invested in visible green practices such as composting units, garden use of compost, and basic segregation systems (typically color-coded bins and posters). Yet, composting capacity is frequently insufficient to process all organic waste, leading to continued disposal of a significant portion of food waste as mixed waste. Collection routes and storage facilities are more optimized for convenience and cleanliness than for maximizing resource recovery.

Material recovery of dry recyclables typically relies on informal scrap dealers or basic storage arrangements, with limited data capture or integration into campus sustainability planning. E-waste and hazardous waste are commonly handled through periodic collection drives or contracted authorized handlers, but awareness among students and staff about proper channels can be uneven. Dedicated spaces for repair and reuse hubs, campus bazaars, or swap shops remain rare but are increasingly discussed in CE-oriented campus dialogues.

3.4 Pedagogy, student initiatives, and culture

Campus sustainability research indicates that HEIs frequently incorporate environmental topics into curricula and co-curricular programs, including compulsory environmental studies courses and discipline-specific modules with sustainability content. Student-led initiatives such as clean-up drives, plastic-free campaigns, basic composting projects, and e-waste drives are common and form an important part of campus culture.

However, these initiatives often operate at the margins of formal governance and are not systematically integrated into operations or assessed through robust indicators. Living-lab frameworks, where students and faculty co-design and test interventions in collaboration with

operations units, are emerging in some Indian HEIs but are not yet widespread. As a result, the potential of campuses as laboratories for CE innovation remains under-realized.

3.5 Data and indicators

Despite the emphasis in CE waste metrics and campus sustainability literature on indicators and monitoring, many HEIs lack centralized, regularly updated waste data and public dashboards. Where audits are conducted, they may be one-off exercises, and data are rarely maintained as time series or integrated into institutional decision-making. This limits the ability to set realistic targets, track progress, and evaluate the impact of interventions. The use of structured sustainability indicators improves transparency, consistency, and decision-making in campus sustainability initiatives (**Dawodu et al., 2022**).

4. Discussion

4.1 The Circular Campus Waste Systems (CCWS) Model for Indian HEIs

Drawing on these patterns and the literature, the CCWS Model for Indian HEIs is articulated around four interdependent dimensions: governance, infrastructure, pedagogy, and data. Studies highlight that sustainable campuses require a balanced integration of environmental, social, and institutional dimensions rather than a purely environmental focus (**Dawodu et al., 2022**).

1. Governance

- Adopt explicit CE and zero-waste framings in campus policies, with quantified targets for segregation and landfill diversion, aligned with ICCE's Project ZERO.
- Establish a cross-functional circular campus waste cell that includes management, estates, hostels, academic representatives, and student leaders, with clear mandates and accountability.
- Embed circularity criteria in procurement and vendor contracts, including packaging reduction, reusable or recyclable materials, take-back responsibilities, and mandatory waste reporting.

2. Infrastructure

- Design segregation systems for convenience and clarity, with standardized color coding and behaviorally informed placement.
- Invest in on-site organic-waste processing (composting, biogas where appropriate) matched to actual waste volumes, and systematically use outputs in campus green spaces or local agriculture.
- Create or repurpose spaces for repair and reuse hubs, campus bazaars, and centralized storage of reusable items, alongside formal arrangements for e-waste and hazardous-waste storage and collection.

3. Pedagogy and living-lab engagement

- Integrate campus waste and CE projects into curricula and project-based learning, using the campus as a real-world laboratory.

- Develop structured student-faculty-operations initiatives (e.g., fellowships or project studios) to co-design and test waste interventions, drawing inspiration from living-lab models.
- Recognize and support student-led initiatives through formal platforms, mentorship, and resource allocation, thereby embedding cultural change.

4. Data and indicators

- Institutionalize periodic waste audits and maintain longitudinal datasets, using CE-aligned indicators such as per capita waste generation, composition, segregation rates, recycling and recovery rates, and clean indices.
- Develop internal or public sustainability dashboards to report performance, support transparency, and create learning opportunities for students and staff.
- Use data to inform decisions, prioritize interventions, and demonstrate progress as part of institutional reporting and accreditation processes.

4.2 Waste as a misplaced resource

The CCWS Model reframes campus waste as a misplaced resource whose value can be unlocked through CE strategies (Voukkali et al., 2023; Vergani, 2024). Organic waste can become compost or biogas feedstock, reducing fertilizer and energy costs and contributing to regenerative practices. Recyclables can support formal recycling value chains and generate modest revenues, while repair and reuse hubs can extend product life and reduce procurement requirements (Pandey et al., 2023). E-waste management can recover valuable materials and reduce environmental risks, contributing to broader plastic and electronic waste mitigation goals in India. (Urkude & Jigeesh, 2025)

This reframing aligns with national narratives around sustainable lifestyles and CE, and supports HEIs in demonstrating leadership in climate and resource policy implementation. It also provides a rich context for experiential learning, where students can develop systems thinking, collaboration, and problem-solving competencies.

4.3 Role of student initiatives and living labs

Student initiatives are essential to shifting campus culture but need stronger institutional embedding to move from episodic activities to sustained, systemic impact. Living-lab approaches suggest that when students are formally integrated as co-designers and co-implementers of waste interventions—supported by faculty, operations units, and data systems—innovation becomes more robust and scalable. The CCWS Model thus positions student-led action not as peripheral activism but as a core component of governance, infrastructure testing, and data-driven learning.

5. Conclusion

This paper develops a generic Circular Campus Waste Systems (CCWS) Model for Indian HEIs, grounded in CE principles and informed by zero-waste HEI guidance, campus sustainability indicators, and plastic waste management research. It shows that while many HEIs have begun implementing green campus practices, waste systems remain largely linear

and fragmented. The CCWS Model offers an integrated framework that connects governance, infrastructure, pedagogy, and data, enabling HEIs to transition from incremental recycling to systemic circular, zero-waste ecosystems. (Urkude & Jigeesh, 2025)

A phased implementation roadmap can help HEIs operationalize this shift:

- Phase 1: establish baselines through audits and achieve quick wins in segregation and composting;
- Phase 2: align governance and procurement with CE goals and activate living-lab style student–faculty–operations projects;
- Phase 3: scale successful interventions, institutionalize data systems and dashboards, and build external partnerships with recyclers and communities.

By pursuing such a roadmap, Indian HEIs can reduce landfill dependence, lower operational costs, support local livelihoods, and strengthen graduates' competencies in circular thinking and sustainable lifestyles, contributing to broader national CE transitions (Pandey et al., 2023).

References

1. Dr. M.G.R. Educational and Research Institute. (2023). *Green and smart campus policy*.
2. Urkude, S., & Jigeesh, N. (2025). Building circular campuses for sustainable development of higher education institutes – Evidence from India. *Academy of Marketing Studies Journal*, 29(3), 1–13.
3. International Council for Circular Economy. (2025). *Zero waste in higher education institutions* (International Zero Waste Day Report).
4. International Council for Circular Economy. (2025, January 26). *Driving circular economy in higher education*.
5. Voukkali, I., Papamichael, I., Loizia, P., Lekkas, D. F., Rodríguez-Espinosa, T., Navarro-Pedreño, J., & Zorpas, A. A. (2023). Waste metrics in the framework of circular economy. *Waste Management & Research*, 41(12), 1741–1753.
6. Pandey, P., Dhiman, M., Kansal, A., & Subudhi, S. P. (2023). Plastic waste management for sustainable environment: techniques and approaches. *Waste Disposal & Sustainable Energy*.
7. Dawodu, A., Dai, H., Zou, T., Zhou, H., Lian, W., Oladejo, J., & Osebor, F. (2022). Campus sustainability research: Indicators and dimensions to consider for the design and assessment of a sustainable campus. *Heliyon*, 8(12), e11864.
8. Vergani, F. (2024). Higher education institutions as a microcosm of the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 435, 140592..