

CONFERENCE BOOK



AVRASYA
14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
OCTOBER 17-19, 2025
TBİLİSİ

ISBN : 978-625-5694-42-3

ACADEMY GLOBAL PUBLISHING HOUSE





**AVRASYA
14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
OCTOBER 17-19, 2025
TBILISI**

**Edited By
ASSIS. PROF. DR. MEHDI MESKINI HAYDARLOU**

**Issued: 10.11.2025
ISBN: 978-625-5694-42-3**

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :

**In the conference 33 papers have been presented by Turkish participants and 49 papers
by foreign participants.**

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

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

CONFERENCE ID

**AVRASYA
14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES**

DATE – PLACE
OCTOBER 17-19, 2025
TBILISI

ORGANIZATION
ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

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

PARTICIPATING COUNTRIES
Turkey – Iran – Egypt – Serbia- Eritrea- Russia- Ethiopia- Kyrgyzstan- Oman-
Singapore- Taiwan- India- Pakistan- Mexico- Brazil- Philippines- Argentina- Chile-
Colombia- Netherlands- Japan- Algeria- Italy- Belarus-

-

PRESENTATION
Oral presentation

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Üniversitesi

Prof. Dr. Ali Bilgili - Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Naile Bilgili - Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Başak Hanedan - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Hajar Huseynova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Dwi Sulisworo - Ahmad Dahlan University

Prof. Zain Musa - Royal Academy of Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain - NICMAR University

Prof Yakup Babayev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Suyatno - Ahmad Dahlan University

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

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

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Belkıs Özkara - Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna - Zarmed University

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

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

Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - Ataturk Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Munzur Üniversitesi

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

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

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

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Dicle Üniversitesi

Assoc. Prof. Dody Hartanto - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Nazile Abdullazade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

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

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

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

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - New Bulgarian Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari - Tebriz Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş - Gazi Üniversitesi

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

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

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi

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

Assoc. Prof. Dr. Sevrə Fırıncıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

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

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

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Üniversitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Türkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Türkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Türkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Türkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Türkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Türkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Türkiye

Prof. Dr. Bülent Kurtişoğlu – Türkiye

Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan

Prof. Dr. Dwi Sulisworo – Indonesia

Prof. Dr. Natalia Latygina – Ukraina

Prof. Dr. Yunir Abdrahimov – Russia

Prof. Muntazir Mehdi – Pakistan

Prof. Dr. T.Venkat Narayana Rao – India

Prof. Dr. İzzet Gümüş – Türkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Türkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Türkiye

Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China

Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan

Prof. Dr. Suyatno – Indonesia

Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain – India

Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran

Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia

Prof. Dr. Guler Yenice – Türkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Türkiye

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye

Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye

Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Türkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevrâ Fırıncıoğulları - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Türkiye

- Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan
- Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaijan
- Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azerbaijan
- Assoc. Prof. Dr. Ali Vandshoari – İran
- Assoc. Prof. Dr. Dinara Fardeeva – Rusya
- Assoc. Prof. Dr. Göksel Ulay – Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizistan
- Assist. Prof. K. R. Padma – India
- Assist. Prof. Dr. Omid Afghan - Afghanistan
- Assist. Prof. Dr. Maha Hamdan Alanazi - Saudi Arabia
- Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich Altayev - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Amina Salihi Bayero – Nigeria
- Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif Fakheer - Jordania
- Assist. Prof. Dr. Dody Hartanto - Indonesia
- Assist. Prof. Dr. Ihwan Ghazali - Malaysia
- Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heyladou – Iran
- Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Ozbekistan
- Assist. Prof. Dr. Kalemkas Kalibaeva – Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Bouaraour Kamel – Algeria
- Assist. Prof. Dr. Alia R. Masalimova - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Amanbay Moldibaev - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Ayslu B. Sarsekenova - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Bhumika Sharma - India
- Assist. Prof. Dr. Gulşat Şugaeva – Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. K.A. Tleubergenova - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Cholpon Toktosunova – Kirgizia
- Assist. Prof. Dr. Hoang Anh Tuan – Vietnam
- Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Türkiye

- Assist. Prof. Dr. Botagul Turgunbaeva - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Dinarakhan Tursunalieva - Kirgizia
- Assist. Prof. Dr. Yang Zitong – China
- Assist. Prof. Dr. Gulmira Abndirasulova – Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Imran Latif Saifi – South Africa
- Assist. Prof. Dr. Murat Genç – Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India
- Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania
- Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan
- Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan
- Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines
- Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam
- Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Türkiye
- Dr. Mehmet Nuri Ödük – Türkiye
- Dr. Ayşe Baran - Türkiye
- Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan
- Dr. Sonali Malhotra – India
- Dr. Amaneh Manafidizaji - Iran



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 : tipfaksek@gmail.com Web : www.gantep.edu.tr/~tipdekanlik/bilgipaketi

Kep Adresi : gauntipdek@hs01.kep.tr

Bilgi için : Hüseyin Temel
Unvanı : Bilgisayar İşletmeni V.



AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
ARTAsya 4TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
October 17-19, 2025
TBILISI

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

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

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224



ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

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

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 17-19, 2025 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ekim / Oct 17, 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	Assoc. Prof. Dr. Ali Rıza DENİZ	1	HALIÇ BÖLGESİNDEKİ RADON (RN-222) KONSANTRASYONLARININ MEVSİMSEL İNCELENMESİ	Laman Seyfiyeva Dr. Benin Toklu Alicli
		2	İKİ BOYUTLU AgI VE AuI MALZEMELERİNİN TERMoeLEKTRİK ÖZELLİKLERİ	Burak ARAS Doç. Dr. , Yelda KADIOĞLU
		3	FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF HIGH-PERFORMANCE Au/PENTACENE/p-Si HYBRID SCHOTTKY PHOTODIODES	Assoc. Prof. Dr. Ali Rıza DENİZ
		4	ELECTRICAL AND OPTICAL CHARACTERIZATION OF HIGHLY CONDUCTING PEDOT:PSS INTERLAYERED AU/p-Si HYBRID SCHOTTKY PHOTODIODES	Assoc. Prof. Dr. Ali Rıza DENİZ
		5	THE IMPORTANCE OF SCADA SYSTEMS IN ELECTRIC NETWORKS	Asst. Prof. Dr., İbrahim Çağrı BARUTÇU Asst. Prof. Dr., Erşan Ömer YÜZER Lecturer, Emrah HARMANCI
		6	GROUNDING AND SAFETY PRECAUTIONS IN ELECTRICAL INSTALLATIONS	Asst. Prof. Dr., Erşan Ömer YÜZER Asst. Prof. Dr., İbrahim Çağrı BARUTÇU Lecturer, Emrah HARMANCI
		7	REGENERATIVE BRAKING SYSTEM WITH BRUSHLESS DIRECT CURRENT MOTOR DRIVE FOR ELECTRIC BICYCLES	Emircan HIZARCI Mustafa Gökhan DAĞHAN Mohammad Ruhul Amin BHUIYAN Hayati MAMUR
		8	FOUR WHEEL DRIVE ELECTRIC LAND VEHICLE ELECTRONIC SYSTEM DESIGN	Mustafa AKYÜZ Mohammad Ruhul Amin BHUIYAN Hayati MAMUR

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 17-19, 2025 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ekim / Oct 17, 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. Selahattin BARDAK	1	FROBENIUS NUMBER AND GENUS IN NUMERICAL SEMIGROUPS OF FIXED DETERMINING NUMBER FIVE	Mehmet Sait ALAKUŞ Prof. Dr. Sedat İlhan
		2	TYPE SEQUENCES OF NUMERICAL SEMIGROUPS DETERMINED BY FIVE DETERMINANTAL NUMBERS	Mehmet Sait ALAKUŞ Prof. Dr. Sedat İlhan
		3	THE EXTENSION OF THE CONCEPT OF STRONG SUMMABILITY THROUGH MODULUS FUNCTIONS	Asst. Prof. Dr. Dinçer Atasoy
		4	ARTIFICIAL INTELLIGENCE-SUPPORTED OPTIMIZATION AND REGRESSION MODELING OF METEOROLOGICAL DATA	Asst. Prof. Dr. Dinçer Atasoy
		5	DETERMINING CAMPAIGN PREFERENCES IN ONLINE SHOPPING WITH ASSOCIATION ANALYSIS	Prof. Dr. Kinyas POLAT Prof. Dr. Selahattin BARDAK Prof. Dr. Timuçin BARDAK
		6	PREDICTION OF BATTERY-CHARGED AND CHARGED HYBRID ELECTRIC VEHICLE PREFERENCES USING RANDOM FOREST MODEL	Prof. Dr. Selahattin BARDAK Prof. Dr. Kinyas POLAT Prof. Dr. Timuçin BARDAK
		7	SEDANER BİREYLERİN FİZİKSEL VE PSİKOLOJİK ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCENLENMESİ	Prof. Dr., Umut CANLI
		8	ORTAOKUL ÖĞRENCİLERİNDE GÖRSEL ÇALIŞMA BELLEĞİ VE FİZİKSEL PERFORMANS ARASINDAKİ İLİŞKİ	Prof. Dr., Umut CANLI

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 17-19, 2025 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ekim / Oct 17, 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. Ümit AYATA	1	POMOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF AMASYA APPLE (MALUS DOMESTICA) GENOTYPES GROWN IN NİĞDE-TURKEY	Osman KURUDERE Research Assist. Merve KARAKOYUN MUTLUAY Assoc. Prof. Dr. Şeyma ARIKAN Prof. Dr. Muzaffer İPEK
		2	FRUIT CHARACTERISTICS OF SOME HIGH-POTENTIAL PARENTAL TOMATO LINES	Arş. Gör. Dr. Ünal KAL Prof. Dr. Önder TÜRKMEN
		3	ECOSYSTEM-BASED PLANTING DESIGN AND EXAMPLES FROM THE WORLD	Res. Asst., İlknur Yazıcı Prof. Dr., Engin Eroğlu
		4	DEVELOPMENT OF A CU-BTC MODIFIED PENCIL GRAPHITE ELECTRODE FOR ELECTROCHEMICAL DETERMINATION OF GLUTATHIONE IN DIETARY SUPPLEMENT SAMPLES	Chemist PhD Student, DENİZ KÜPÇÜK Öğr. Gör. Dr. GİZEM YILDIRIM BAŞTEMUR Prof. Dr. SABRİYE PERÇİN ÖZKORUCUKLU
		5	TOXICOLOGICAL EFFECTS OF SELECTED FOOD ADDITIVES ON BRAIN AND OVARY: A BIOCHEMICAL PERSPECTIVE	Dr. Öğr. Üyesi Serpil AYGÖRMEZ Prof. Dr. Mushap KURU Prof. Dr. Fatih Mehmet KANDEMİR
		6	Does the Shore D hardness property of wood change with the heat treatment applied to any wooden material at 200 degrees?	Doç. Dr. Osman ÇAMLİBEL Doç. Dr. Abdi ATILGAN Doç. Dr. Ümit AYATA
		7	Effects of Some Bleach Chemicals on Surface Properties of Pericopsis Wood	Prof. Dr. Hüseyin PEKER Doç. Dr. Göksel ULAY Doç. Dr. Ümit AYATA
		8	A Study on Different Applications for Color Changing in Korina Wood	Doç. Dr. Abdi ATILGAN Prof. Dr. Hüseyin PEKER Doç. Dr. Ümit AYATA
		9	Application of Wood Preservative Chemicals Prepared with Different Properties on Ebiara Wood	Doç. Dr. Osman ÇAMLİBEL Doç. Dr. Göksel ULAY Doç. Dr. Ümit AYATA

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 17-19, 2025 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ekim / Oct 17, 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	Doç. Dr. Mehmet UZUN	1	ANALYSIS OF THE EFFECTS OF REINFORCEMENT METAL USAGE IN THE OVERLAP REGION ON THE STRENGTH OF ADHESIVE-BONDED JOINTS	Makine Müh. Rumeysa ÇELİK Prof. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ
		2	DÖRTDÖNERLERDE SES GÜRÜLTÜSÜ KAYNAKLARININ İNCELENMESİ	Tolga DOĞAN Prof. Dr. İlhami YİĞİT
		3	FIRE PERFORMANCE OF CONCRETE	Doç. Dr. Mehmet UZUN Dr. Sıtkı Alper ÖZDEMİR
		4	RECENT DEVELOPMENTS IN GEOPOLYMER CONCRETES IN TERMS OF MATERIALS AND ENVIRONMENTAL IMPACT	Doç. Dr. Mehmet UZUN Dr. Sıtkı Alper ÖZDEMİR
		5	ESTABLISHING READY-MADE TENT CITY PLANS FOR EMERGENCY SHELTER NEEDS: THE CASE OF ARSUZ DISTRICT	Dr.Öğr.Üyesi Sıtkı Alper ÖZDEMİR Doç.Dr. Mehmet UZUN
		6	RECONSTRUCTION AFTER THE FEBRUARY 6 EARTHQUAKES; ANALYSIS OF PROJECT AREAS	Dr.Öğr.Üyesi Sıtkı Alper ÖZDEMİR Doç.Dr. Mehmet UZUN
		7	ANALYSIS OF THE EFFECTS OF DIFFERENT PIPE STRUCTURES ON THE ECONOMIST	Öğr. Gör., Berna AKMEŞE Doç. Dr., Tarkan KOCA
		8	ECONOMIST PERFORMANCE BY PIPE TYPE	Öğr. Gör., Berna AKMEŞE Doç. Dr., Tarkan KOCA

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ekim / Oct 17, 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. Dr. Viktor Kuzniatsou Dr. Hanna Barysava	1	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIO-BASED POLYMER NANOCOMPOSITES FOR ENVIRONMENTAL APPLICATIONS	Prof. Dr. Arjun Mehta Dr. Kavita Ramesh Anil Verma
		2	INVESTIGATION OF CATALYTIC ACTIVITY IN TRANSITION METAL OXIDES FOR GREEN HYDROGEN PRODUCTION	Assoc. Prof. Dr. Priya Nair Rajesh Menon Prof. Dr. Harish Venkatesh Dr. Sandeep Choudhary Ryo Tanaka
		3	DESIGN OF NOVEL ORGANOMETALLIC COMPLEXES AS EFFICIENT PHOTOCATALYSTS UNDER VISIBLE LIGHT	Dr. Neha Kapoor
		4	ENHANCED SUPERCAPACITOR PERFORMANCE USING GRAPHENE-BASED HYBRID MATERIALS	Prof. Dr. Kenji Nakamura Dr. Aiko Matsuda
		5	ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CERIUM-DOPED OXIDE FILMS FOR SENSOR APPLICATIONS	Assoc. Prof. Dr. Haruto Yamashita Ayaka Fujimoto Takuya Morimoto
		6	DEVELOPMENT OF ADVANCED THERMALLY STABLE POLYIMIDES FOR SPACE MATERIALS	Dr. Naoki Sugahara Prof. Dr. Emi Kobayashi Hanae Watanabe
		7	SPECTROSCOPIC ANALYSIS OF METAL-LIGAND INTERACTIONS IN RARE EARTH COMPLEXES	Assoc. Prof. Dr. Viktor Kuzniatsou Dr. Hanna Barysava Aliaksandr Ramanau
		8	STRUCTURAL AND OPTICAL CHARACTERIZATION OF SILVER-DOPED ZINC OXIDE NANOPARTICLES	Dr. Maryia Karatkevich Prof. Dr. Pavel Zhurko Dzmitry Asanau

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ekim / Oct 17, 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	Assoc. Prof. Dr. Yumi Kagawa	1	UNDERSTANDING THE MECHANICAL BEHAVIOR OF NOVEL COMPOSITE MATERIALS UNDER HIGH STRESS CONDITIONS	Prof. Dr. Karim Bensalem Ahmed Ziane
		2	ADVANCES IN NANOSTRUCTURED CERAMIC COATINGS FOR HIGH-TEMPERATURE APPLICATIONS	Assoc. Prof. Dr. Samira Haddad Dr. Mourad Belkacem Leila Ould Amar
		3	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FOR MEDICAL USE	Noureddine Boukhalfa Prof. Dr. Farida Benamara Yuki Matsumoto
		4	ENHANCING THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF GRAPHENE-BASED COMPOSITES	Hiroshi Tanaka Assoc. Prof. Dr. Keiko Sato
		5	DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT METAL ALLOYS FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY	Dr. Akira Fujimoto
		6	OPTIMIZATION OF THERMOELECTRIC MATERIALS FOR ENERGY HARVESTING	Assoc. Prof. Dr. Yumi Kagawa
		7	CORROSION RESISTANCE IMPROVEMENT IN ADVANCED STEEL GRADES	Dr. Martijn de Vries Lars van den Berg Sander Visser Femke de Groot
		8	3D PRINTING OF FUNCTIONAL POLYMER COMPOSITES FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS	Prof. Dr. Anneke Jansen

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ekim / Oct 17, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. Angelica Reyes	1	UNDERSTANDING THE IMPACT OF NURSING INTERVENTIONS ON PATIENT RECOVERY RATES	Prof. Dr. Ahsan Malik Dr. Sana Qureshi Ali Raza Hamid Ali
		2	EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF COMMUNITY HEALTH NURSING PROGRAMS IN RURAL AREAS	Assoc. Prof. Dr. Farah Naz
		3	NURSES' ROLE IN PROMOTING MENTAL HEALTH AWARENESS AMONG ADOLESCENTS	Dr. Maria Lopez Catalina Rojas Sofia Alvarez
		4	ASSESSING THE QUALITY OF CARE IN INTENSIVE CARE UNITS THROUGH NURSING AUDITS	Claudia Herrera Prof. Dr. Ignacio Soto
		5	THE INFLUENCE OF CONTINUOUS PROFESSIONAL DEVELOPMENT ON NURSING PERFORMANCE	Isabel Vargas Dr. Felipe Molina
		6	EXPLORING PATIENT SATISFACTION LEVELS IN HOSPITAL NURSING SERVICES	Marie Santos Assoc. Prof. Dr. Juan dela Cruz
		7	NURSES' PERCEPTIONS OF TELEHEALTH IMPLEMENTATION DURING PANDEMIC TIMES	Dr. Angelica Reyes Ramon Bautista
		8	INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN NURSE STAFFING AND PATIENT SAFETY OUTCOMES	Lea Fernando Prof. Dr. Michael Tan Cristina Lopez
		9	STRATEGIES FOR IMPROVING NURSING CARE IN CHRONIC DISEASE MANAGEMENT	Dr. Josefa Mendoza Assis. Prof. Dr. Ricardo Pineda Angela Cruz

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ekim / Oct 17, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Prof. Dr. Chun-Yi Huang	1	PHARMACEUTICAL NANOPARTICLE DELIVERY SYSTEMS FOR TARGETED CANCER THERAPY	Prof. Dr. Adeel Khan Dr. Maria Iqbal Assis. Prof. Dr. Salman Ahmed
		2	ADVANCES IN HERBAL MEDICINE FORMULATIONS AND THEIR PHARMACOLOGICAL EFFECTS	Dr. Hina Shah Assoc. Prof. Dr. Farhan Ali
		3	NOVEL SYNTHETIC ROUTES FOR ANTI-DIABETIC DRUGS AND THEIR BIOAVAILABILITY	Prof. Dr. Rizwan Qureshi Dr. Sana Tariq Dr. Imran Bashir
		4	APPLICATION OF LIPOSOMAL CARRIERS IN ANTIVIRAL THERAPY	Dr. Mei-Ling Chen Assis. Prof. Dr. Wei-Hao Lin
		5	PHARMACOKINETIC MODELING OF NEW ANTI-INFLAMMATORY COMPOUNDS	Prof. Dr. Chun-Yi Huang
		6	EVALUATION OF DRUG INTERACTIONS IN POLYPHARMACY AMONG ELDERLY PATIENTS	Dr. Salim Al-Mahri
		7	DESIGN AND DEVELOPMENT OF SUSTAINED-RELEASE ORAL DOSAGE FORMS	Prof. Dr. Khalid Al-Riyami Dr. Mariam Al-Busaidi Dr. Saif Al-Hinai
		8	INVESTIGATING THE ANTICANCER POTENTIAL OF MARINE-DERIVED COMPOUNDS	Dr. Layla Al-Farsi Assis. Prof. Dr. Nasser Al-Hadhrani

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ekim / Oct 17, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Prof. Dr. Nurzat Sadykova Assoc. Prof. Dr. Bakytbek	1	INNOVATIVE STRUCTURAL DESIGN APPROACHES FOR EARTHQUAKE-RESISTANT BUILDINGS USING ADVANCED SIMULATION TOOLS	Prof. Dr. Nurzat Sadykova Assoc. Prof. Dr. Bakytbek Tursunov Aizada Kalykova
		2	OPTIMIZATION OF HYDROPOWER TURBINE BLADES THROUGH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANALYSIS	Dr. Ulan Bekturov Nursultan Tashiev Zhypargul Aitmatova
		3	SMART SENSOR INTEGRATION FOR IMPROVED ROAD SAFETY IN AUTONOMOUS VEHICLE SYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Aibek Mamatov Tilek Kudaibergenov Asel Zhantoro
		4	DEVELOPMENT OF LOW-COST SOLAR WATER HEATING SYSTEMS FOR RURAL COMMUNITIES	Prof. Dr. Mekdes Abebe Abel Getachew Fikirte Degu
		5	ENHANCED BIOMASS GASIFICATION TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE ENERGY PRODUCTION	Dr. Tesfaye Alemu Assoc. Prof. Dr. Mulugeta Fikadu Sara Kidane
		6	STRUCTURAL OPTIMIZATION OF BAMBOO-BASED COMPOSITE MATERIALS FOR GREEN CONSTRUCTION	Hanna Girma Dr. Yonas Tilahun Prof. Dr. Lemlem Tadesse
		7	THERMAL MANAGEMENT IN ELECTRIC VEHICLES USING ADVANCED PHASE CHANGE MATERIALS	Assoc. Prof. Dr. Pavel Smirnov Dr. Irina Volkova Mikhail Andreev
		8	AI-BASED PREDICTIVE CONTROL SYSTEMS FOR INDUSTRIAL ROBOTIC APPLICATIONS	Prof. Dr. Elena Kravchenko Dmitry Belov Alexei Ivanov

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 17 Ekim / Oct 17, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Dr. Meron Bekele Assoc. Prof. Dr. Tsegaye Alemu	1	IMMUNE RESPONSE AND VACCINE EFFICACY IN DAIRY CATTLE	Prof. Dr. Reza Moradi Dr. Sahar Ahmadi Ali Tavakoli
		2	ADVANCES IN DIAGNOSIS AND TREATMENT OF CANINE PARVOVIRUS INFECTIONS	Assoc. Prof. Dr. Nima Ghasemi Leila Farhadi
		3	EVALUATION OF ANTI-PARASITIC DRUGS IN SHEEP FLOCKS: RESISTANCE PATTERNS	Dr. Hossein Kiani Mohammad Rezaei
		4	PREVALENCE AND MOLECULAR CHARACTERIZATION OF AVIAN INFLUENZA IN POULTRY FARMS	Dr. Meron Bekele Assoc. Prof. Dr. Tsegaye Alemu
		5	NUTRITIONAL INTERVENTIONS TO IMPROVE REPRODUCTION IN DAIRY GOATS	Mesfin Tesfaye Dr. Hana Belay
		6	STRATEGIES FOR CONTROLLING BOVINE TUBERCULOSIS IN LARGE HERDS	Dr. Ahmed Hassan Prof. Dr. Mohamed El-Sayed
		7	EPIDEMIOLOGICAL STUDY OF FLEA-BORNE DISEASES IN DOMESTIC CATS	Sara Kamal Dr. Youssef Mansour Ali El-Mahdy
		8	EFFECT OF ENVIRONMENTAL STRESS ON POULTRY IMMUNE FUNCTION	Dr. Hani Salah Nouran Abdelrahman

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 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	Assoc. Prof. Dr. Süleyman BALCI	1	PSYCHOLOGICAL RESILIENCE AND CAREER BARRIERS OF UNIVERSITY STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. Süleyman BALCI PhD. Student, İbrahim BAYAM
		2	PERCEIVED CAREER OBSTACLES, PSYCHOLOGICAL RESILIENCE, AND FUTURE ANXIETY AMONG UNIVERSITY STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. Süleyman BALCI PhD. Student, Gizem Nurhan DAĞLI
		3	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN EVLENME VE ÇOCUK SAHİBİ OLMAYA İLİŞKİN NİYET VE ALGILARININ İNCELENMESİ	Dr. Öğr. Üyesi Esra ÇEBİ Psikolog Abdullah YAZICIOĞLU Psikolog Gürhan TAŞCI
		4	CONFLICT RESOLUTION STYLES AND MARITAL SATISFACTION IN MARRIED COUPLES: A LITERATURE REVIEW	Psikolojik Danışman, İlayda Koca Dr. Öğr. Üyesi , Bahar Mete Otlu
		5	A LITERATURE REVIEW ON THE LIFE EXPERIENCES OF PARENTS OF CHILDREN WITH INTELLECTUAL DISABILITIES IN TÜRKİYE	Psikolojik Danışman, Fatma Maden Taştan Dr. Öğr. Üyesi , Bahar Mete Otlu
		6	SUÇ VE BAĞIMLILIK ARASINDAKİ İLİŞKİ: PSİKOSOSYAL BİR DEĞERLENDİRME	Dr. Öğr. Üyesi Dilan Malgaz Güçlü Uzm. Klinik Psk. Büşra Yağmur
		7	SECONDARY TRAUMA, EMPATHY AND PERCEIVED STRESS IN ADULTS: THE BOLU HOTEL FİRE	Yüksek Lisans Öğrencisi, İrem Nur Çakıroğlu, Dr. Öğretim Üyesi, Bahar Akoğlu,

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 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	Dr. Gültekin Gürçay	1	WAYS TO DEVELOP SOFT SKILLS IN PRESCHOOL CHILDREN	Vusala Aliyeva Sardar gizi
		2	THE ACADEMIC OUTLOOK OF STUDIES ON INSTRUCTIONAL PLANNING IN TURKEY	Ömer PEKTAŞ Prof. Dr. Burhan AKPINAR
		3	The Problem of Unappointed Teachers in Turkey From an Employment Perspective	Dr. Öğr. Üyesi Esra Nur AKPINAR
		4	An Examination of High School Students' Reactions to Loss and Grief	Prof. Dr. Ferda AYSAN Prof. Dr. Seher BALCI ÇELİK
		5	SCIENTIFIC MAPPING OF THE FIELD OF TEACHER PROFESSIONALISM: A BIBLIOMETRIC STUDY BASED ON JOURNAL ARTICLES (1971–2024)	Öğr. Gör. Sezai ÖZEL Doç. Dr. Muhammed ZİNCİRLİ
		6	AN EXAMINATION OF TEACHER CANDIDATES ATTITUDES TOWARD SPECIAL EDUCATION: A PRIMARY EDUCATION CASE STUDY	Orhan Onur YÜKSEL Burak Can AKAY Doc.Dr. Neşe Kutlu Abu

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 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	Prof. Dr. Nurettin GÜLMEZ	1	TOPLUMSAL DÜZEN PROBLEMİNE FARKLI YAKLAŞIMLAR	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI
		2	Karen Horney's Theory of Alienation; Neurotic Sadistic Tendencies and Modern Man	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI
		3	Azerbaijani language and corpus linguistics	Prof. Dr. Hajar Huseynova
		4	THE IDEOLOGICAL INSTRUMENTALIZATION OF LITERARY FIGURES: THE CASE OF PARVIN E'TESAMI	Dr.Öğr.Üyesi, Ayşe SOSAR
		5	THE REPRESENTATION OF THE "OTHER" IN SADEGH HEDAYAT'S PLAYS	Dr.Öğr.Üyesi, Ayşe SOSAR
		6	INSULTING OFFENSES COMMITTED AGAINST LEGAL ENTITIES IN MANİSA ACCORDİNG TO ARCHİVAL RECORDS (1923-1950)	Prof. Dr. Nurettin GÜLMEZ
		7	VARIOUS PROBLEMS EXPERİENCED BY THOSE SUBJECTED TO COMPULSORY RESETTLEMENT İN MANİSA (1923-1950)	Prof. Dr. Nurettin GÜLMEZ
		8	AHIR ZAMANDA KENDİNİ GÜÇLENDİRMEK	Zulfa Annajah Zelviana

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 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	Assoc. Prof. Rumeysa AKGÜN	1	NOVEL STUDIES ON THE USE OF BEE POLLEN AND TEA PLANT AS A FUNCTIONAL ADDITIVES IN MUSCLE FOODS	Dr, Aydın KILIC
		2	MEKÂNSAL MİNİMALİZM VE KAPSÜL OTEL DENEYİMİ: GENÇ KULLANICILAR ÜZERİNDEN BİR DEĞERLENDİRME	Mert Can Ekiz Prof.Dr. Deniz Demirarslan
		3	MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİ VE TURİZM ARASINDAKİ ETKİLEŞİM: SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK BAĞLAMINDA NİTEL BİR ARAŞTIRMA	Dr. Elanur MUTLU
		4	TOPLUMSAL CİNSİYET BAĞLAMINDA MUTFAK	Yüksek Lisans Öğrencisi, Doğa Şevval ŞENER
		5	INVESTIGATION OF SUBSTANCE USE TENDENCIES OF FEMALE UNIVERSITY STUDENTS ACCORDING TO THEIR SOCIODEMOGRAPHIC CHARACTERISTICS	Seda Nur BAYINDIR TÜMER Assoc. Prof. Rumeysa AKGÜN
		6	Examining Fear of Compassion in Adults in Terms of Different Variables	Arş. Gör. Seda ERKUŞ DEMİR Doç. Dr. Rumeysa AKGÜN
		7	İKİNCİL TRAVMATİK STRES ÜZERİNE EKŞİ SÖZLÜK YORUMLARININ NİTEL ANALİZİ	Prof. Dr. Oğuzhan ZENGİN
		8	YAPAY ZEKA VE SOSYAL HİZMET: ETİK, UYGULAMA VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ	Prof. Dr. Oğuzhan ZENGİN
		9	THE IMPORTANCE OF FAMILY AND EDUCATIONAL INSTITUTIONS IN PREVENTING CHILDREN'S VIOLENCE AND CRIME TENDENCIES	Prof. Dr. İhsan ÇAPCIOĞLU Aygün Aliyeva
		10	SOCIOLOGICAL ANALYSIS ON VALUES EDUCATION	Prof. Dr. İhsan ÇAPCIOĞLU Aygün Aliyeva

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 2025 / 11:30 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Prof. Dr. Almazbek Sadykov	1	THE EVOLUTION OF DIGITAL CONTRACT LAW IN CROSS-BORDER E-COMMERCE	Prof. Dr. Somchay Vannasith Assoc. Prof. Dr. Kethkeo Inthavong Anousone Phommalath
		2	LEGAL FRAMEWORKS FOR ENVIRONMENTAL JUSTICE: A COMPARATIVE STUDY OF RIVER POLLUTION CASES	Dr. Viengkeo Chansamouth Souksavanh Latdavong
		3	PROTECTION OF INDIGENOUS LAND RIGHTS UNDER CONSTITUTIONAL LAW	Keophilavanh Thongbay Sayasith
		4	THE ROLE OF JUDICIAL REVIEW IN STRENGTHENING CONSTITUTIONAL DEMOCRACY	Prof. Dr. Almazbek Sadykov
		5	CYBERSECURITY AND PRIVACY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE REGULATION	Nursultan Akmatov Dr. Gulmira Bektemirova
		6	THE LEGAL DIMENSIONS OF GENDER EQUALITY IN CONTEMPORARY FAMILY LAW	Assis. Prof. Dr. Ulanbek Erkinov
		7	MARITIME LAW CHALLENGES IN SOUTHEAST ASIAN TRADE ROUTES	Dr. Rizky Aditya Saputra Assis. Prof. Dr. Dian Kusumawardani Meerim Duyshenalieva
		8	THE EVOLVING INTERPRETATION OF HUMAN RIGHTS IN INDONESIA CONSTITUTIONAL COURT DECISIONS	Rendra Mahardika Putri Ayu Prameswari

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 2025 / 11:30 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Assoc. Prof. Dr. Ainura Ermekova	1	INNOVATIVE APPROACHES TO ENHANCING RURAL EDUCATION THROUGH DIGITAL LEARNING PLATFORMS	Assoc. Prof. Dr. Khamphay Vilayphong Sengchanh Thammavong Dr. Nalin Phommasane
		2	ASSESSING THE IMPACT OF BILINGUAL CURRICULA ON STUDENT PERFORMANCE IN PRIMARY SCHOOLS	Prof. Dr. Viengkham Phanouvong Souksavanh Keosavang
		3	TEACHER TRAINING AND PEDAGOGICAL TRANSFORMATION IN THE CONTEXT OF INCLUSIVE EDUCATION REFORMS	Dr. Khamphet Souvannavong Thidachan Inthavong
		4	DIGITAL PEDAGOGY AND ITS ROLE IN IMPROVING STEM EDUCATION AMONG SECONDARY STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. Aigul Bekmuratova Prof. Dr. Ruslan Nogoibekov Bakyt Sadykova
		5	EVALUATING STUDENT MOTIVATION AND SELF-EFFICACY IN HYBRID LEARNING ENVIRONMENTS	Dr. Nurgul Dzhumabayeva Aizada Omurbekova Nurzada Altynbek
		6	INTEGRATING CULTURAL VALUES INTO HIGHER EDUCATION CURRICULA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT	Assoc. Prof. Dr. Ainura Ermekova
		7	THE ROLE OF PROJECT-BASED LEARNING IN DEVELOPING CRITICAL THINKING SKILLS AMONG UNIVERSITY STUDENTS	Dr. Siti Marlina Assoc. Prof. Dr. Rini Kartikasari Andi Prayogo
		8	EXPLORING THE EFFECTIVENESS OF MOBILE LEARNING APPLICATIONS IN IMPROVING LANGUAGE COMPETENCY	Prof. Dr. Dewi Handayani Dr. Rendra Nugraha
		9	TRANSFORMATIVE TEACHING STRATEGIES FOR PROMOTING STUDENT-CENTERED LEARNING IN HIGHER EDUCATION	Dr. Nabila Rahmawati Intan Kusumadewi

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 2025 / 11:30 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Assoc. Prof. Dr. Narmin Aliyeva	1	LANGUAGE, IDENTITY, AND POWER: A DISCOURSE ANALYSIS OF POST-REVOLUTIONARY IRANIAN FICTION	Prof. Dr. Laleh Moradi Dr. Kaveh Esfandiari Nima Parsa
		2	POETIC SYMBOLISM AND MYSTICAL EXPRESSION IN CONTEMPORARY PERSIAN LITERATURE	Assoc. Prof. Dr. Shirin Tabrizi Dr. Mehran Daryaei Leila Bahrami Rashad Ismayilov
		3	TRANSLATION AS CULTURAL NEGOTIATION: COMPARATIVE STUDY OF CLASSIC PERSIAN TEXTS IN ENGLISH RENDITIONS	Dr. Roya Sadighi
		4	LINGUISTIC HYBRIDITY AND POSTCOLONIAL IDENTITY IN MODERN AZERBAIJANI PROSE	Prof. Dr. Elchin Rahimov Assoc. Prof. Dr. Leyla Gurbanova
		5	THE ROLE OF ORAL TRADITION IN PRESERVING NATIONAL CONSCIOUSNESS IN AZERBAIJANI LITERARY HERITAGE	Assoc. Prof. Dr. Narmin Aliyeva Dr. Samir Huseynzade
		6	NARRATIVE STRUCTURES AND MYTHIC ELEMENTS IN AZERBAIJANI EPIC POETRY	Dr. Aysel Mahmudova Tural Hasanli
		7	ROMANIAN LITERATURE IN TRANSITION: INTERTEXTUALITY AND CULTURAL MEMORY AFTER 1989	Prof. Dr. Ioana Muresan Assoc. Prof. Dr. Andrei Petrescu Dr. Ruxandra Iliescu
		8	LINGUISTIC LANDSCAPES OF MINORITY LANGUAGES IN ROMANIA: A SOCIOLINGUISTIC APPROACH	Dr. Sorin Ionescu Cristina Marin
		9	THE EVOLUTION OF FEMALE VOICE IN CONTEMPORARY ROMANIAN POETRY	Assoc. Prof. Dr. Elena Dobre Anca Pavel Radu Iftimie

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 2025 / 11:30 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Prof. Dr. Aizada Sultangazi	1	THE INTERPLAY OF TRADITION AND MODERNITY IN CONTEMPORARY KYRGYZ CERAMIC ART	Prof. Dr. Aizada Sultangazi
		2	VISUAL NARRATIVES OF NOMADIC HERITAGE: SYMBOLISM IN KYRGYZ TEXTILE DESIGN	Assoc. Prof. Dr. Bakytbek Amanov Ainura Toktosheva Dr. Chyngyz Turgunov Dr. Ermek Kubatov Nurzhamal Kudaibergenova
		3	REINTERPRETING THE EPIC OF MANAS THROUGH DIGITAL ART PRACTICES	Aidai Ergeshbekova Dr. Tilek Omuraliev Prof. Dr. Marat Zholdoshev
		4	AESTHETIC VALUES IN TRADITIONAL ETHIOPIAN ICONOGRAPHY: A CONTEMPORARY READING	Assoc. Prof. Dr. Mekdes Abebe Tsegaye Girma Dr. Selamawit Alemu
		5	EXPERIMENTAL MATERIALITY IN MODERN ETHIOPIAN SCULPTURE	Prof. Dr. Dawit Tadesse Hana Bekele Assis. Prof. Dr. Yonas Girmay
		6	CULTURAL MEMORY AND URBAN IDENTITY IN ADDIS ABABA STREET ART	Dr. Rediet Fikadu Mulugeta Admasu Netsanet Lemma
		7	POST-SOVIET TRANSFORMATIONS IN RUSSIAN PERFORMANCE ART	Prof. Dr. Natalia Karpova Dr. Sergey Belov Elena Chudinova

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 2025 / 11:30 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Dr. Raden Bayu Nugroho	1	ECONOMIC IMPACT OF TOURISM SERVICE SECTOR ON REGIONAL DEVELOPMENT	Nino Beridze Prof. Dr. Giorgi Mchedlishvili Levan Kalandadze
		2	DIGITAL TRANSFORMATION IN BANKING SERVICES AND CUSTOMER SATISFACTION	Wayan Suardana Assoc. Prof. Dr. Putu Adi Pranata Ni Luh Ayu Puspitasari
		3	THE ROLE OF MICROFINANCE IN EMPOWERING RURAL ENTREPRENEURS	Ahmad Fahim Dr. Sayed Noor Rahimi
		4	SERVICE INDUSTRY INFLUENCE ON EMPLOYMENT RATES IN URBAN AREAS	Tamar Kvaratskhelia Lasha Gabisonia
		5	ANALYSIS OF E-COMMERCE SERVICES AND CONSUMER TRUST IN INDONESIA	Eka Prasetya Prof. Dr. Anak Agung Putri Dewi Ni Made Ayuningtyas
		6	FINANCIAL INCLUSION THROUGH MOBILE PAYMENT SERVICES	Dr. Raden Bayu Nugroho
		7	STRATEGIC MANAGEMENT IN HOSPITALITY SERVICES: A CASE STUDY	Zarifa Ahmadi Assis. Prof. Dr. Fawad Noori
		8	THE EFFECT OF LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN SERVICES ON ECONOMIC GROWTH	Shorena Japaridze Prof. Dr. Giorgi Lomidze

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Doktor Öğretim Üyesi, AYŞEGÜL KETENCİ	1	THE ZIONIST NARRATIVE OF PALESTINIAN JEWS	Seyed Hadi Borhani
		2	HOPEFUL EXPECTATIONS ABOUT OCTOBER 4th ELECTIONS IN TIFLIS IN 2025	Dr. Natela Borisovna POPKHADZE
		3	CORRUPTION INVESTIGATIONS IN MUNICIPALITIES AND THE CRISIS OF DEMOCRATIC LEGITIMACY: THE CASE OF TURKEY	Prof. Dr. Hakan CANDAN Öğr. Gör. Melike AKPINAR
		4	INTERSECTIONS OF ZIONISM AND GLOBALIZATION: CAPITAL, POLITICS, AND POWER	Prof. Dr. Hakan CANDAN Öğr. Gör. Melike AKPINAR
		5	İNSANSIZ SİSTEMLERİN GÜNÜMÜZ ASKERİ STRATEJİLERİNDEKİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ ROLÜ	Dr. Begüm ÇARDAK
		6	RUSYA-KIRIM İLİŞKİLERİ VE KIRIM'IN İLHAKININ (2014) RUS KAMUOYUNDA VE ULUSLARARASI ARENADAKİ YANSIMALARI	Doktor Öğretim Üyesi, AYŞEGÜL KETENCİ Doçent Doktor, ÇİĞDEM NAS
		7	KARŞILIKLI BAĞIMLILIK EKSENİNDE RUSYA-TÜRKİYE ENERJİ İLİŞKİLERİNİN VE AKKUYU NÜKLEER SANTRALİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Doktor Öğretim Üyesi, AYŞEGÜL KETENCİ

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Prof. Dr. Hüseyin Köse	1	THE MEDIATING ROLE OF HUMAN RESOURCES PRACTICES IN THE EFFECT OF INTERNAL MARKETING ON PSYCHOLOGICAL WELL-BEING	Assoc. Prof. Dr. Ahmet YILDIRIM Assoc. Prof. Dr. Intigam BASHIROV
		2	THE MEDIATING ROLE OF KNOWLEDGE SHARING IN THE IMPACT OF HUMBLE LEADERSHIP ON EMPLOYEE CREATIVITY: AN APPLICATION IN THE AVIATION INDUSTRY	Doç. Dr. Murat BAŞ Doç. Dr. Daimi KOÇAK
		3	POZİTİF PSİKOLOJİK SERMAYE İLE MESLEKİ TÜKENMİŞLİK ARASINDAKİ İLİŞKİDE RUMİNASYONUN ROLÜ	Oğuzhan Berkay DÜNDAR
		4	TRANSMEDIA MARKETING: THE RISE OF SQUID GAME	Doç. Dr. M. Nur ERDEM
		5	THE CONCEPT OF DIASPORA AND THE PERCEPTION OF HOMELAND IN THE SERIES OF ISTANBUL ENCYCLOPEDIA	Prof. Dr. Hüseyin Köse
		6	UEFA EURO 2024 in the Digital Arena: An Examination of Fan Interactions and Debates on Cultural Representation on Social Media Platform X	Dilek YEŞİL Prof. Dr. Mehmet Gökhan GENEL
		7	Power and Visibility on Social Media: An Assessment of Monopolization among Influencers (Content Creators)	Miray ENGİNDENİZ Prof. Dr. Mehmet Gökhan GENEL

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBİLİSİ Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 2025 / 13:00 – 15:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Doç. Dr., Firdevs Sağlam	1	DOĞA TABANLI BİR YAKLAŞIM OLARAK REJENERATİF MİMARLIK	Prof. Dr. ELMAS ERDOĞAN Öğr. Gör. Dr. Evren TANDOĞAN
		2	TASARIMDA EKO-KOZMOPOLİTİK YAKLAŞIM	Öğr. Gör. Dr. Evren TANDOĞAN Prof. Dr. ELMAS ERDOĞAN
		3	THE TRANSFORMATION OF COGNITIVE PROCESS INTO ART: THE WORKS OF TONY CRAGG	Doç. Dr., Firdevs Sağlam
		4	SOCIAL MEMORY AND ART	Doç. Dr., Firdevs Sağlam
		5	MODA VE OYUN EKSENİNDE NİTEL BİR İNCELEME; LEAGUE OF LEGENDS ÖRNEĞİ	Öğr. Gör., Hande Ecem Buluş Öğr. Gör., Sibel Özden Omuzlu
		6	A DOCUMENT ANALYSIS STUDY ON PRODUCTION WORKSHOP PRACTİCES IN THE SECONDARY SCHOOL TURKISH COURSE CURRICULUM	Prof. Dr. Sevda KOÇ AKRAN

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 2025 / 15:0 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Dr. Ferdinand Morales	1	ELITE FORMATIONS AND POLITICAL POWER IN MEDIEVAL GEORGIA	Nino Kalandadze Prof. Dr. Levan Tsintsadze Assoc. Prof. Dr. Maka Chikhradze
		2	THE ROLE OF TRADE ROUTES IN THE ECONOMIC DEVELOPMENT OF ANCIENT GEORGIA	Giorgi Beridze Dr. Salome Gogolashvili Mariami Lomidze
		3	CULTURAL EXCHANGES BETWEEN GEORGIA AND THE BYZANTINE EMPIRE	Assoc. Prof. Dr. Irakli Japaridze
		4	SPANISH COLONIAL IMPACT ON LOCAL GOVERNANCE IN PHILIPPINES	Juan Carlos Rivera Prof. Dr. Maria Elena Santos
		5	RELIGIOUS INFLUENCES ON FILIPINO SOCIETY DURING THE 16TH CENTURY	Assis. Prof. Dr. Angelica Cruz Ramon dela Fuente
		6	REVOLUTIONARY MOVEMENTS AND NATIONAL IDENTITY IN PHILIPPINES	Dr. Ferdinand Morales Lourdes Reyes
		7	SOCIAL REFORMS AND EDUCATION POLICIES IN 19TH CENTURY BANGLADESH	Md. Kamrul Hasan Prof. Dr. Farida Akter
		8	THE IMPACT OF BRITISH COLONIALISM ON BANGLADESHI AGRICULTURE	Shahriar Rahman Assoc. Prof. Dr. Ayesha Chowdhury

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 2025 / 15:0 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Prof. Dr. Thabo Ndlovu	1	UNDERSTANDING ETHICAL DILEMMAS IN CONTEMPORARY SOCIETY	Prof. Dr. Leyla Huseynova Nigar Guliyeva Aysel Mammadova
		2	THE ROLE OF EXISTENTIALISM IN MODERN HUMAN IDENTITY	Assoc. Prof. Dr. Rashad Aliyev
		3	PHILOSOPHICAL FOUNDATIONS OF TECHNOLOGY AND HUMAN VALUES	Dr. Samir Hasanov Elvin Farzaliyev Leyla Karimova
		4	AFRICAN INDIGENOUS PHILOSOPHY AND COMMUNITY WELL-BEING	Prof. Dr. Thabo Ndlovu Amina Jalloh
		5	ETHICS AND SOCIAL JUSTICE IN POSTCOLONIAL AFRICAN STATES	Dr. Kofi Mensah Yaa Asantewaa
		6	EXPLORING AFRICAN METAPHYSICS: SPIRITUALITY AND REALITY	Assis. Prof. Dr. Zanele Khumalo Kwame Boateng
		7	PHILOSOPHICAL PERSPECTIVES ON TRADITION AND MODERNITY IN MONGOLIA	Prof. Dr. Baatar Ganbaatar Saran Bold Erdene Batbold Bilegtsetseg Tsend
		8	THE INFLUENCE OF BUDDHIST THOUGHT ON MONGOLIAN ETHICS	Assis. Prof. Dr. Naranjargal Tsogt
		9	MONGOLIAN PHILOSOPHICAL REFLECTIONS ON NATURE AND HUMANITY	Dr. Tumurbaatar Enkhbayar Oyun-Erdene Bayar

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 2025 / 15:0 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Dr. Giorgi Khachidze	1	INNOVATIVE SERVICE QUALITY STRATEGIES FOR CUSTOMER RETENTION IN SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES	Prof. Dr. Levan Bakuridze Nino Gvaladze Assoc. Prof. Dr. Tamar Shengelia Prof. Dr. Maia Dolidze Natia Beridze
		2	DIGITAL TRANSFORMATION AND CUSTOMER EXPERIENCE MANAGEMENT IN MODERN BUSINESS SERVICES	Dr. Giorgi Khachidze
		3	SUSTAINABLE BUSINESS SERVICE MODELS: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN THE POST-PANDEMIC ERA	Assoc. Prof. Dr. Irakli Maisuradze Dr. David Gelashvili
		4	SERVICE INNOVATION AND TECHNOLOGY ADOPTION IN INDONESIAN HOSPITALITY ENTERPRISES	Assoc. Prof. Dr. Diah Kurniawati
		5	ENHANCING CUSTOMER LOYALTY THROUGH DIGITAL MARKETING AND SOCIAL MEDIA IN SERVICE SECTORS	Made Surya Mahendra Assoc. Prof. Dr. Putu Wibisana Prof. Dr. Ratna Kusumawardani
		6	HUMAN RESOURCE MANAGEMENT PRACTICES AND SERVICE PERFORMANCE IN INDONESIAN PUBLIC INSTITUTIONS	Assoc. Prof. Dr. Anisa Rahmawati
		7	ENTREPRENEURIAL LEADERSHIP AND BUSINESS SERVICE DEVELOPMENT IN AFGHAN STARTUPS	Prof. Dr. Ahmadullah Hamidi Dr. Laila Rahmani Faridullah Sahil
		8	CUSTOMER SATISFACTION AND SERVICE RECOVERY STRATEGIES IN AFGHAN FINANCIAL INSTITUTIONS	Assoc. Prof. Dr. Zabiullah Noori Dr. Mariam Sultani Mohammad Javid

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 2025 / 15:0 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Prof. Dr. Amine Belkacem Assoc. Prof. Dr. Lila Merabet	1	THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENHANCING FINANCIAL INCLUSION THROUGH DIGITAL BANKING	Prof. Dr. Amine Belkacem Assoc. Prof. Dr. Lila Merabet Youssef Hadeif
		2	ANALYSIS OF GREEN FINANCE INITIATIVES IN SUPPORTING SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT	Dr. Karim Benali
		3	THE IMPACT OF FINTECH SOLUTIONS ON MICROENTERPRISE GROWTH IN NORTH AFRICAN ECONOMIES	Assoc. Prof. Dr. Farida Bouzid Nadia Chettouh
		4	INFLUENCE OF CORPORATE GOVERNANCE ON FINANCIAL PERFORMANCE IN JAPANESE MANUFACTURING FIRMS	Prof. Dr. Hiroshi Nakamura Yuki Tanaka Dr. Keisuke Yamamoto
		5	EVALUATING MONETARY POLICY RESPONSES TO ECONOMIC SHOCKS IN POST-PANDEMIC JAPAN	Assoc. Prof. Dr. Aiko Fujimoto
		6	FINANCIAL LITERACY AND SAVINGS BEHAVIOR AMONG JAPANESE YOUTH IN THE DIGITAL AGE	Dr. Haruka Sato
		7	BLOCKCHAIN TECHNOLOGY AND ITS APPLICATION IN IMPROVING TRANSPARENCY OF EUROPEAN BANKING SYSTEMS	Prof. Dr. Willem de Jong Sanne Visser Dr. Pieter van Leeuwen Dr. Thomas Vermeer Eva van Dijk
		8	THE EFFECTS OF ESG INVESTING ON CORPORATE PERFORMANCE IN THE DUTCH FINANCIAL MARKET	Assoc. Prof. Dr. Marieke Bakker
		9	RISK MANAGEMENT STRATEGIES IN DUTCH SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES DURING ECONOMIC UNCERTAINTY	Dr. Jasper de Bruin Anouk Willems Lars Hendriks
		10	THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENHANCING FINANCIAL INCLUSION THROUGH DIGITAL BANKING	Prof. Dr. Amine Belkacem Assoc. Prof. Dr. Lila Merabet Youssef Hadeif

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 2025 / 15:0 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Prof. Dr. Sana Qureshi	1	THE IMPACT OF COMMUNITY-BASED INTERVENTIONS ON ADOLESCENT MENTAL HEALTH IN URBAN SETTINGS	Prof. Dr. Sana Qureshi
		2	SOCIAL POLICY RESPONSES TO GENDER-BASED VIOLENCE: A COMPARATIVE ANALYSIS OF RURAL OUTREACH MODELS	Assoc. Prof. Dr. Imran Khalid Dr. Mehwish Tariq Nida Saeed Dr. Hamza Malik Ayesha Farid
		3	THE ROLE OF FAMILY COUNSELING IN REHABILITATION OF SUBSTANCE ABUSE PATIENTS: CHALLENGES AND STRATEGIES	Yasir Mahmood Samina Gul
		4	CULTURAL ADAPTATION IN ELDERLY CARE SERVICES: INNOVATIVE SOCIAL WORK PRACTICES IN AGING COMMUNITIES	Fatima Rauf Prof. Dr. Haruto Nakamura Dr. Ayaka Sato Dr. Kenji Watanabe
		5	INTEGRATING TECHNOLOGY INTO SOCIAL WORK EDUCATION: LESSONS FROM ONLINE INTERVENTION TRAINING	Assoc. Prof. Dr. Rika Tanaka Dr. Shohei Mori Kaori Ito
		6	CHILD PROTECTION FRAMEWORKS AND DIGITAL RISK PREVENTION: A NEW ERA OF SOCIAL SAFETY IN JAPAN	Dr. Naomi Fujimoto Hiroshi Yamamoto Yuki Matsuda

AVRASYA 14th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 17-19, 2025 TBILISI Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 19 Ekim / Oct 19, 2025 / 15:0 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Assoc. Prof. Dr. Wen-Hsiu Huang	1	UNDERSTANDING THE ROLE OF RELIGIOUS RITUALS IN MODERN AZERBAIJANI SOCIETY	Prof. Dr. Elchin Mammadov Aysel Huseynova
		2	INTERPRETING THE ETHICAL TEACHINGS OF ISLAM THROUGH AZERBAIJANI FOLK TRADITIONS	Assoc. Prof. Dr. Nigar Aliyeva Ramil Safarov
		3	THE IMPACT OF SUFI PHILOSOPHY ON CONTEMPORARY AZERBAIJANI CULTURE	Dr. Tural Guliyev
		4	ANALYSIS OF BUDDHIST PHILOSOPHICAL PRINCIPLES IN TAIWAN'S URBAN SPIRITUAL PRACTICES	Prof. Dr. Mei-Ling Chen Hsiao-Yun Lin
		5	THE EVOLUTION OF RELIGIOUS FESTIVALS AND COMMUNITY COHESION IN TAIWAN	Assoc. Prof. Dr. Wen-Hsiu Huang
		6	INTERRELATIONSHIP BETWEEN CONFUCIAN ETHICS AND RELIGIOUS EDUCATION IN TAIWAN	Chia-Hua Tsai
		7	EXPLORING THE INTERSECTION OF ISLAMIC LAW AND DAILY LIFE IN EGYPTIAN COMMUNITIES	Prof. Dr. Ahmed El-Sayed Layla Hassan Dr. Karim Abdelrahman

Contents

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF HIGH-PERFORMANCE Au/PENTACENE/p-Si HYBRID SCHOTTKY PHOTODIODES	1
ELECTRICAL AND OPTICAL CHARACTERIZATION OF HIGHLY CONDUCTING PEDOT:PSS INTERLAYERED Au/p-Si HYBRID SCHOTTKY PHOTODIODES	10
GROUNDING AND SAFETY PRECAUTIONS IN ELECTRICAL INSTALLATIONS.....	18
THE IMPORTANCE OF SCADA SYSTEMS IN ELECTRIC NETWORKS	25
FOUR WHEEL DRIVE ELECTRIC LAND VEHICLE ELECTRONIC SYSTEM DESIGN.....	32
REGENERATIVE BRAKING SYSTEM WITH BRUSHLESS DIRECT CURRENT MOTOR DRIVE FOR ELECTRIC BICYCLES	38
FROBENIUS NUMBER AND GENUS IN NUMERICAL SEMIGROUPS OF FIXED DETERMINING NUMBER FIVE	46
TYPE SEQUENCES OF NUMERICAL SEMIGROUPS DETERMINED BY FIVE DETERMINANTAL NUMBERS..	51
KUVVETLİ TOPLANABİLİRLİK KAVRAMININ MODÜLÜS FONKSİYONLARIYLA GENİŞLETİLMESİ	58
METEOROLOJİK VERİLERİN YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ OPTİMİZASYONU VE REGRESYON MODELLEME UYGULAMASI	81
AKÜLÜ ŞARJLI VE ŞARJLI HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇ TERCİHLERİNİN RASGELE ORMAN MODELİ İLE TAHMİN EDİLMESİ.....	97
ONLINE ALIŞVERİŞTE KAMPANYA TERCİHLERİNİN BİRLİKTELİK ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ	105
POMOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF AMASYA APPLE (MALUS DOMESTICA) GENOTYPES GROWN IN NİĞDE-TURKEY	119
FRUIT CHARACTERISTICS OF SOME HIGH-POTENTIAL PARENTAL TOMATO LINES.....	132
ECOSYSTEM-BASED PLANTING DESIGN AND EXAMPLES FROM THE WORLD	143
TOXICOLOGICAL EFFECTS OF SELECTED FOOD ADDITIVES ON BRAIN AND OVARY: A BIOCHEMICAL PERSPECTIVE	155
HERHANGİ BİR AHŞAP MALZEMEDE YAPILAN 200 DERECEDEKİ ISIL İŞLEM UYGULAMASI İLE AHŞABA AİT OLAN SHORE D SERTLİK ÖZELLİĞİ DEĞİŞİR Mİ?.....	162
EBİARA ODUNUNDA FARKLI ÖZELLİKLERDE HAZIRLANMIŞ AHŞAP KORUYUCU KİMYASALLARININ UYGULANMASI.....	167
KORİNA ODUNUNDA RENK DEĞİŞTİRME AMAÇLI FARKLI UYGULAMALARIN YAPILMASI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA.....	173
BAZI AĞARTICI KİMYASALLARININ PERİCOPSİS ODUNUNDA YÜZEY ÖZELLİKLERİNDEKİ ETKİLERİ	181
YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ BAĞLANTILARDA BİNDİRME BÖLGESİNDE TAKVİYE METAL KULLANIMININ BAĞLANTI DAYANIMINA ETKİLERİNİN ANALİZİ	187
DÖRTDÖNERLERDE SES GÜRÜLTÜSÜ KAYNAKLARININ İNCELENMESİ.....	201
BETONUN YANGIN PERFORMANSI	215
RECONSTRUCTION AFTER THE FEBRUARY 6 EARTHQUAKES;.....	222
ANALYSIS OF PROJECT AREAS.....	222

MALZEME VE ÇEVRESEL ETKİ AÇISINDAN JEOPOLİMER BETONLARDA GÜNCEL GELİŞMELER	230
ESTABLISHING READY-MADE TENT CITY PLANS FOR EMERGENCY SHELTER NEEDS: THE CASE OF ARSUZ DISTRICT.....	238
FARKLI BORU YAPILARININ EKONOMİZER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ANALİZİ	245
BORU TİPİNE GÖRE EKONOMİZER PERFORMANSI	255
YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ BAĞLANTILARDA BİNDİRME BÖLGESİNDE TAKVİYE METAL KULLANIMININ BAĞLANTI DAYANIMINA ETKİLERİNİN ANALİZİ	265
DEVELOPMENT OF A CU-BTC MODIFIED PENCIL GRAPHITE ELECTRODE FOR ELECTROCHEMICAL DETERMINATION OF GLUTATHIONE IN DIETARY SUPPLEMENT SAMPLES	279
HALIÇ BÖLGESİNDEKİ RADON (RN-222) KONSANTRASYONLARININ MEVSİMSSEL İNCELENMESİ	280
İKİ BOYUTLU AgI VE AuI MALZEMELERİNİN TERMoeLEKTRİK ÖZELLİKLERİ	282
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIO-BASED POLYMER NANOCOMPOSITES FOR ENVIRONMENTAL APPLICATIONS	283
INVESTIGATION OF CATALYTIC ACTIVITY IN TRANSITION METAL OXIDES FOR GREEN HYDROGEN PRODUCTION	284
DESIGN OF NOVEL ORGANOMETALLIC COMPLEXES AS EFFICIENT PHOTOCATALYSTS UNDER VISIBLE LIGHT	285
ENHANCED SUPERCAPACITOR PERFORMANCE USING GRAPHENE-BASED HYBRID MATERIALS	286
ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CERIUM-DOPED OXIDE FILMS FOR SENSOR APPLICATIONS	287
DEVELOPMENT OF ADVANCED THERMALLY STABLE POLYIMIDES FOR SPACE MATERIALS	288
SPECTROSCOPIC ANALYSIS OF METAL-LIGAND INTERACTIONS IN RARE EARTH COMPLEXES	289
STRUCTURAL AND OPTICAL CHARACTERIZATION OF SILVER-DOPED ZINC OXIDE NANOPARTICLES	290
UNDERSTANDING THE MECHANICAL BEHAVIOR OF NOVEL COMPOSITE MATERIALS UNDER HIGH STRESS CONDITIONS	291
ADVANCES IN NANOSTRUCTURED CERAMIC COATINGS FOR HIGH-TEMPERATURE APPLICATIONS	292
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FOR MEDICAL USE	293
ENHANCING THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF GRAPHENE-BASED COMPOSITES	294
DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT METAL ALLOYS FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY.....	295
OPTIMIZATION OF THERMOELECTRIC MATERIALS FOR ENERGY HARVESTING	296
CORROSION RESISTANCE IMPROVEMENT IN ADVANCED STEEL GRADES	297
3D PRINTING OF FUNCTIONAL POLYMER COMPOSITES FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS	298
UNDERSTANDING THE IMPACT OF NURSING INTERVENTIONS ON PATIENT RECOVERY RATES	299
EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF COMMUNITY HEALTH NURSING PROGRAMS IN RURAL AREAS	300
NURSES' ROLE IN PROMOTING MENTAL HEALTH AWARENESS AMONG ADOLESCENTS	301
ASSESSING THE QUALITY OF CARE IN INTENSIVE CARE UNITS THROUGH NURSING AUDITS.....	302
THE INFLUENCE OF CONTINUOUS PROFESSIONAL DEVELOPMENT ON NURSING PERFORMANCE	303
EXPLORING PATIENT SATISFACTION LEVELS IN HOSPITAL NURSING SERVICES	304

NURSES' PERCEPTIONS OF TELEHEALTH IMPLEMENTATION DURING PANDEMIC TIMES.....	305
INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN NURSE STAFFING AND PATIENT SAFETY OUTCOMES ..	306
STRATEGIES FOR IMPROVING NURSING CARE IN CHRONIC DISEASE MANAGEMENT.....	307
PHARMACEUTICAL NANOPARTICLE DELIVERY SYSTEMS FOR TARGETED CANCER THERAPY	308
ADVANCES IN HERBAL MEDICINE FORMULATIONS AND THEIR PHARMACOLOGICAL EFFECTS	309
Keywords: herbal medicine, phytochemistry, pharmacological effects, formulation, integration.....	309
NOVEL SYNTHETIC ROUTES FOR ANTI-DIABETIC DRUGS AND THEIR BIOAVAILABILITY.....	310
APPLICATION OF LIPOSOMAL CARRIERS IN ANTIVIRAL THERAPY.....	311
PHARMACOKINETIC MODELING OF NEW ANTI-INFLAMMATORY COMPOUNDS.....	312
EVALUATION OF DRUG INTERACTIONS IN POLYPHARMACY AMONG ELDERLY PATIENTS	313
DESIGN AND DEVELOPMENT OF SUSTAINED-RELEASE ORAL DOSAGE FORMS.....	314
INVESTIGATING THE ANTICANCER POTENTIAL OF MARINE-DERIVED COMPOUNDS	315
INNOVATIVE STRUCTURAL DESIGN APPROACHES FOR EARTHQUAKE-RESISTANT BUILDINGS USING ADVANCED SIMULATION TOOLS	316
OPTIMIZATION OF HYDROPOWER TURBINE BLADES THROUGH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANALYSIS	317
SMART SENSOR INTEGRATION FOR IMPROVED ROAD SAFETY IN AUTONOMOUS VEHICLE SYSTEMS.	318
DEVELOPMENT OF LOW-COST SOLAR WATER HEATING SYSTEMS FOR RURAL COMMUNITIES.....	319
ENHANCED BIOMASS GASIFICATION TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE ENERGY PRODUCTION	320
STRUCTURAL OPTIMIZATION OF BAMBOO-BASED COMPOSITE MATERIALS FOR GREEN CONSTRUCTION	321
THERMAL MANAGEMENT IN ELECTRIC VEHICLES USING ADVANCED PHASE CHANGE MATERIALS	322
AI-BASED PREDICTIVE CONTROL SYSTEMS FOR INDUSTRIAL ROBOTIC APPLICATIONS.....	323
IMMUNE RESPONSE AND VACCINE EFFICACY IN DAIRY CATTLE	324
ADVANCES IN DIAGNOSIS AND TREATMENT OF CANINE PARVOVIRUS INFECTIONS.....	325
EVALUATION OF ANTI-PARASITIC DRUGS IN SHEEP FLOCKS: RESISTANCE PATTERNS.....	326
PREVALENCE AND MOLECULAR CHARACTERIZATION OF AVIAN INFLUENZA IN POULTRY FARMS.....	327
NUTRITIONAL INTERVENTIONS TO IMPROVE REPRODUCTION IN DAIRY GOATS	328
STRATEGIES FOR CONTROLLING BOVINE TUBERCULOSIS IN LARGE HERDS.....	329
EPIDEMIOLOGICAL STUDY OF FLEA-BORNE DISEASES IN DOMESTIC CATS	330
EFFECT OF ENVIRONMENTAL STRESS ON POULTRY IMMUNE FUNCTION	331

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF HIGH-PERFORMANCE Au/PENTACENE/p-Si HYBRID SCHOTTKY PHOTODIODES

Assoc. Prof. Dr. Ali Rıza DENİZ

Hakkari University

alirizadeniz@hakkari.edu.tr – ORCID/ID 0000-0003-3019-0522

ABSTRACT

In this study, a highly efficient Au/Pentacene/p-Si/Al hybrid Schottky photodiode was successfully fabricated by combining an organic semiconductor pentacene layer with inorganic p-type silicon (p-Si). The pentacene film was deposited on a cleaned p-Si substrate using high-vacuum thermal evaporation. Aluminum (Al) served as an Ohmic contact on the back surface of the device, and gold (Au) served as a Schottky contact on the pentacene. The electrical and optical properties of the device were investigated in detail. Dark I-V (Current-Voltage) measurements demonstrated a high rectification ratio and demonstrated that the pentacene layer successfully modulated the barrier height at the interface. The ideality factor (n) and Schottky barrier height (Φ_b) values obtained explained the charge transport mechanisms at the pentacene/p-Si interface based on the thermionic emission model. The device's photodiode performance was characterized at various wavelengths (especially in the visible region, where pentacene exhibits strong absorption) and light intensities. The photodiode demonstrated a high photocurrent/dark current ratio under reverse polarization. The measured spectral sensitivity (R) and External Quantum Efficiency (EQE) values demonstrated the high efficiency of the hybrid structure, which combines the broad absorption spectrum of pentacene with the superior carrier collection ability of p-Si. These results demonstrate that the Au/Pentacene/p-Si hybrid structure holds significant potential for low-cost, high-performance, and broad-spectrum photodetectors and optoelectronic applications.

Key Words: Schottky Photodiode, Pentacene, Hybrid Structure, p-Si, Organic Semiconductor, Spectral Sensitivity

1. INTRODUCTION

Photodiodes are the fundamental building blocks of modern optoelectronic systems such as optical sensing, imaging, optical communication, and photovoltaic energy conversion. The high manufacturing costs and limited spectral sensitivity ranges of traditional inorganic semiconductor (Si)-based devices have led scientists to explore new-generation materials and hybrid structures. In recent years, hybrid Schottky barrier diodes (SBDs), which combine the superior carrier transport properties of inorganic semiconductors with the advantages of organic materials such as low-temperature processability and adjustable energy bandgap, have become a major focus of interest in this field [1].

Among organic semiconductors, pentacene stands out due to its high carrier mobility and thermal stability. With an energy bandgap of approximately 1.82 eV, pentacene is an effective absorber in the visible light spectrum, making it an attractive candidate for photodetector applications. The combination of a pentacene thin film with high-performance p-type silicon

(p-Si) allows the formation of a metal-organic-inorganic semiconductor (MOIS) structure that benefits from both the efficient light-harvesting ability of the organic film and the excellent carrier-collecting properties of silicon.

In this study, the electrical and optoelectronic properties of the Au/Pentacene/p-Si/Al hybrid Schottky photodiode structure were investigated in detail. In the structure, the organic pentacene layer acts as a critical interlayer, sandwiched between the metal (Au) and the p-Si semiconductor. This layer not only enhances the spectral sensitivity of the device but also plays a key role in modulating the Schottky barrier height at the metal-semiconductor interface and, consequently, the overall performance of the device. This hybrid structure, constructed using Al (ohmic) and Au (Schottky) for the bottom and top contacts, respectively, provides an ideal platform for investigating phototransport mechanisms at the heterojunction formed at the pentacene/p-Si interface [2].

The primary objective of this paper is to characterize the performance of this hybrid photodiode in the dark and under various illumination intensities. Through current-voltage (I - V) and capacitance-voltage (C - V) analyses, key electrical parameters such as barrier height, ideality factor, series resistance, and interfacial trap density (N_{ss}) will be determined with precision. Furthermore, the photocurrent (I_{ph}), photoresponsivity (R), and specific detectivity (D^*) of the device will be investigated to demonstrate the promising potential of the Au/Pentacene/p-Si/Al structure for high-performance and low-cost optoelectronic applications. This work provides significant contributions towards the successful integration of organic and inorganic semiconductors and the enhancement of device efficiency through interface engineering.

2. MATERIALS AND METHODS

The fabrication of hybrid Au/Pentacene/p-Si/Al Schottky photodiodes consists of four key steps, requiring meticulous sequencing and cleaning to obtain high-performance and reproducible devices. p-Si wafers are cut to the desired device dimensions (usually around 1 cm²). A sequential and meticulous cleaning process is applied to remove particles, organic residues, and native oxide from the surface. This process is usually carried out by ultrasonic baths in acetone, isopropyl alcohol, and deionized (DI) water [3]. Aluminum (Al) metal (~10 nm thick) is evaporated onto the back surface of the p-Si using a thermal evaporation or electron beam evaporation system. A good ohmic contact is formed between the aluminum and the p-Si. To improve the quality of the ohmic contact, in some protocols, the Al/p-Si structure is briefly annealed at high temperature (at 450°C for 5 min) under an inert gas (N₂) atmosphere. The prepared pentacene solution is dropped onto the surface of a p-Si substrate with an Al contact. The substrate is rotated at high speeds (in the range of 2000 rpm) using a spin-coating device. To remove residual solvent molecules from the formed film and optimize film morphology, the device is annealed at low temperature in a controlled environment (under a nitrogen atmosphere) or allowed to dry for a specified time. Film thickness is controlled by adjusting the solution concentration and rotation speed. In the final step, the top contact, which forms the optically active region, is evaporated onto the pentacene film. High-purity gold metal (50 nm thick) is deposited onto the pentacene film through the mask apertures in a vacuum evaporation unit. Au, with its high work function, contacts the pentacene, forming the Schottky barrier necessary for device operation. Once the mask is removed, numerous Au/Pentacene/p-

Si/Al hybrid photodiode devices are deposited on the substrate, ready for electrical characterization.

3. RESULT AND DISCUSSIONS

The basic mathematical expressions required to calculate the ideality factor, barrier height, and series resistance of an Au/Pentacene/p-Si/Al photodiode are typically derived from measurements of the I-V characteristics. These values are usually calculated using the current-voltage equation, which is modeled according to thermionic emission theory of the diode. The standard forward bias current equation for semiconductor-organic (or metal-semiconductor) Schottky barrier diodes is [4]:

$$I = I_0 [\exp (eV/nkT) - 1] \quad (1)$$

In this equation, I_0 is the reverse saturation current and is given by the formula:

$$I_0 = A A^* T^2 \exp (-q\Phi_b/kT) \quad (2)$$

q is the electron charge, k is the Boltzmann constant, T is the absolute temperature, A is the active device area, and A^* is the effective Richardson constant. The n indicates the extent to which the diode deviates from ideal behavior and indicates the extent to which the charge transport mechanism is affected by non-ideal processes such as tunneling, recombination, or skin effects. For an ideal diode, $n = 1$, while in practical diodes, $n > 1$ is usually sufficient. The value of n is given by the following equation [5]:

$$n = e/kT dV/d(\ln I) \quad (3)$$

The Φ_b represents the height of the potential barrier at the metal-semiconductor interface and directly affects the electrical performance of the diode. To calculate the I_0 value from the Richardson-Dushman equation, the reverse saturation current is first obtained from the intersection of the $\ln(I)$ vs. V plot at $V=0$. The Φ_b value is given by the following equation:

$$e\Phi_b = kT \ln(AA^* T^2/I_0) \quad (4)$$

In this study, the changes in the I_0 values and n and Φ_b parameters obtained from the I-V measurements of the Au/Pentacene/p-Si/Al photodiode under light intensity using the above formulas were investigated in detail depending on the illumination power.

The current-versus-voltage (I-V) characteristics of the Au/Pentacene/p-Si/Al photodiode, shown in Fig. 1, clearly demonstrate the device's behavior as both a Schottky diode and a photodiode. The general shape of the graph indicates that the diode tends to conduct current in only one direction, the forward direction ($V > 0$ Volt). Under forward bias, the current increases exponentially, while under reverse bias ($V < 0$ Volt), the current is very low. This is the expected diode/Schottky barrier behavior. In the reverse bias region (down to -2 V), the current is very low (between $\sim 10^{-7}$ and 10^{-8} A). This low current indicates that the device has a low noise level and a good rectification ratio, making it ideal for photodiode applications. When light is applied (red and black curves), the photodiode characteristics of the device emerge. In both the forward and reverse bias regions, the current increases with light application. This indicates that the photodiode detects light and creates electron-hole pairs through photogeneration [6]. Especially under reverse bias, the photocurrent (the difference between the light current and the dark current) is significant. The photocurrent increases with increasing light intensity.

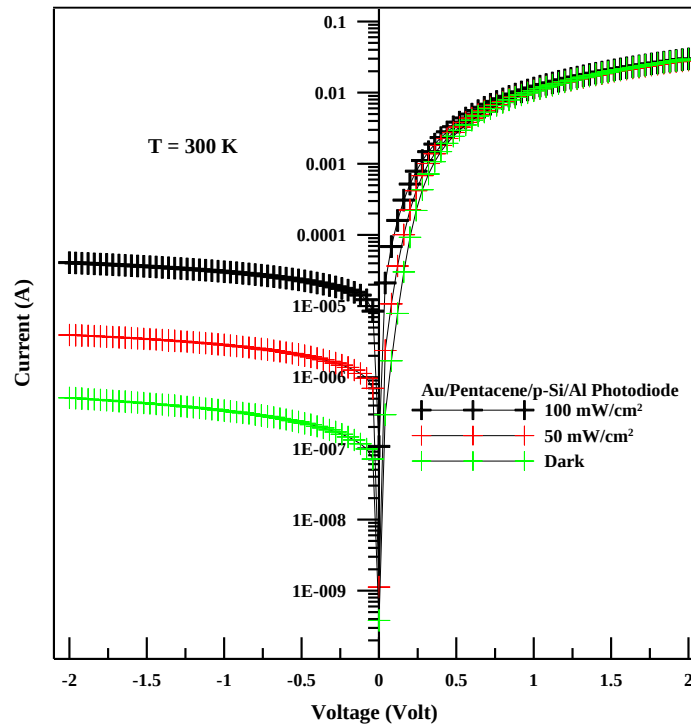


Fig. 1 The I-V plots of Au/Pentacene/p-Si/Al photodiode

Table 1 Electrical parameters of Au/Pentacene/p-Si/Al structure under different light intensities

Light Power (mW/cm ²)	Saturation Current (A)	<i>n</i>	Φ_b (eV)	Rectification ratio (± 2V)
In Dark	3.17×10^{-8}	1.52	0.77	183.0
50	6.80×10^{-7}	2.45	0.69	63.4
100	1.25×10^{-7}	3.34	0.57	27.6

Table 1 summarizes the four key electrical parameters of the Au/Pentacene/p-Si/Al photodiode structure obtained in the dark and under different light intensities (50 mW/cm² and 100 mW/cm²): I_0 , n , Φ_b , and rectification ratio. The changes in these parameters indicate the behavior and performance of the device as a photodiode under light. The ideality factor indicates how much the diode deviates from the ideal thermionic emission pattern. In the dark, the n value was determined as 1.52. This value indicates that in addition to thermionic emission, recombination-trapping currents at the interface are also effective in the diode's current transport mechanism [7]. The n value systematically increased with increasing light intensity (2.45 for 50 mW/cm² and 3.34 for 100 mW/cm²). This increase indicates that high light flux leads to more charge trapping and recombination, especially at the Pentacene/p-Si interface. The increased trap density and recombination move the diode's behavior further away from ideal. The barrier height represents the fundamental height of the Schottky barrier. The Φ_b value was 0.77 eV in the dark and decreased with increasing light intensity (0.57 eV below 100 mW/cm²). This decrease in barrier height is a typical indicator of a negative photoelectric effect. Photocarriers induced by light accumulate at the interface, lowering the potential barrier. This, along with an increase in n , confirms that the electrical properties of the device are strongly modulated by light. The rectification ratio represents

the ratio between the diode's forward and reverse bias currents (the higher the rectification, the better). The rectification ratio is highest in the dark at 183.0. This ratio decreases dramatically as the light intensity increases (27.6 under 100 mW/cm^2). This decrease clearly indicates that the device operates as a photodiode. Light increases the reverse current (photocurrent), reducing the difference between the forward and reverse currents, thus reducing the device's efficiency as a rectifier. The data in the table confirm that the Au/Pentacene/p-Si/Al structure operates as a photosensitive and active photodiode [8]. The significant modulation of the electrical parameters of the device (especially n and Φ_b) by light indicates complex photoelectric phenomena such as charge trapping and barrier height change occurring at the interface.

Fig. 2 shows the I_{ph} response of the Au/Pentacene/p-Si/Al photodiode to different light intensities. This is a critical graph used to evaluate the fundamental performance of a photodiode. The graph shows two different light intensity points, 50 mW/cm^2 and 100 mW/cm^2 , at $T=300 \text{ K}$, and the trend between these points.

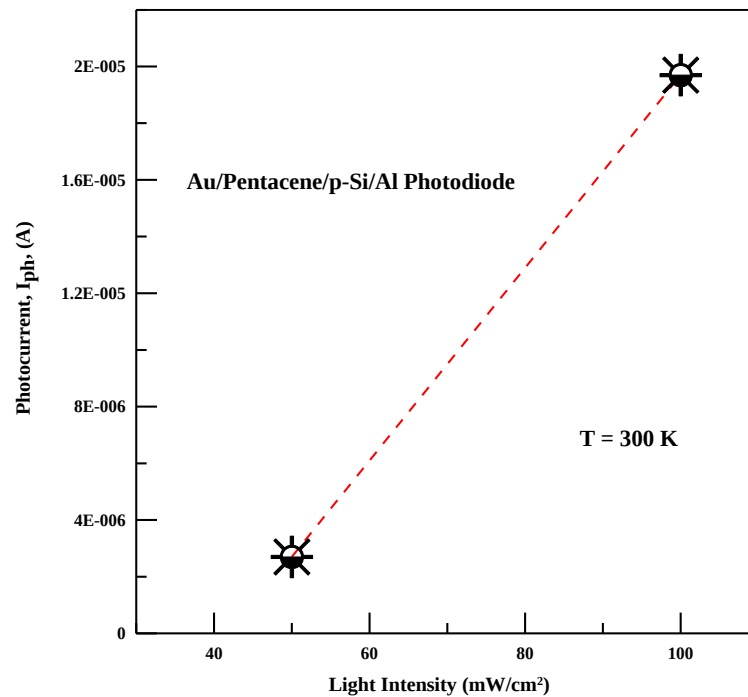


Fig. 2 The $I_{ph} - P$ plots of Au/Pentacene/p-Si/Al photodiode

The most striking feature of the graph is the strong linearity between photocurrent and light intensity. The light intensity was increased from 50 mW/cm^2 to 100 mW/cm^2 , exactly doubled. Conversely, the photocurrent value also approximately doubled. This linear relationship demonstrates the excellent fundamental photodiode performance of the device. In other words, an increase in light flux translates directly into net current generation without causing any significant loss in carrier generation or collection. The linear increase trend demonstrates that the device has high and stable photosensitivity [9]. It is understood that each photocarrier pair (electron-hole) generated is efficiently collected by the depletion region of the device. This indicates that no significant recombination or saturation loss occurs at the interface, even at high currents. This direct and simple relationship between photocurrent and light intensity makes the device ideal for many applications: It can be easily calibrated as a sensor or photometer, providing precise and easy

measurement of light intensity from the photocurrent value [10]. The linear response offers a significant advantage for accurately detecting amplitude changes in optical signal receivers.

Photosensitivity indicates how much current the photodiode produces per unit of light power and is a basic measure of how efficiently the device operates. R is calculated by the following formula [11]:

$$R = I_{ph}/P_{inc} = (I_{light} - I_{dark}) / A \cdot I_{int} \quad (4)$$

Fig. 3 shows the relationship between the photosensitivity value of the Au/Pentacene/p-Si/Al photodiode and the applied light intensity.

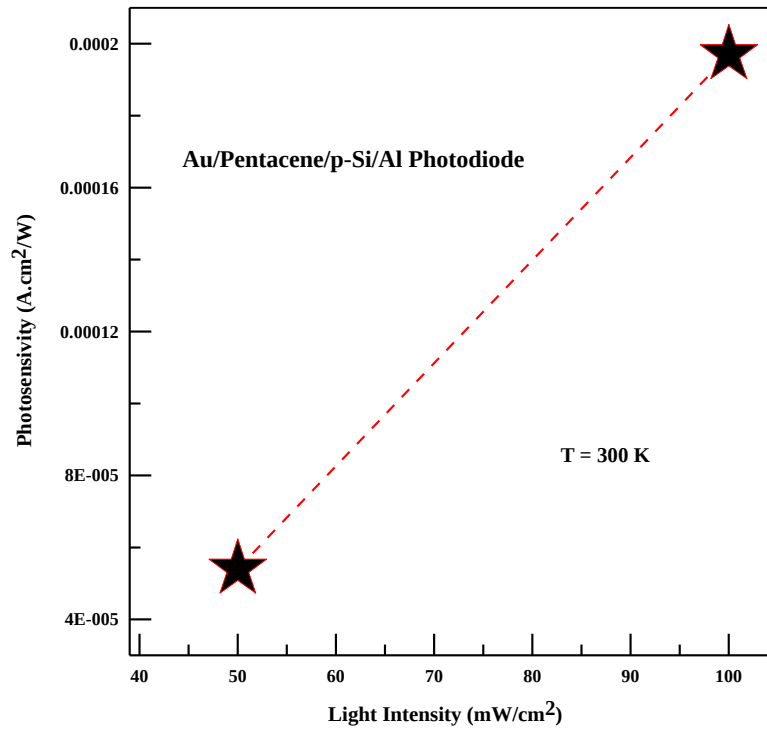


Fig. 3 The R– P plots of Au/Pentacene/p-Si/Al photodiode

The most striking observation in the graph is that the photosensitivity level increases dramatically as the light intensity increases. This increase in photosensitivity indicates that the device produces more current per unit light power at higher light intensities, indicating an increase in efficiency. If the response were perfectly linear, the photosensitivity should remain constant regardless of the light intensity. However, the photosensitivity in the graph increases by a factor of almost four (~4). This suggests that carriers lost at the Pentacene/p-Si interface at low light levels become saturated at higher light levels and contribute more to the residual current generation. This trend suggests that the device's quantum efficiency improves at higher light levels, requiring a higher light flux to reach the photodiode's maximum potential. The device will exhibit its best performance and sensitivity at higher light levels rather than at lower light levels [12].

Detectivity is one of the most important performance metrics of a photodetector and indicates how well the detector can distinguish signal from noise.

The standard formula is [13]:

$$Deductivity (D^*) = \frac{\text{Photoresponsivity } (R)}{\sqrt{2qI_{dark}}} = \frac{R}{\sqrt{2qI_{dark}}} \quad (5)$$

Fig. 4 shows the relationship between the D^* value of an Au/Pentacene/p-Si/Al photodiode and the applied light intensity. D^* is one of the most critical performance metrics indicating how effectively the device can distinguish signal from noise. A key observation from the graph is that the detectability of the photodiode increases significantly as the light intensity increases. This dramatic increase in D^* indicates that the device not only produces more photocurrent (signal), but also that the signal-to-noise ratio improves significantly at high light levels. The D^* value increases by approximately 3.4-fold from 50 mW/cm² to 100 mW/cm². This increase is consistent with the increase in photosensitivity. This trend confirms that the Au/Pentacene/p-Si/Al photodiode exhibits its best performance under high light flux [14]. At low light levels, noise from dark current limits the ability to detect signals. At high light levels, the large signal (photocurrent) generated dominates the noise, resulting in a higher D^* value and an increase in the light-detection efficiency of the device [15]. In summary, the graph clearly shows that the Au/Pentacene/p-Si/Al structure is an effective photodetector and exhibits excellent signal-to-noise performance under high illumination conditions.

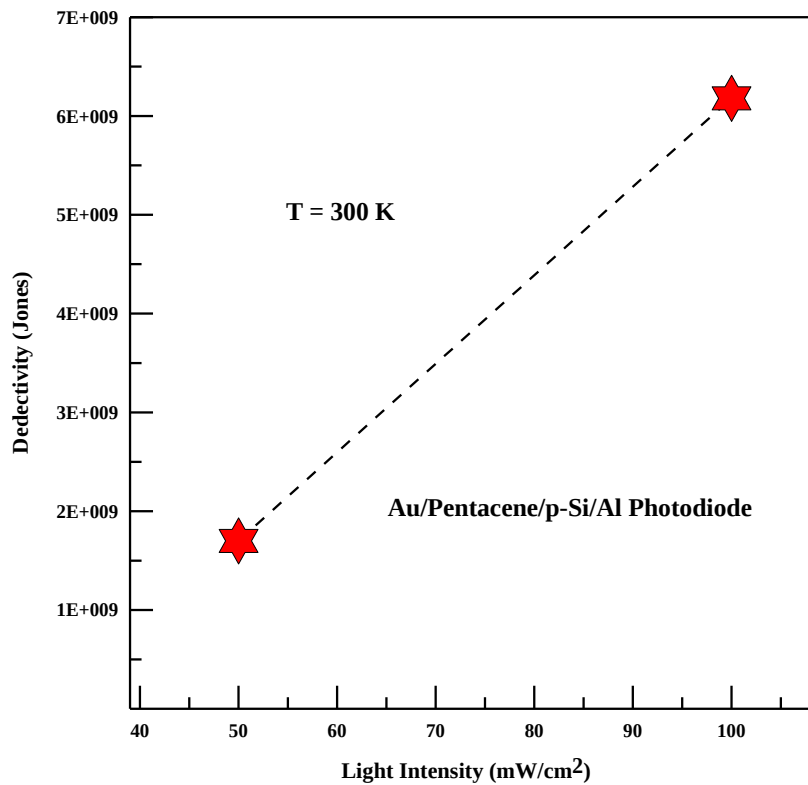


Fig. 4 The D^* – P plots of Au/Pentacene/p-Si/Al photodiode

4. CONCLUSIONS

The Au/Pentacene/p-Si/Al hybrid photodiode structure investigated in this study exhibited the potential for a high-performance optoelectronic device by combining the advantages of organic and inorganic materials. Experimental findings confirmed the device's fundamental electrical and photoelectric properties. The device exhibited clear Schottky diode behavior and a good rectification ratio under dark conditions. However, an n value greater than 1 indicated that recombination currents and series resistance at the Au/Pentacene/p-Si interface play a significant role in device performance. As light intensity increased, n increased and Φ_b decreased. This demonstrated that light triggered charge trapping and the negative photoelectric effect at the interface, effectively modulating the device's electrical parameters. The photodiode produced a strong and consistent photocurrent in response to the applied light intensity. The near linearity between photocurrent and light intensity suggests that the device has high potential for light sensor and sensing applications. The device's detectivity value showed a significant increase as the light intensity increased. This result demonstrates that the photodiode has excellent signal-to-noise ratio under high illumination conditions and performs competitively with commercial silicon-based photodetectors. In conclusion, this Schottky barrier photodiode fabricated using a Pentacene organic layer opens a promising avenue for future hybrid optoelectronic devices by combining low-cost organic semiconductors with high-performance silicon technologies.

Acknowledgments

The diode fabrication part of this study was financed from Hakkari University Scientific Research Projects budget numbered “FM24BAP2”.

REFERENCES

- [1] K. A. Hussain, G. M. Ali, A. Boubaker, A. Kalboussi, Structural, Electrical, and Photodetection Characterization of a Pentacene Interdigitated MSM Photodiode, *Journal of Electronic Materials* 53 (2024), 918–929, <https://doi.org/10.1007/s11664-023-10826-8>
- [2] H. Kaçuş, M. Yılmaz, A. Koçyiğit, Ü. İncekara, Ş. Aydoğan, Optoelectronic properties of Co/pentacene/Si MIS heterojunction photodiode, *Physica B: Physics of Condensed Matter*, 597 (2020), 412408, <https://doi.org/10.1016/j.physb.2020.412408>
- [3] A. R. Deniz, Z. Çaldıran, Heterojunction diode application of yttrium iron oxide ($Y_3Fe_5O_{12}$), *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 33 (2022), 5233-5243, <https://doi.org/10.1007/s10854-022-07712-0>
- [4] T. Güzel, A. B. Çolak, Investigation of the usability of machine learning algorithms in determining the specific electrical parameters of Schottky diodes, *Materials Today Communications*, 33(2022), 104175, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104175>
- [5] A. Korkut, On differential depletion length of Schottky diodes with coppernickel alloy metal of front contact, *Turkish Journal of Physics*, 42(2018), 5, <https://doi.org/10.3906/fiz-1803-6>
- [6] A. Mutlu, C. Tozlu, Electrical characterization of Ag/MoO_{3-x}/p-Si Schottky diodes based on MoO_{3-x} synthesized via sol-gel method: an investigation on frequency and voltage dependence, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 35(2024), 805, <https://doi.org/10.1007/s10854-024-12559-8>
- [7] P. Viveka, J. Chandrasekarana, V. Balasubramania, Fabrication of Cu/Y-MoO₃/p-Si type Schottky barrier diodes by facile spray pyrolysis technique for photodetection application,

- Sensors and Actuators: A. Physical, 335(2022), 113361, <https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.113361>
- [8] Ö. Sevgili, İ. Orak, The investigation of current condition mechanism of Al/Y₂O₃/p-Si Schottky barrier diodes in wide range temperature and illuminate, Microelectronics Reliability, 117(2021), 114040, <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2021.114040>
- [9] Ç. Bilkın, A. Gümüş, Ş. Altındal, The source of negative capacitance and anomalous peak in the forward bias capacitance-voltage in Cr/p-si Schottky barrier diodes (SBDs), Materials Science in Semiconductor Processing, 39(2015), 484-491, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mssp.2015.05.044>
- [10] O. Surucu, D. E. Yıldız, M. Yıldırım, A study on the dark and illuminated operation of Al/Si₃N₄/p-Si Schottky photodiodes: optoelectronic insights, Applied Physics A 130(2024), 103, <https://doi.org/10.1007/s00339-024-07284-2>
- [11] K. Priya, G. K. Rao, G. Sanjeev, The fabrication and characterization of thermal evaporated n-ZnS/p-Si heterojunction and ZnS-Au Schottky photodiodes, Optics and Laser Technology, 157(2023), 108657, <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.108657>
- [12] D. Kara, A. I. Duyar, A. B. Sünbül, Ö. Güllü, M. Köse, E. Ispir, Electronic characterization of Al/p-Si metal/semiconductor photodiodes with novel Azo-azomethine Schiff base compound interlayers, Applied Physics A, 131(2025), 775, <https://doi.org/10.1007/s00339-025-08807-1>
- [13] M. Kamruzzaman, J. A. Zapien, Effect of Co and Ni on Au/Zn_{1-x}M_xO Nanorods (M = Co and Ni) Schottky Photodiodes Performance, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 17(8) (2017), 5342-5351, <https://doi.org/10.1166/jnn.2017.13815>
- [14] G. Özel, S. Demirezen, Investigation of hybrid CuPc-doped ZnO/p-silicon photodiodes for photonic and electronic applications, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 35(14) (2024), 946, <https://doi.org/10.1007/s10854-024-12677-3>
- [15] M. Çavaş, F. Yakuphanoglu, Ş. Karataş, The electrical properties of photodiodes based on nanostructure gallium doped cadmium oxide/p-type silicon junctions, Indian Journal Physics, 91(4) (2017), 413–420, doi: 10.1007/s12648-016-0952-4

ELECTRICAL AND OPTICAL CHARACTERIZATION OF HIGHLY CONDUCTING PEDOT:PSS INTERLAYERED Au/p-Si HYBRID SCHOTTKY PHOTODIODES

Assoc. Prof. Dr. Ali Rıza DENİZ

Hakkari University

alirizadeniz@hakkari.edu.tr – ORCID/ID 0000-0003-3019-0522

ABSTRACT

In this study, an organic-inorganic hybrid photodiode with an Au/PEDOT:PSS/p-Si/Al structure was developed and investigated with the aim of producing highly efficient and stable photodetectors. Highly conductive PEDOT:PSS (Poly(3,4 ethylenedioxythiophene) Polystyrene Sulfonate) was deposited as a thin interlayer on a p-type silicon (p-Si) substrate via a solution-based coating method. Aluminum (Al) served as an Ohmic contact on the back surface of the device, while gold (Au) served as a Schottky contact on the PEDOT:PSS on the top surface. The electrical and photoelectric performance of the device was analyzed in detail to determine the effects of the PEDOT:PSS interlayer. Dark I-V (Current-Voltage) characteristics revealed that the diode exhibited an excellent rectification ratio, and the PEDOT:PSS layer significantly reduced the dark current by optimizing the barrier height at the interface. The obtained ideality factor (n) and Schottky barrier height (Φ_b) values indicated that the charge transport mechanisms at the Au/PEDOT:PSS/p-Si interface are consistent with thermionic emission, particularly modified by series resistance and interfacial states. The optical response of the photodiode was characterized over a wide spectral range and various light intensities. The device exhibited a high photocurrent/dark current ratio and impressive spectral sensitivity (R), particularly under reverse polarization. The high PEDOT:PSS conductivity facilitated carrier separation and collection, maximizing the overall External Quantum Efficiency (EQE) of the device. The obtained results confirm that PEDOT:PSS plays a critical role in enhancing the performance of conventional inorganic semiconductor-based devices, and this hybrid structure offers great potential for low-cost, solution-processable, and high-performance optoelectronic applications.

Key Words: Schottky Photodiode, PEDOT:PSS, Hybrid Structure, p-Si, Interlayer, Spectral Sensitivity, Organic Semiconductor.

1. INTRODUCTION

Crystalline silicon (Si), which forms the basis of the electronics industry, remains widely used due to its stability and well-defined electrical properties. Schottky diodes based on the metal-semiconductor (MS) interface are an attractive option for high-frequency applications and photodetectors thanks to their simple structure and fast response time. However, traditional metal-silicon Schottky contacts (e.g., Au/p-Si) can often exhibit suboptimal electrical behavior, low barrier height, and high leakage current due to interface defects and pinning of the Fermi level [1].

To overcome these problems and optimize device performance, the strategy of interposing a thin organic layer between the metal and the semiconductor has gained prominence in recent years. The polymer poly(3,4-ethylenedioxythiophene):Poly(styrenesulfonate) (PEDOT:PSS) is one of the most ideal candidates for this purpose, thanks to its high optical transparency and electrical conductivity, which can be increased to ~ 1000 S/cm with secondary doping methods. The incorporation of PEDOT:PSS as an interlayer at the metal-semiconductor interface has the potential to both reduce interface defects by acting as a surface passivation and modify the Schottky barrier height in a desired direction by creating a dipole at the interface [2].

In this context, the primary objective of this study is to comprehensively investigate the effects of adding a thin layer of highly conductive PEDOT:PSS to the Au/p-Si structure on the electrical transport mechanisms and optical sensing capabilities of the resulting hybrid Schottky photodiode. The study aims to determine key electrical parameters such as ideality factor (n), barrier height (Φ_b), and series resistance (R_s) of the fabricated Au/PEDOT:PSS/p-Si hybrid Schottky photodiodes by analyzing their dark current-voltage (I - V) characteristics. It also aims to characterize the built-in potential (V_{bi}) and carrier concentration (N_a) by using capacitance-voltage (C - V) measurements. It also aims to reveal critical optical performance indicators such as sensitivity (R), detectivity (D^*), and quantum efficiency (QE) of the photodiode by using I - V and spectral response measurements under illumination. The findings will scientifically demonstrate the effectiveness of PEDOT:PSS-based interface engineering in the design of high-performance hybrid photodetectors and solar cells and will shed light on the development of next-generation optoelectronic applications.

2. MATERIALS AND METHODS

The fabrication steps of the Au/PEDOT:PSS/p-Si/Al photodiode involve the fundamental fabrication processes of semiconductor devices and the special requirements of organic/inorganic hybrid structures. The p-type silicon (p-Si) wafer to be used was cleaned using special chemical solutions (RCA cleaning) to remove organic and inorganic residues [3]. The natural oxide layer on the wafer surface was removed using a hydrofluoric acid (HF)-based solution. This is important for good contact between subsequent layers. An aluminum (Al) layer was deposited on the back surface of the cleaned p-Si wafer by thermal evaporation. Al is used to ensure good ohmic contact with the p-Si. To improve ohmic contact, the Al layer was annealed at low temperature (around 450 °C under a N_2 inert atmosphere). The commercially available PEDOT:PSS solution was mixed with additional additives (DMSO) to increase conductivity and improve film quality. The prepared PEDOT:PSS solution was applied as a thin film to the front surface of the p-Si wafer, typically by spin coating. The deposition rate and time control the film thickness. A mask is used to define the active area for light entry and to ensure the desired geometry of the Au electrode. A thin Au layer is deposited onto the PEDOT:PSS layer through the mask. Au is then deposited as a very thin (20 nm) layer to achieve high transparency. After fabrication, the electrical and optical properties of the photodiode are tested to characterize the device performance.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

This hybrid organic-inorganic photodiode structure is based on a heterosurface layer formed between (p-Si) and the conducting polymer PEDOT:PSS. I-V curves measured under dark conditions and at different light intensities (50 and 100 mW/cm²) were used to analyze its electrical and optical performance (**Fig. 1**). Various electrical parameters were calculated from this analysis. The ideality factor defines the forward-biased current mechanism of the diode and indicates the deviation from the theoretical ideal value of $n = 1$. For an ideal diode operating with thermionic emission mechanism, $n = 1$. However, in real diodes, especially in polymer/semiconductor heterosurfaces, the value of n is generally greater than 1 ($n > 1$). An n value greater than 1 generally indicates that recombination-generation currents or series resistance effects dominate. The barrier height is the energy value of the potential barrier determined by the device's Au/p-Si Schottky contact and the p-Si/PEDOT:PSS heterosurface. The rectification ratio is a performance measure that indicates how effectively the diode conducts current in one direction and blocks it in the reverse direction. The n , Φ_b , and RR values were calculated using the Thermionic Emission Theory equations [4]. These values are given in **Table 1**.

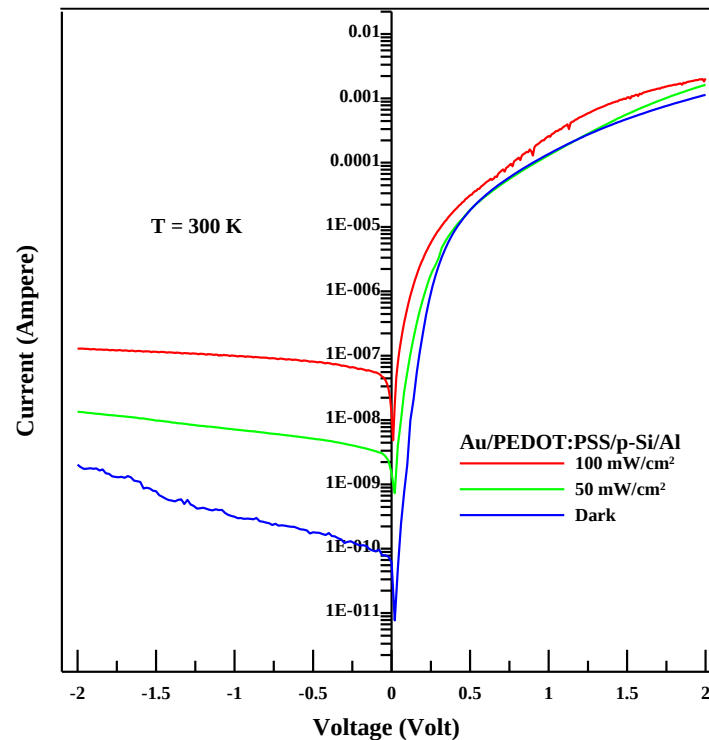


Fig. 1 The I-V plots of Au/PEDOT:PSS/p-Si/Al photodiode

Table 1 Electrical parameters of Au/PEDOT:PSS/p-Si/Al structure under different light intensities

Light Power (mW/cm ²)	Saturation Current (A)	n	Φ_b (eV)	Rectification ration ($\pm 2V$)
In Dark	5.82×10^{-9}	1.25	0.87	368.0
50	2.13×10^{-8}	1.86	0.75	284.0
100	9.36×10^{-8}	2.71	0.66	177.0

The data in Table 1 clearly show how the electrical parameters of the Au/p-Si/PEDOT:PSS/Al photodiode change in the dark and under different light intensities (50 and 100 mW/cm²). These changes characterize the behavior of the device both as a diode and a photodetector. According to the table, the I_0 values show a significant increase as the light intensity increases. This rapid increase clearly demonstrates that the device is highly sensitive to light and operates as a photodiode. Light increases the formation of electron-hole pairs at the interface of the semiconductor (p-Si) and the polymer (PEDOT:PSS), shifting the current-voltage curve upwards and causing the calculated I_0 value to increase [5]. The ideality factor increases significantly as the light intensity increases: The value, which is $n = 1.25$ in the dark, reaches 1.86 at 50 mW/cm² and 2.71 at 100 mW/cm². The value of $n = 1.25$ in the dark indicates that, in addition to the thermionic emission mechanism of the current in the diode, the effects of interfacial recombination currents or series resistance (R_s) are also important. The deviation of n from 1 under light can be attributed to the strong effect of high carrier concentrations generated by light on R_s and/or the increase in the recombination rate at the interface. This indicates that the behavior of the device under forward bias deviates more from the ideal thermionic emission model as the light intensity increases [6]. The barrier height values decrease steadily with increasing light intensity: While $\Phi_b = 0.87$ eV in the dark, it decreases to 0.75 eV at 50 mW/cm² and 0.66 eV at 100 mW/cm². This decrease is directly related to the photovoltaic effect (photovoltage). The incident light creates a photovoltage (VOC) at the p-Si/PEDOT:PSS interface. This voltage partially neutralizes the internal potential barrier, causing the effective barrier height of the diode to decrease. Increasing the light intensity produces a higher photovoltage, further reducing the barrier height [7].

Photocurrent is generally defined as the difference between the current under illumination and the dark current. If the photocurrent value is calculated using the following equation:

$$I_{ph} = I_{light} - I_{dark}$$

Fig 2 shows the I-V performance of a photodiode with Au/PEDOT:PSS/p-Si/Al structure operating at 300°C. The basic representation of the graph is that there is an approximately linear relationship between the photocurrent, represented by the dashed red line drawn between two points, and the light intensity. Increasing the light intensity increases the number of photons absorbed in the active region of the device, leading to the production of a proportionally higher number of electron-hole pairs. The observed linear response indicates that the generated charge carriers (electrons and holes) can be efficiently collected under the device's electric field and that carrier recombination losses are low in this light intensity range [8]. This device (Au/PEDOT:PSS/p-Si/Al) exhibits good photosensitivity (light sensitivity) between 50 and 100 mW/cm². This is a key feature desired for its use as a photodetector.

Fig 3 shows the change in photosensitivity of a hybrid device with an Au/PEDOT:PSS/p-Si/Al structure as a function of light intensity at 300 K. The most critical finding of the graph is that the photosensitivity value increases significantly (approximately fivefold) as light intensity increases. In an ideal photodetector, the reactivity (photosensitivity) should be constant and independent of light intensity. The increase observed in this graph indicates that the device is operating in a nonlinear regime. This increase in photosensitivity generally indicates the presence of a photogain mechanism within the device. The most common causes of this are as

follows: At low light levels, defects (traps) at the interface or in the volume of the device trap the generated charge carriers [9]. As light intensity increases, these traps fill. When the traps are filled, more free carriers reach the collection electrodes. This causes the current increase rate to exceed the light increase rate, leading to increased photosensitivity. This device operates with higher efficiency at higher light intensities and exhibits a super-linear response in this range due to photogain or saturation of the traps. This may be an attractive feature, particularly for high-light sensing applications.

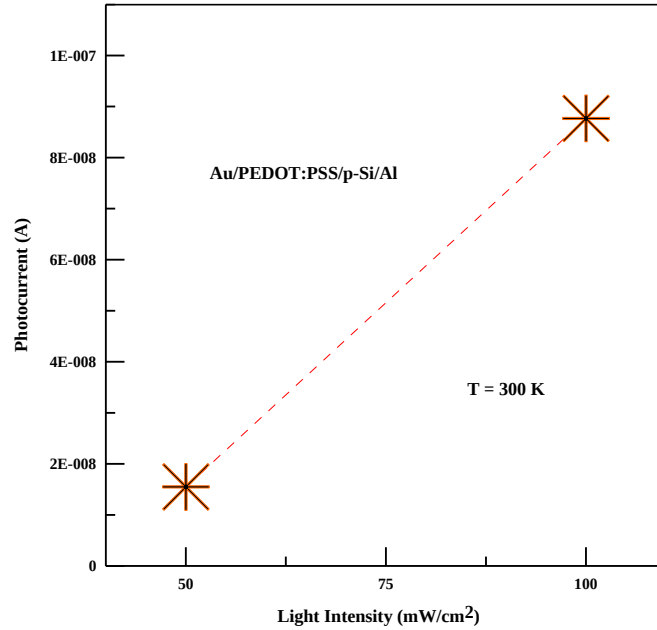


Fig. 2 The I-V performance of a photodiode with Au/PEDOT:PSS/p-Si/Al photodiode

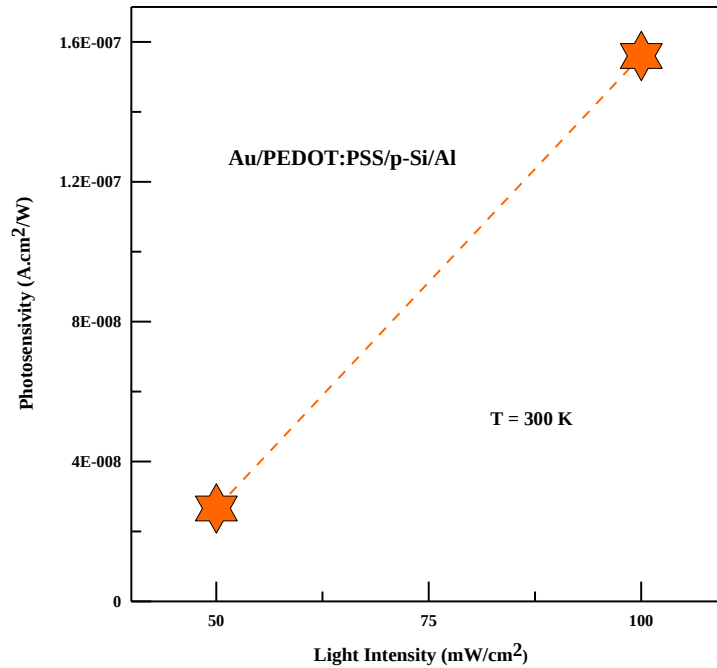
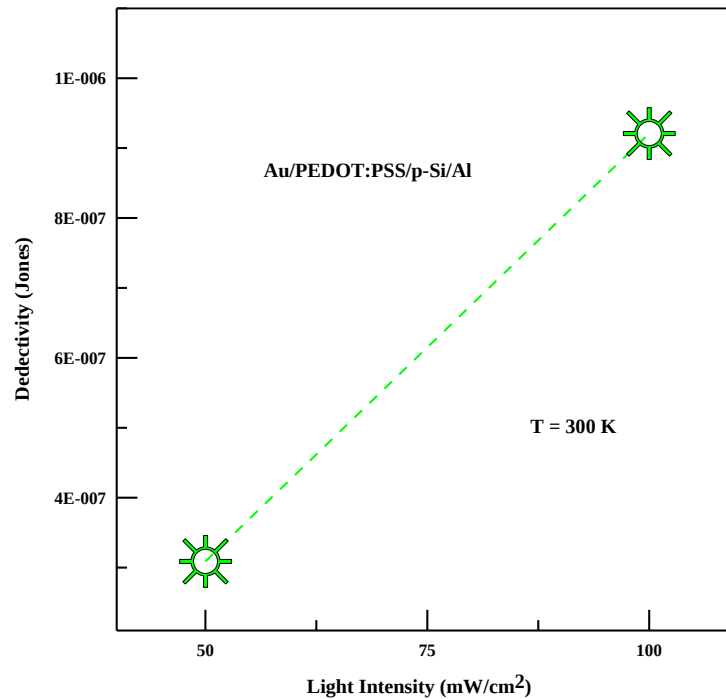


Fig. 3 The change in photosensitivity of a hybrid device with an Au/PEDOT:PSS/p-Si/Al

Fig 4 shows the change in detectivity of the Au/PEDOT:PSS/p-Si/Al hybrid device as a function of light intensity at 300 K. The D^* value increases almost linearly with increasing light intensity. D^* primarily depends on the ratio between the device's response (signal) and noise. This increase is directly related to the increase in photosensitivity seen in the previous graph. The increase in photosensitivity means that the signal increases at a faster rate than the noise. This increase in D^* indicates that the device reaches its highest sensitivity and best signal-to-noise ratio at higher light intensity. This result indicates that the device's ability to detect weak signals is better at higher light intensities, and that this region is closer to the device's optimal operating conditions [10]. The Au/PEDOT:PSS/p-Si/Al device increases its detectability with increasing light intensity. This is a positive performance characteristic, indicating that the device operates with less noise and is more sensitive under higher light conditions.



4. CONCLUSIONS

This study investigated the fundamental electrical and optoelectronic characteristics of an organic-inorganic hybrid photodiode with the Au/PEDOT:PSS/p-Si/Al structure at 300 K under varying light intensities. The findings indicate that the device exhibits complex and highly photosensitive behavior both as a diode and a photodetector. Electrical analyses revealed that I_0 and n values increase significantly with increasing light intensity, while Φ_b decreases. The rapid increase in I_0 confirms the high light sensitivity of the device, while the increase in n from 1.25 to 2.71 indicates that under the influence of high carrier concentrations, the forward conduction mechanism deviates significantly from the ideal thermionic emission model, and recombination currents or series resistance become dominant. The decrease in barrier height is a direct result of the photopotential induced by light partially neutralizing the potential barrier at the interface. From an optoelectronic performance perspective, the photocurrent showed a linear increase with light intensity, indicating high carrier collection efficiency. However, the superlinear increase in photosensitivity and D^* values with light intensity demonstrated a nonlinear regime in the device behavior. This significant increase in photosensitivity was

explained by the traps, which are active at low light levels, reaching saturation at high light intensities and the activation of the photogain mechanism. The concurrent increase in detectability indicates that the device has a higher signal-to-noise ratio at high light intensities and achieves the most sensitive operating conditions. In conclusion, the Au/PEDOT:PSS/p-Si/Al hybrid structure stands out as a highly efficient, sensitive, and noise-resistant device candidate for photodetection applications, thanks to its increased detectability and photosensitivity values under high light intensity.

Acknowledgments

The diode fabrication part of this study was financed from Hakkari University Scientific Research Projects budget numbered “**FM24BAP2**”.

REFERENCES

- [1] A. R. Deniz, A. İ. Taş, Z. Çaldıran, Ü. İncekara, M. Biber, Ş. Aydoğan, A. Türüt, Effects of PEDOT:PSS and crystal violet interface layers on current-voltage performance of Schottky barrier diodes as a function of temperature and variation of diode capacitance with frequency, *Current Applied Physics*, 39(2022), 173-182, <https://doi.org/10.1016/j.cap.2022.03.017>
- [2] Q. Zheng, F. You, J. Xu, J. Xiong, X. Xue, P. Cai, X. Zhang, H. Wang, B. Wei, L. Wang, Solution-processed aqueous composite hole injection layer of PEDOT:PSS+MoO_x for efficient ultraviolet organic light-emitting diode, *Organic Electronics*, 46(2017), 7-13, <http://dx.doi.org/10.1016/j.orgel.2017.03.037>
- [3] S. J. Moloi, J. O. Bodunrin, Characterisation of interface states of Al/p-Si Schottky diode by current–voltage and capacitance–voltage–frequency measurements, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 34(2023), 1712, <https://doi.org/10.1007/s10854-023-11090-6>
- [4] A. R. Deniz, The analyzing of I-V performance of PbO₂/n-Si heterojunction in the wide temperature range, *Journal of Alloys and Compounds*, 888(2021), 161523, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.161523>
- [5] J. R. Nicholls, Electron trapping effects in SiC Schottky diodes: Review and comment, *Microelectronics Reliability*, 127(2021), 114386, <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2021.114386>
- [6] A. D. Bartolomeo, Graphene Schottky diodes: An experimental review of the rectifying graphene/semiconductor heterojunction, *Physics Reports*, 606(2016), 1-58, <http://dx.doi.org/10.1016/j.physrep.2015.10.003>
- [7] A. Fritah, L. Dehimi, F. Pezzimenti, A. Saadoun, B. Abay, Analysis of I–V–T Characteristics of Au/n-InP Schottky Barrier Diodes with Modeling of Nanometer-Sized Patches at Low Temperature, *Journal of Electronic Material*, 48(2019), 3692-3698, <http://doi.org/10.1007/s11664-019-07129-2>
- [8] F. Hanife, Y. Badali, Optical response of Au/n-Si schottky photodiode with an interface of graphite-Er₂O₃-doped polyvinyl alcohol (PVA) nanocomposite, *Photonics and Nanostructures - Fundamentals and Applications*, 66(2025), 101446, <https://doi.org/10.1016/j.photonics.2025.101446>
- [9] P. Karsili, A. Abourajab, M. Dinleyici, S. Altınışık, S. Koyuncu, G. Dolek, M. Kus, H. Icil, Aggregation– induced red– shift emission from self-assembled planar naphthalene diimide dye: Interlayer in a Schottky-type photodiode and DFT studies, *Optical Materials*, 155(2024), 115902, <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2024.115902>

[10] K. Mensah-Darkwa, R. O. Ocaya, A. G. Al-Sehemi, D. Yeboah, A. Dere, A. A. Al-Ghamdi, R. K. Gupta, F. Yakuphanoglu, Optoelectronic enhancement of ZnO/p-Si Schottky barrier photodiodes by (Sn,Ti) co-doping, *Physica B: Condensed Matter*, 667(2023), 415155, <https://doi.org/10.1016/j.physb.2023.415155>

GROUNDING AND SAFETY PRECAUTIONS IN ELECTRICAL INSTALLATIONS ELEKTRİK TESİSATINDA TOPRAKLAMA VE GÜVENLİK ÖNLEMLERİ

Erşan Ömer YÜZER¹

¹Asst. Prof. Dr., Hakkari University, Çölemerik VHS, Department of Electric and Energy, Hakkari, Turkey.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9089-1358>

¹ ersanomeryuzer@hakkari.edu.tr,

İbrahim Çağrı BARUTÇU²

²Asst. Prof. Dr., Hakkari University, Çölemerik VHS, Department of Electric and Energy, Hakkari, Turkey.

²ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6164-2048>

² ibrahimcagribarutcu@hakkari.edu.tr,

Emrah HARMANCI³

³Lecturer, Hakkari University, Çölemerik VHS, Department of Electric and Energy, Hakkari, Turkey.

³ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6479-5178>

³ emrahharmanci@hakkari.edu.tr,

ABSTRACT

In parallel with today's growing population, the need for energy is increasing daily, and electrical energy accounts for a significant portion of this demand. Among the hazardous work areas, electrical work accounts for a significant portion of the energy sector. Work accidents in electrical work in this sector indicate errors in implementation or a lack of precautions. Current laws contain important provisions regarding occupational health and safety, but for effective results, the implementation of occupational health and safety laws must be considered and the degree to which they are implemented must be determined. In electrically operated sectors, the harmful aspects of electricity have been investigated and the necessary precautions have been taken. Systems, applications, structures, vehicles, tools, and products that rely on electrical energy are now an indispensable part of life. This is becoming increasingly prevalent with digitalization. Nowadays, we see the transportation of electrical energy. We can see this energy everywhere, in factories, homes, batteries, and space. Even in these systems, safety measures are now paramount. More than 10,000 people died in India, 1,000 died in the United States, and more than 50,000 were injured. According to a World Health Organization report:

- Thousands of people worldwide lose their lives to electric shock.
- Most electric shock-related deaths and injuries occur during the summer months.
- The rate of electrical accidents in all accidents has been reported to be 1-2%.

Keywords: Electrical energy, work accidents, electric shock, electricity requirement, population growth

ÖZET

Günümüzde artan nüfusa paralel olarak enerji ihtiyacı da gün geçtikçe nüfusla beraber artmakta ve bu ihtiyacın önemli bir kısmını ise elektrik enerjisi oluşturmaktadır. Tehlikeli iş alanları içerisinde yer alan

elektrikli çalışmalar enerji sektöründe büyük pay göstermektedir. Bu sektördeki elektrikli çalışmalarda iş kazalarının olması uygulamada yanlışların olması veya tedbirlerin alınmamasını göstermektedir. Hali hazırda yürürlükteki kanunlar, iş sağlığı ve güvenliği konusunda önemli olan hükümleri içerisinde barındırmaktadır; fakat sonuçların iyi olabilmesi için iş sağlığı ve güvenliği yasalarının dikkate alınarak tatbik edilme ve uygulanabilme derecesi belli olmalıdır. Elektrikle çalışan sektörlerde elektriğin zararlı yönleri araştırılıp bu yönde gerekli önlemler alınarak faaliyete geçirilmiştir, gerekli önlemler alınmıştır. Elektrik enerjisine bağlı sistemler, uygulamalar, yapılar, araçlar, aletler ve ürünler artık hayatın vazgeçilmez birer parçalarıdır. Bu durumda her geçen gün dijitalleşmeyle beraber daha da yaygın hale gelmektedir. Günümüzde artık elektrik enerjisinin de taşınmaya başlandığı görülmektedir. Bu enerjileri fabrikalarda, evlerde, bataryalarda uzayda her alanda görebiliyoruz. Bu sistemlerde bile artık güvenlik önlemleri ön plandadır. Hindistanda 10.000'in üzerinde ölümün olduğu, Amerikada 1.000 kişinin öldüğü ve 50.000'den fazla kişinin yaralandığı gündemde görülmektedir. Dünya Sağlık Örgütü raporuna göre:

- Dünya genelinde binlerce kişi elektrik çarpmasıyla hayatını kaybetmektedir.
- Elektrik çarpmalarına bağlı ölümlerin ve yaralanmalarının çoğu yaz mevsiminde olmaktadır.
- Tüm kazalar içerisinde elektrik kaza oranının %1-2 olduğu raporlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik enerjisi, iş kazaları, elektrik çarpması, elektrik ihtiyacı, nüfus artışı

INTRODUCTION

With the continuous advancement and proliferation of technology, mechanization and industrialization, both in our country and globally, have led to numerous safety and health hazards. Since the Industrial Revolution, the transition to a factory system has increased the demand for labor. People living in regions experiencing increased industrialization have faced risks of malnutrition, inadequate wages, unhealthy work, and unsuitable environments. For occupational health and safety, it is crucial that workers work in a more healthy environment. The level of attention given to occupational health and safety varies depending on the level of development of each country. This attention is shaped by the awareness and cultural level of society.

The primary purpose of occupational health and safety activities is to ensure the safety of employees. Scientific studies demonstrate that the damage caused by workplace accidents far exceeds the costs incurred in maintaining occupational health and safety. Examples of occupational health and safety practices are being seriously examined in developed countries.

RESEARCH AND RESULTS

Grounding in Electrical Installations

Any insulation fault in electrical installations, electrical machines, or electrical devices can cause the enclosure or fastening parts of conductive and metallic bodies not directly related to the operation of the installations, machines, or devices to become energized [1]. These dangerous voltages, called step voltages or touch voltages, pose a life-threatening risk to both operating personnel and anyone who comes into contact with the electrical installations in question. Grounding is a crucial precaution against the risk of electrical leakage from electrical devices. In other words, it is a simple mechanism that allows electricity to leak to the ground through a conductor. Grounding is used in facilities to protect the operator's personnel and anyone who will come into contact with the electrical installation against step and touch voltages. Grounding in systems and electrical installations is performed both to affect the system's operation in the event of a ground fault and to contribute to the safety of living beings near the fault point [2]. Grounding is performed for three primary purposes, depending on its function: operational, protective, and special (functional) grounding.

Figure 1 shows the connections for different types of grounding, including protective grounding for life safety, operational grounding for system operation, and functional grounding for special purposes. The primary purpose is to ensure the safe and proper operation of the electrical system.

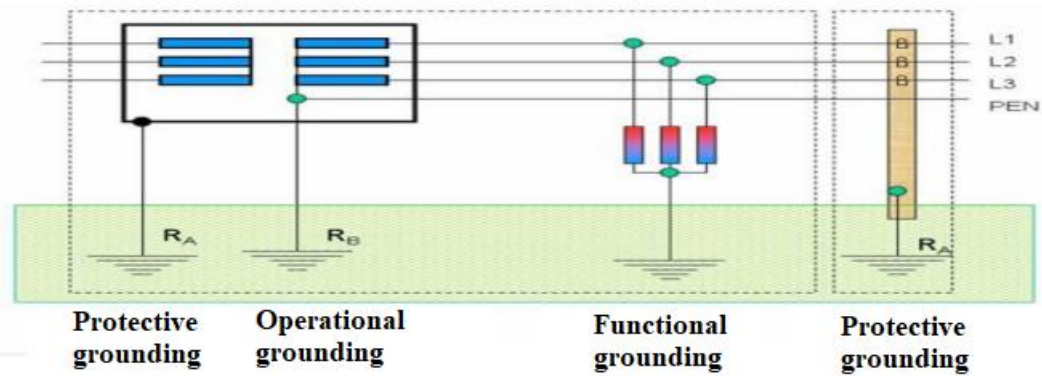


Figure 1. Grounding types [3]

In Figure 2, there are two metal parts, circled in green, at the top and bottom of the Schuko socket. This is the grounding connection. This connection mates with the metal contacts on a compatible plug that plugs into the socket. If an electrical device leaks, the leakage current is safely conducted to earth via this grounding connection. This prevents anyone touching the device from receiving an electric shock.

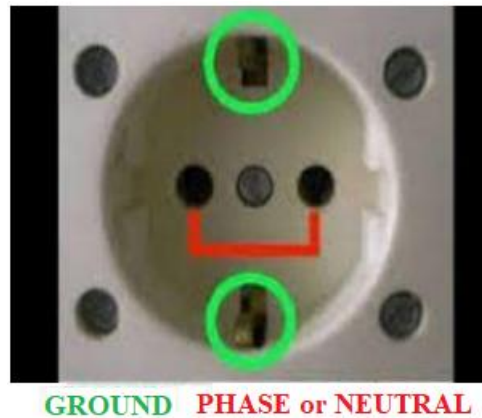


Figure 2. Grounded socket example [3]

The line grounding element, shown in Figure 3, is an important piece of equipment used to ensure safety in electrical installations, particularly on power transmission and distribution lines. Its primary purpose is to de-energize the line being worked on, short-circuiting it both internally and to ground. This protects workers from electric shock in the event of an unexpected power failure.



Figure 3. Line grounding element [4]

Grounding Types

Operational grounding

Under normal conditions, the process of connecting live parts to ground is called operational grounding. In other words, it involves connecting the transformer's star point to ground via a conductor.

The purpose of facility grounding is to prevent overvoltages on electrical installations by maintaining a certain level of potential for the current circuit to ground. Facility grounding prevents two-phase ground faults and ensures the immediate opening of circuit breakers. To limit the hazardous effects of short-circuit current in these types of networks, grounding through resistance or, for less significant power levels, direct grounding can be used [5].

As shown in Figure 4, the transformer's neutral point (the blue dot in the lower right corner of the dashed box on the far left) is directly connected to ground. This connection is called operational grounding. The figure shows the term "Operational Grounding" and its symbol (R_0) below this connection.

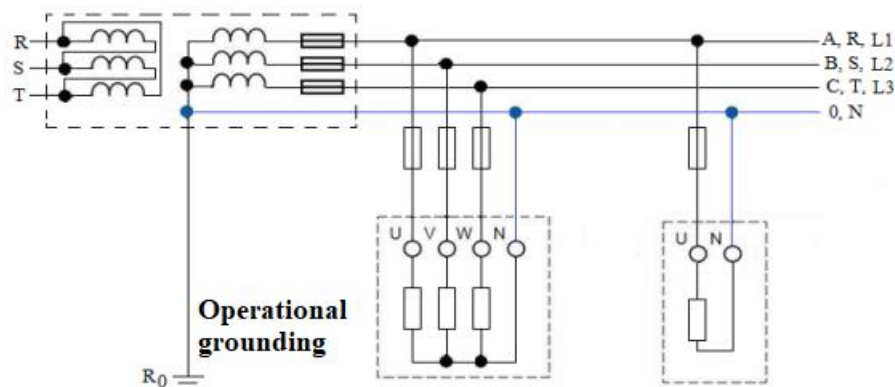


Figure 4. Operational grounding example [6]

Protective grounding

Metal parts that are not normally live but are expected to be live due to a fault are connected to ground using a conductor. The purpose of protective grounding is to prevent step and touch voltages that pose a danger to electrical device users and animals. This prevents high touch voltages from remaining permanently in the non-live conductive section of the installation.

Figure 5 shows that the metal bodies of the loads (resistors in the dashed boxes on the right) are connected to ground via a separate line (green dashed line). This connection is called protective grounding. Its symbol is R_k . The purpose of protective grounding is to ensure that, in the event of an electrical leakage on the metal surfaces of the devices, it is safely conducted to the ground without causing harm to people. This eliminates the risk of electric shock.

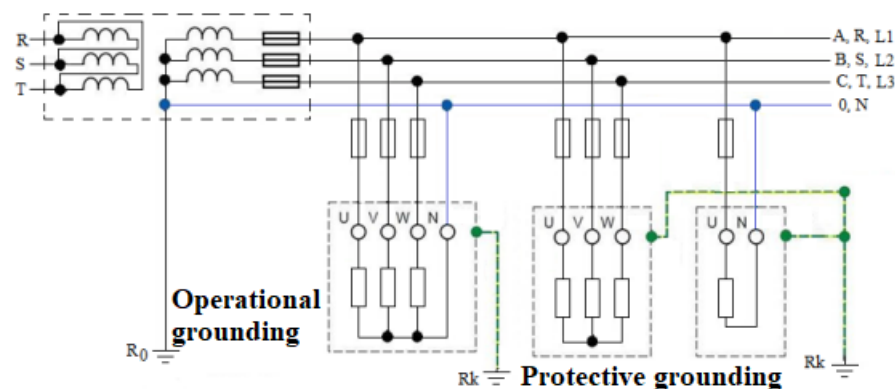


Figure 5. Protective grounding example [6]

Functional grounding (special grounding)

Unlike protective and operational grounding, this type of grounding is applied to a transmission facility or operational element to ensure it performs its intended function. It also includes grounding for LV equipment, lightning protection, and communication facilities and rail systems.

In Figure 6, the surge arrester (lightning protection device) is connected to the N (neutral) line. The ground connection of this surge arrester is designated as "Functional Grounding." This is the ground connection required for the device (surge arrester) to function properly against overvoltages (such as lightning strikes).

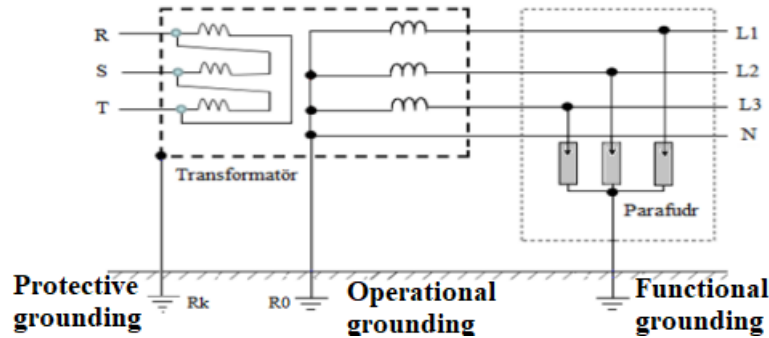


Figure 6. Functional grounding example [6]

Purpose of Grounding

The purposes of grounding are given below:

- To ensure life safety.
- To transmit leakage currents arising from electricity to the ground.
- To maintain voltage balance in the electrical system.
- To prevent devices from being damaged by electrical energy.

Safety in Electrical Installations

Occupational health refers to eliminating or minimizing the risks that may arise from an employee's work environment and equipment [7]. Many electrical accidents, both fatal and non-fatal, occur due to negligence in electrical accident prevention measures, their inapplicability in field work, and the similar disregard for regulations. According to the Social Security Institution Report (Turkey 2017) [8], workplace accidents in Turkey have increased significantly. Precautions to be taken against electrical problems and the causes of electrical accidents, first aid protocols, and repair/maintenance activities to be performed in the event of an accident have been examined in detail.

Example Work Accidents

The example work accidents are presented below:

- Pole falling.
- Falling to the ground with the fallen pole.
- Electric shock on medium voltage line.
- Death of employees due to electric shock.
- Electric shock to the head and arm.

Security Precautions

The security precautions are explained as follows:

- A grounding system must be installed and the installed grounding system must be checked regularly.
- Electric leakage should be cut off immediately by using a residual current circuit breaker.
- Necessary precautions should be taken in humid environments and the risk of contact with water should be reduced.
- Attention should be paid to the cables and insulation materials to be used.

- During the grounding process, conductive parts should not be touched with bare hands and special grounding equipment should be used [9].

When working in high-voltage electrical installations, a safety belt should be used to prevent the risk of falling, and grounding should be avoided. To prevent body contact with electricity, the system should be de-energized and the work area should be properly grounded. This provides double-sided safety against both falls and electric shock. The parachute-style safety belt is shown in Figure 7.



Figure 7. The parachute-style safety belt [10]

Insulating gloves are protective gloves made of special, non-conductive materials used to protect people working with electricity against electric shock. They are typically used when working in high-voltage environments and must be checked for damage and integrity before use.

CONCLUSION

As a result of this study, grounding and safety measures in electrical installations are of paramount importance for the life safety of all individuals, especially personnel working in these areas. With the rapid advancement of technology, electrical accidents, such as electric shocks and electrocution, have become more common problems. Electrical energy consumption has also increased significantly with the increasing population. This increase has made the safety measures required to prevent occupational accidents in electrical installations even more crucial. Chief among these measures is an effective grounding system. Grounding ensures that stray currents that may occur in devices are safely conducted to the ground, significantly reducing the risk of electric shock. According to the laws and regulations in force in our country, every electrical installation is required to have a proper grounding system and to take measures to ensure employee safety. In this context, not only technical measures but also personnel awareness and training are of paramount importance. Serious health problems that could arise in the event of an electrical accident, such as:

- Heart attack
- Respiratory failure
- Electrical burns

Providing first aid training to personnel working in facilities is a vital necessity. This training allows for fast and accurate interventions in the event of an accident, preventing loss of life. As a result, in order to create a safe working environment in electrical installations, personnel training and compliance with legal requirements should be considered as a whole, as well as the technical infrastructure.

REFERENCES

- [1] Bayram, M. (2000). Elektrik tesislerinde topraklama. Birsen.
- [2] Uğurtan, K. (1984). Alçak gerilim elektrik tesislerinde topraklama (Master's thesis, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- [3] DOĞRUBAŞ, M. (2021). MESLEKİ VE TEKNİK LİSELERİN ELEKTRİK ATÖLYELERİNDE İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN TEHLİKELER, RİSKLER VE ÖNLEMLER: BİNGÖL ÖRNEĞİ (Master's thesis).
- [4] Bilgir, İ. O. (2018). Elektrik dağıtım sektöründe iş sağlığı ve güvenliği mevzuatının ve uygulamalarının incelenmesi ve irdelenmesi (Master's thesis).
- [5] Tosun, S. (2022). Elektrikle Çalışmalarda İş Sağlığı ve Güvenliği Üzerine Bir Değerlendirme. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 5(2), 232-246.
- [6] KOCAMAN, Ö. Ü. B. (2020). BÖLÜM 2: ELEKTRİK TESİSLERİNDE ÖNEMLİ BİR KORUMA. TÜRKİYE'DE MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİNDE AKADEMİK ARAŞTIRMALAR, 23.
- [7] Güçlü, M. (2007). Ohsas 18001 İş Sağlığı ve Güvenlik Yönetim Sistemi (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).
- [8] Ateş, F. M., Teber, A., & Güngör, O. (2019). Elektrik kazalarına karşı temel önlemler ve ilk yardım üzerine bir çalışma. Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2(2), 336-347.
- [9] ÖRDEK, Ö. (2024). Elektrik Tesis Bakım ve Onarım Çalışmalarının İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi (Master's thesis).
- [10] FİDAN, B. (2023). Elektrik Dağıtım Sektöründe Yapım İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği.

THE IMPORTANCE OF SCADA SYSTEMS IN ELECTRIC NETWORKS

SCADA SİSTEMLERİNİN ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDEKİ ÖNEMİ

İbrahim Çağrı BARUTÇU¹

¹Asst. Prof. Dr., Hakkari University, Çölemerik VHS, Department of Electric and Energy, Hakkari, Turkey.

¹ ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6164-2048>

¹ ibrahimcagribarutcu@hakkari.edu.tr,

Erşan Ömer YÜZER²

²Asst. Prof. Dr., Hakkari University, Çölemerik VHS, Department of Electric and Energy, Hakkari, Turkey.

²ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9089-1358>

² ersanomeryuzer@hakkari.edu.tr,

Emrah HARMANCI³

³Lecturer, Hakkari University, Çölemerik VHS, Department of Electric and Energy, Hakkari, Turkey.

³ ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6479-5178>

³ emrahharmanci@hakkari.edu.tr,

ABSTRACT

Electricity grids are complex systems comprised of many interconnected stages, including generation, transmission, and distribution. Advanced monitoring and control infrastructures are required for these systems to operate efficiently, securely, and sustainably. This is where SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) systems come into play. SCADA systems are technological infrastructures capable of automatically performing remote data collection, analysis, control signal transmission, and monitoring processes. Thanks to these systems, transformer substations, circuit breakers, distribution lines, and other control points within the electrical grid can be remotely monitored and intervened when necessary. One of the most significant benefits of SCADA systems is their significant reduction in fault detection and response time. Thanks to instantaneous data transmission, the system immediately notifies operators of adverse conditions in the field. This minimizes potential power outages and reduces the need for human intervention. SCADA also records energy consumption data and enables analysis, which can increase energy efficiency and reduce losses. Its advanced reporting capabilities also contribute to decision-support processes. Consequently, SCADA systems not only increase efficiency and service quality in electrical grids but also ensure system security and continuity. In developing energy infrastructures, SCADA has become a core component of smart grid systems and an indispensable tool in energy management.

Keywords: SCADA, electrical grid, automation, energy monitoring, fault management, remote control, energy efficiency, digitalization

ÖZET

Elektrik şebekeleri, üretim, iletim ve dağıtım gibi birbirine bağlı birçok aşamadan oluşan karmaşık sistemlerdir. Bu sistemlerin verimli, güvenli ve sürdürülebilir şekilde çalışabilmesi için gelişmiş izleme ve kontrol altyapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemleri devreye girmektedir. SCADA sistemleri; uzaktan veri toplama, analiz etme,

kontrol sinyali gönderme ve izleme işlemlerini otomatik olarak gerçekleştirebilen teknolojik altyapılardır. Bu sistemler sayesinde elektrik şebekesindeki trafo merkezleri, kesiciler, dağıtım hatları ve diğer kontrol noktaları uzaktan izlenebilir ve gerektiğinde müdahale edilebilir hâle gelmiştir. SCADA sistemlerinin en önemli katkılarından biri, arıza tespit ve müdahale süresini ciddi ölçüde azaltmasıdır. Sistem, anlık veri iletimi sayesinde sahadaki olumsuz durumları operatörlere anında bildirir. Böylece olası enerji kesintileri minimuma indirilirken, insan müdahalesine duyulan ihtiyaç ta azalır. Aynı zamanda SCADA, enerji tüketim verilerini kaydederek analiz imkânı sunar; bu sayede enerji verimliliği artırılabilir, kayıplar azaltılabilir. Gelişmiş raporlama özellikleriyle karar destek süreçlerine de katkı sağlar. Sonuç olarak SCADA sistemleri, elektrik şebekelerinde verimliliği ve hizmet kalitesini artırmakla kalmayıp, sistemin güvenliğini ve sürekliliğini de sağlamaktadır. Gelişen enerji altyapılarında SCADA, akıllı şebeke sistemlerinin temel bileşeni hâline gelmiş ve enerji yönetiminde vazgeçilmez bir araç olmuştur.

Anahtar Kelime: SCADA, elektrik şebekesi, otomasyon, enerji izleme, arıza yönetimi, uzaktan kontrol, enerji verimliliği, dijitalleşme

INTRODUCTION

The supply of uninterrupted, high-quality, and affordable energy, as well as the optimization of energy consumption, form the foundations of development and progress. The most effective way to increase efficiency is to control energy consumption. Despite the limited availability of common energy resources, the rapid increase in consumption highlights the importance of efficient energy consumption. Figure 1 shows Turkey's demand projection for the period 2017-2037, which shows that demand is rapidly increasing and will continue to do so. Energy quality is crucial not only for energy savings but also for increasing production efficiency and reducing the frequency of faults. Numerous energy quality problems, such as the presence of reactive power in the grid, voltage sags/swells, transients (very rapid changes occurring in less than a single cycle), harmonic distortions, noise, and EMI, arise, causing material and moral harm to both producers and consumers. To minimize all these risks and ensure energy efficiency, energy must be monitored from generation to final consumption and controlled according to the most appropriate scenario. This will be possible by installing comprehensive energy automation systems at generation, transmission, and distribution points. Power quality problem analysis, along with SCADA monitoring and archiving, was accomplished through energy automation systems established to monitor the company's energy distribution system [1]. When there is a power outage in the company, the SCADA communication center is informed by the call center. In line with this information, the malfunction is detected by systematically examining the GIS (geographic information system) of the area where the malfunction occurs. The malfunction is then transmitted to the FRM (fault repair and maintenance) teams serving in the specified location. After this, the personnel in the field intervene in the malfunction. In addition, when there is maintenance or repair work in regional locations, the SCADA communication unit notifies consumers via message in the areas where the outage occurs.

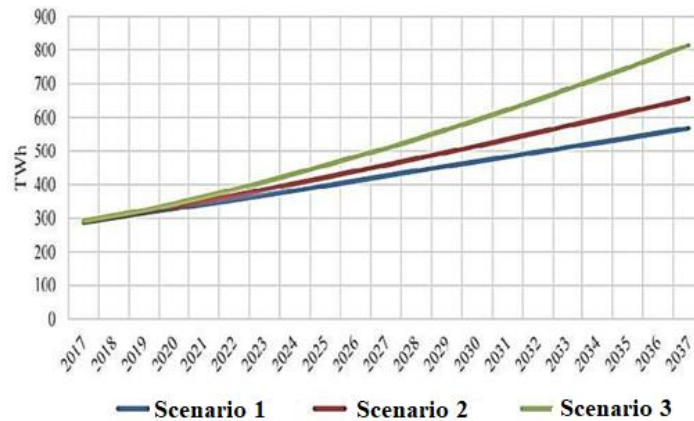


Figure 1. Turkey's electricity demand projection [1]

RESEARCH AND RESULTS

Definition of SCADA

SCADA is formed from the initials of the words "Supervisory Control and Data Acquisition," meaning "supervisory control and data acquisition." The term "SCADA" was coined by the Bonneville Power Administration in the 1960s. SCADA is a type of technology that allows users to collect information from one or more facilities and send control instructions to these facilities. A SCADA system consists of a Central Control System (CTS) (MTU, Master Terminal Unit) and one or more Remote Terminal Units (RTUs), which provide data transfer. Thanks to SCADA systems, the need to assign an operator to remote facilities while everything is running smoothly within the system has been eliminated [2]. The SCADA system will alert the central operator if an alarm occurs, allowing the operator to take the necessary precautions. In short, a SCADA system consists of hardware and software, but these hardware and software are used for many different purposes and are constantly being developed to meet these needs. SCADA System Structure: We can also briefly define a SCADA system as a long-distance operation. Long-distance means that the location of the control and the location being controlled are too far to communicate with a direct connection to the hardware.

Using SCADA in distribution systems allows for the use of numerous functions. Its data collection function displays the network's measurement (current, voltage, frequency) and status information (breaker/disconnector open/closed) on the screen, based on the number of devices connected to SCADA. Figure 2 shows that with advisory control, operators can remotely control devices such as circuit breakers and load break switches. Labeling defines device restrictions, preventing unauthorized use. Trends in measurements (current values) are displayed on the screen at selected times (e.g., short circuits) [2].

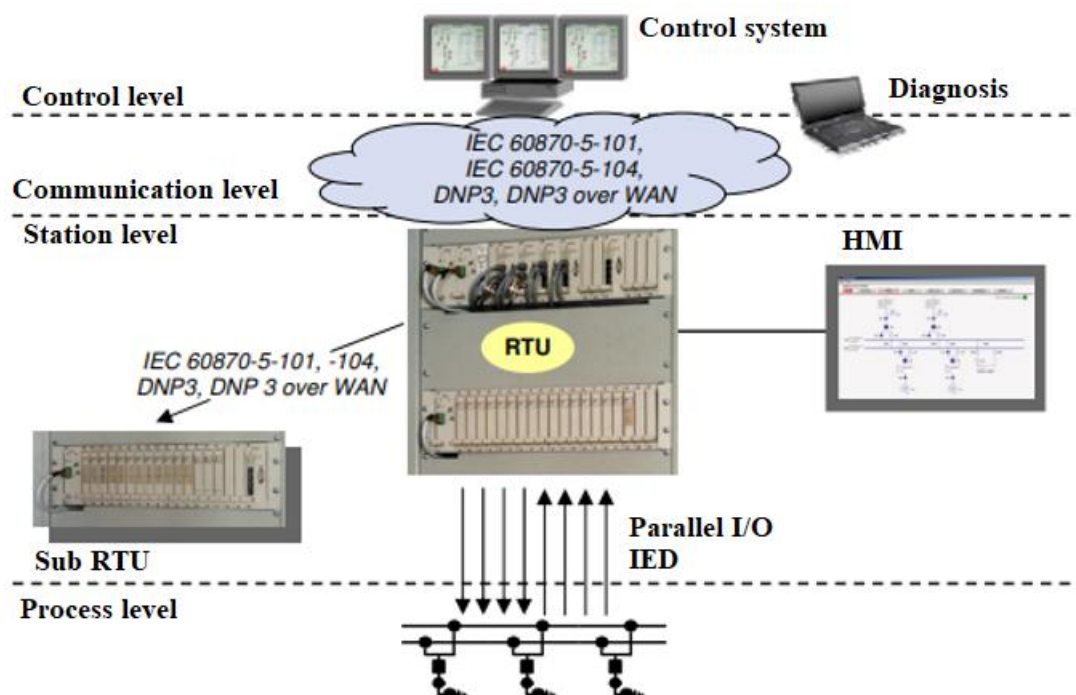


Figure 2. Structure of a SCADA system in a distribution network [2]

The hierarchy of a SCADA system is presented in Figure 3 [3]. This hierarchy is given as follows:

- Field level measurement and control devices
- Communication system of panels and RTUs where field information is collected
- Main station(s)
- Main screen computer

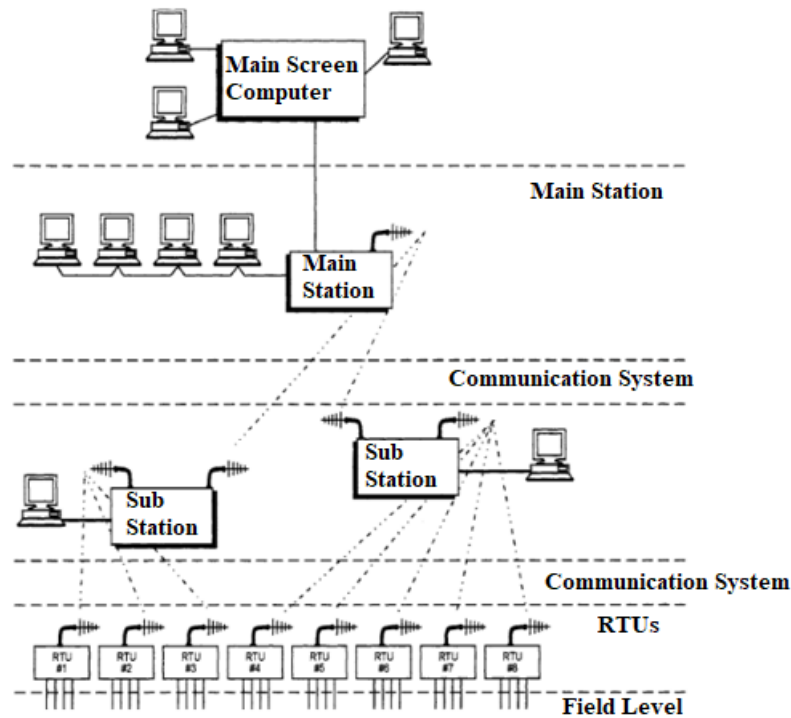


Figure 3. The hierarchy of a SCADA system [3]

SCADA systems exhibit open-loop control characteristics and generally function in long-distance communication. They have also been used in closed-loop control and short-distance communication. Figure 4 shows a typical SCADA system. Traditional SCADA systems are similar to Distributed Control Systems in terms of process control and monitoring. However, DCS (Distributed Control Systems) differ from SCADA in that data acquisition, control units are located in more confined spaces, and communication is achieved via a high-speed LAN (Local Area Network) connection. On the other hand, SCADA covers larger geographic areas and is more reliable than LAN (Local Area Network) systems. The data transfer function of SCADA systems consists of transferring inputs to RTUs, transferring these inputs via RTUs to MTUs via communication links, and processing them again. Furthermore, SCADA sends commands to the RTUs via these links, which the operator can then set automatically or manually. The Human-Machine Interface (HMI), which we call the interface in SCADA systems, is generally implemented using graphical displays representing the equipment and facilities under control. Real data can be dynamically transferred onto a static background. When the input in the controlled area changes, the background is updated, and the change is reflected on the screen as digital or analog values [4].

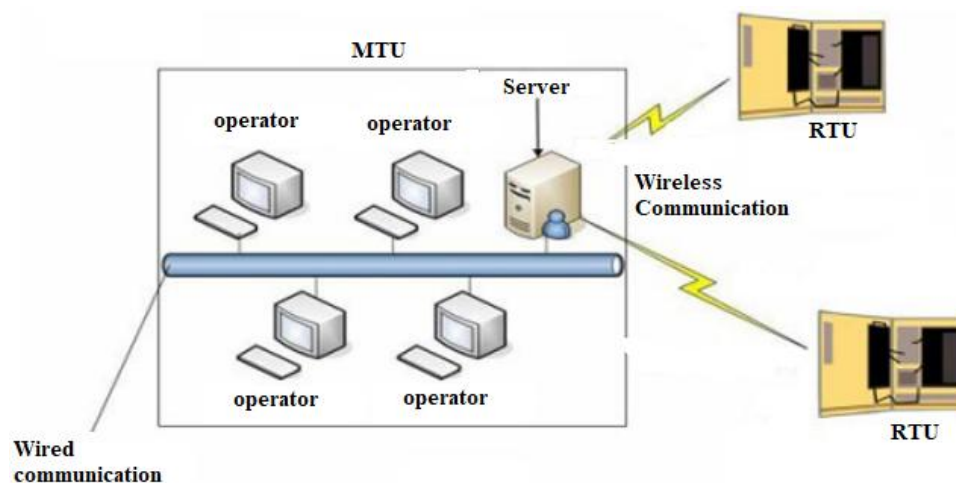


Figure 4. Typical SCADA system [4]

A typical RTU hardware consists of various components: a control processor (CPU) and integrated memory, analog inputs, analog outputs, counter inputs, digital inputs, digital outputs, a communication interface, a power supply, RTU rack, and accessories. The structure of the RTU is given in Figure 5.

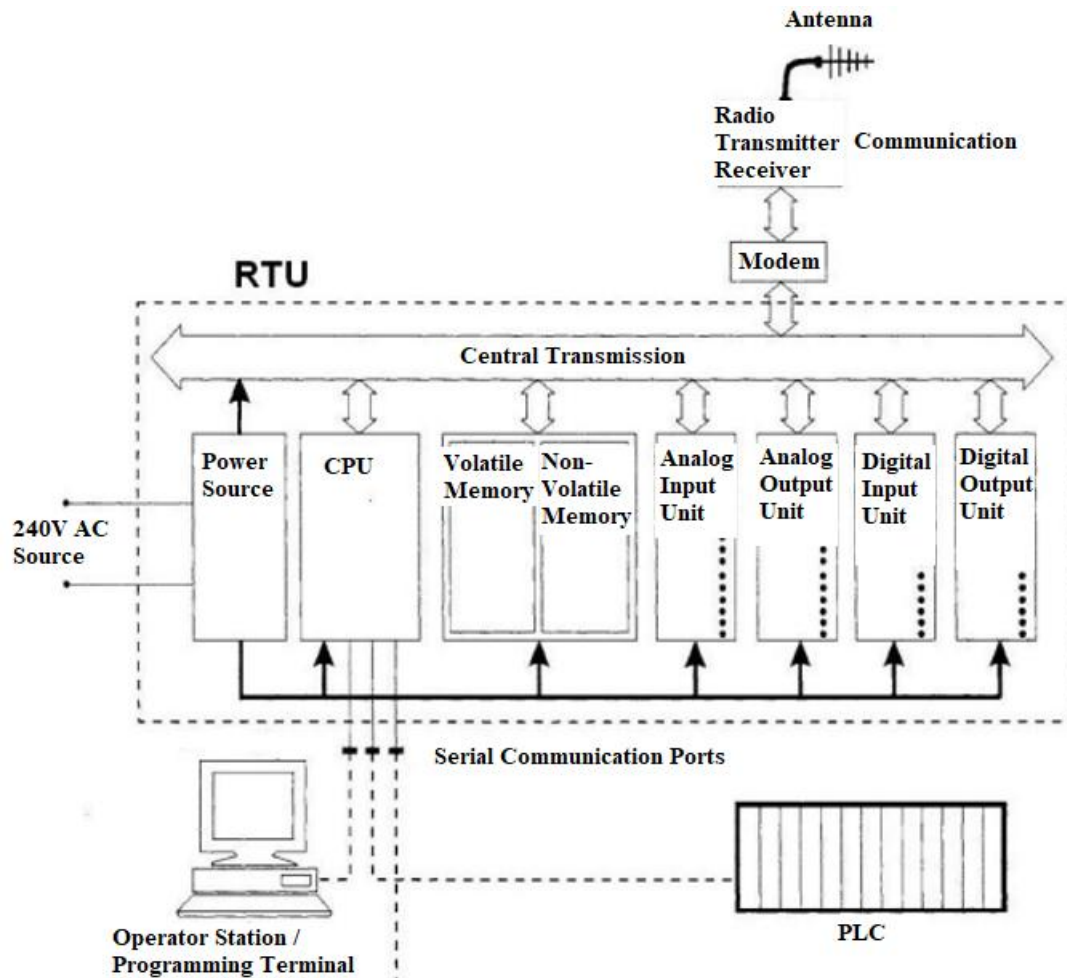


Figure 5. The structure of RTU [5, 6]

The Role of SCADA in Electrical Grids

1. Remote Monitoring, Data Collection and Analysis

SCADA collects real-time data (e.g., current, voltage, power, meter data) via RTU/PLC at remote substations and lines within the grid and transmits it to the central control unit. This allows centralized monitoring of every point in the electrical distribution network, even over a wide area.

2. Feeder Automation and Fault Management

SCADA, thanks to feeder automation, quickly detects faults and remotely performs isolation and power reconnection operations. This reduces dependence on local teams for the grid, reducing downtime from hours to minutes with traditional methods.

3. Reducing Downtime

With automatic on/off operations instead of manual interventions, the duration of the outage is shortened, dangers are reduced and the user is provided with higher quality, more reliable energy.

4. Network Control and Optimization

SCADA provides remote control over circuit breakers, relays, and transformers on the network. Voltage levels can be regulated, load balancing can be achieved, and automatic maneuvers can be performed in certain situations. Numerous alarms, status detection, and interventions are automated with SCADA.

5. Quality, Safety and Planning

SCADA provides information about power quality through remote monitoring and enables planned interventions. Additionally, system data is logged for future analysis—supporting planning and improvement efforts [7].

Contributions of SCADA to the Electrical Grid

The contributions of SCADA to the electrical grid are presented as follows [7]:

- Provides uninterrupted energy supply.
- Reduces human error.
- Provides rapid troubleshooting.
- Increases energy efficiency and cost-effectiveness.
- Balances load distribution and maintains energy quality.

Components of the SCADA System

The components of the SCADA system are given as in the following [8]:

- RTU (Remote Terminal Unit): Collects data from field devices and executes commands.
- PLC (Programmable Logic Controller): Executes local control functions.
- Main control center and software: Processes data and provides the operator interface.
- Communication infrastructure: Carries data over networks such as fiber optic, radio, and GSM.

SCADA and Smart Grids in the Future

SCADA systems form the foundation of smart grid infrastructure. SCADA technology is constantly evolving for renewable energy integration, grid flexibility, and consumer-centric energy management. SCADA systems are indispensable in electrical grids, both operationally and economically [9]. The role of SCADA systems in modern electrical grids is constantly increasing to ensure energy supply security, system efficiency, and quality.

SCADA's Functional Tasks and Components

SCADA collects parameters such as voltage, current, and frequency, enabling real-time monitoring and remote control through RTU (Remote Terminal Unit) and PLC (Programmable Logic Controller) devices installed in transformer substations and distribution lines. Communication channels (fiber optic, radio, GSM) ensure continuous connection with the central system.

Functions and Benefits of SCADA

Faults are quickly detected and isolated automatically or through operator intervention, thus minimizing power outages.

Energy Efficiency and Quality Management

SCADA systems analyze energy consumption and quality parameters and suggest strategies to increase efficiency. Renewable energy sources (RES) and grid systems are monitored and managed by SCADA.

Security and Cyber Risks

The internet-connected operation of SCADA systems creates vulnerability to cyberattacks. Therefore, advanced security methods such as data integrity, encryption, IDS (Intrusion Detection Systems), and Blockchain are recommended.

CONCLUSION

Today, the reliable, efficient, and sustainable operation of electricity grids has become more critical than ever due to factors such as increasing energy demand, variable load profiles, and the integration of renewable energy sources into the grid. SCADA systems form the backbone of modern energy infrastructure, providing uninterrupted monitoring, control, and data collection across all processes, from generation to transmission and distribution. SCADA systems allow real-time monitoring of the entire energy flow, from transformer substations to transmission lines, from distribution networks to consumers. Potential faults can be detected immediately and rapid intervention is provided, minimizing the duration and impact of power outages. Real-time data collection enables not only fault management but also important objectives such as load balancing, reducing energy losses, and improving energy

quality. The role of SCADA systems is becoming increasingly important, particularly in the integration of renewable energy sources into the grid. The sound management of variable generation sources such as solar and wind, and the balanced and safe transfer of energy from these sources to the grid, are made possible through the advanced monitoring and automatic control capabilities of SCADA systems. Furthermore, as a fundamental component of the smart grid concept, SCADA contributes to making future energy infrastructures more flexible, interactive, and user-centric. However, the proliferation of SCADA systems and their integration with increasingly complex networks also introduces cybersecurity risks. Because potential cyberattacks on critical energy infrastructures can lead to widespread power outages and economic losses, advanced security protocols, encryption techniques, and multi-layered defense strategies must be implemented in SCADA systems. Consequently, SCADA systems are an indispensable technology for increasing the operational efficiency of electrical grids, ensuring energy supply security, facilitating the integration of renewable resources, improving energy quality, and minimizing the risk of failures and outages. Therefore, the development, expansion, and cybersecurity of SCADA infrastructure in today's energy sector are critical to achieving sustainable and uninterrupted energy supply.

REFERENCES

- [1] Üstünsoy, F., & Sayan, H. H. (2018). PLC destekli SCADA ile enerji yönetimi için örnek laboratuvar çalışması. *Politeknik Dergisi*, 21(4), 1007-1014.
- [2] Clarke, G., Reynnders, D., & Wright, E. (2004). *Practical modern SCADA protocols: DNP3, 60870.5 and related systems*. Newnes.
- [3] Daneels, A., & Salter, W. (1999). *What is SCADA?*.
- [4] Bailey, D., & Wright, E. (2003). *Practical SCADA for industry*. Elsevier.
- [5] Kaur, K., & Kaur, R. (2014). Energy management system using PLC and SCADA. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3(11), 528-531.
- [6] ÖZKARA, A. (2009). BİR ORTA GERİLİM DAĞITIM SİSTEMİ MODELİNİN SCADA İLE İZLENMESİ. (Master's thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi (Turkey)).
- [7] Yücel, A. (2005). Elektrik dağıtım şebekeleri için SCADA Sistemlerinin İncelenmesi ve Bir bölge uygulamasının Bilgisayar ortamında yapılması (Master's thesis, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- [8] Munister, V. D., Zolkin, A. L., Aygumov, T. G., & Ozhiganov, V. E. (2021, November). Introduction of fog computations to measuring system collection and accounting of data of distributed Internet of Things. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2096, No. 1, p. 012155). IOP Publishing.
- [9] Yurdabak, M., & Şekkeli, M. (2014). Elektrik dağıtım şebekelerinde scada/dms sistemlerinin incelenmesi ve uygulanması. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 17(2), 26-31.

FOUR WHEEL DRIVE ELECTRIC LAND VEHICLE ELECTRONIC SYSTEM DESIGN

Mustafa AKYÜZ

Arbak Defense and Energy Technologies Inc., Manisa, Türkiye
mustafa.akyuz@arbaksavunma.com.tr - ORCID ID: 0009-0005-7252-8650

Mohammad Ruhul Amin BHUIYAN

Islamic University, Electrical and Electronic Engineering, Kushtia 7003, Bangladesh
mrab_eee@iu.ac.bd - ORCID ID: 0000-0001-7335-4158

Hayati MAMUR

Manisa Celal Bayar University, Electrical and Electronics Engineering, Manisa, Türkiye
hayati.mamur@cbu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-7555-5826

ABSTRACT

The aim of this study is to design and implement a control system for a four-wheel-drive (4x4) electric all-terrain vehicle (ATV) capable of operating under challenging off-road conditions with high maneuverability. Four individually controlled brushless direct current (BLDC) hub motors were used as wheels, and their speeds were regulated in closed-loop mode using feedback from Hall sensors. The vehicle's steering control was achieved through proportional–integral–derivative (PID) algorithms based on analog signals from a potentiometer-based throttle. The control system was developed using the STM32F407 microcontroller (MCU), which also generated the pulse-width modulation (PWM) signals for the motors. Two Bosch BNO055 inertial measurement unit (IMU) sensors were employed for slope and orientation detection, enabling differential angle calculations. The data obtained from these sensors were integrated into speed balancing algorithms to enhance driving stability. The system incorporates multiple subsystems, including analog sensor data acquisition, multi-motor drive, PID-based speed control, and real-time slope estimation. The vehicle is designed to adapt to various terrain conditions and features a modular structure, making it suitable for reuse in similar future projects.

Keywords: Electrical Vehicle, PID Control, Sensor Fusion

1. INTRODUCTION

All-terrain vehicles (ATVs) are gaining increasing attention due to their high maneuverability and environmentally friendly performance in challenging terrain conditions compared to traditional internal combustion engine vehicles. However, the operation of such vehicles in rough terrains presents significant engineering challenges, including independent control of all four wheels, real-time stabilization, and energy-efficient operation [1]. Brushless DC (BLDC) hub motors, known for their

high torque density and rapid dynamic response, have emerged as an optimal solution for electric vehicle applications [2].

Despite extensive research on electric vehicle drive systems, critical gaps remain in areas such as multi-motor control architectures, embedded system integration, and energy management. While previous studies have demonstrated the potential to reduce PID control settling time in BLDC motors to 18 ms, investigations on parameter synchronization across multiple motors remain limited [3]. Moreover, communication delays among heterogeneous electronic control units (ECUs), such as STM32 and ESP32, can hinder real-time control performance. Energy efficiency also remains a concern, particularly in hybrid battery–supercapacitor systems, where efficient power transfer during regenerative braking is still an unresolved issue [4].

To address these challenges, this study proposes independent PID-based control for each of the four 48 V/1000 W BLDC hub motors, with individually optimized PID parameters ($K_p = 100$, $K_i = 0.5$, $K_d = 500$), enabling microsecond-level synchronization [3]. Real-time data flow is achieved through a time-triggered architecture, with 100 ms intervals of UART/USART communication among STM32F407 (control unit), ESP32 (data acquisition), and Android (user interface) modules [5]. Sensor fusion is applied by integrating slope and orientation data from dual BNO055 IMUs with wheel speed feedback from Hall sensors, enhancing closed-loop PID performance and overall vehicle stability [6].

The methodological foundation of this work leverages the proven advantages of PID controllers, which have demonstrated 32% lower overshoot compared to PI and fuzzy logic controllers [3] and aligns with distributed Electrical and Electronic (E/E) architecture principles [1]. Additionally, mechanical efficiency improvements were guided by axial-flux motor design strategies [7]. The subsequent sections of this paper describe the system in detail: the Materials and Methods section explain the triggering architecture of KLS7212N motor drivers using IRLZ44N MOSFETs, the Results section presents torque–speed–slope performance tests conducted on muddy and sandy terrains, and the Discussion section evaluates the industrial applicability of the proposed system.

In this study, the developed control system was implemented on a four-wheel-drive electric ATV platform, and its performance was experimentally validated under muddy and sandy terrain conditions. Torque, speed, and slope responses were measured to evaluate system stability, energy efficiency, and responsiveness. The results indicate that precise multi-motor control, real-time stabilization, and adaptability to challenging off-road environments were achieved, demonstrating the potential applicability of the proposed system in next-generation electric mobility solutions.

2. MATERIAL AND METHODS

The aim of this study is to design and implement an embedded system for a four-wheel-drive electric ground vehicle that enables real-time speed control, battery monitoring, and data transmission to a user interface. The system performs various functions such as motor driver control, communication with a Battery Management System (BMS), steering angle calculation, and information delivery to the user.

The system consists of three main components: a control unit based on the STM32F407VG microcontroller, a data acquisition and preprocessing module based on the ESP32, and an Android tablet interface.

The names and properties of materials used in the installation of the system are presented in Table 1.

Table 1. The names and properties of the materials.

Material	Properties
STM32F407VG Discovery	Executes PID control algorithm, PWM signal generation, and MOSFET switching
ESP32 DevKitC V4	Collects BMS and sensor data, transmits to STM32 via UART
KLS7212N Motor Driver	Controls 48V 1000W hub motors
IRLZ44N MOSFET	Controls 12V trigger signal to KLS drivers from STM32 GPIO
4x Hub Motor (48V, 1000W)	Drive system
Rotary Encoder	Detects handlebar rotation angle (used as input to the system)
2x Hall Sensör	Measures wheel RPM (connected to ESP32)
Potentiometer	Input device for driver's throttle command
BMS module	Provides battery voltage, current, SOC, and fault information
Android Tablet	User interface device that receives data from STM32

The control system operation begins with system initialization, during which the STM32F407 microcontroller configures the PWM channels and sets up the ADC, UART, and Direct Memory Access (DMA) peripherals. At the same time, the ESP32 activates interrupt routines for the Hall sensors and the rotary encoder and starts receiving data from the BMS. Once initialization is complete, the driver provides input by setting the desired vehicle speed through the throttle and the steering direction via handlebar rotation. These inputs are processed by the PID algorithm running on the STM32.

The ESP32 continuously acquires sensor and battery data, including motor RPMs from Hall sensors, steering angle from the rotary encoder, and voltage, current, state of charge (SOC), and fault codes from the BMS. This information is transmitted to STM32 over UART1 in a structured format, which is then parsed by a function and assigned to the corresponding system variables. Using this data, the STM32 calculates the required motor commands with the PID controller, considering both speed differences among the motors and the steering angle. An updated motor PWM function generates the appropriate PWM signals for all four motors, while GPIO outputs control the IRLZ44N MOSFETs to determine motor rotation direction.

Finally, the processed data is sent to the Android tablet via USART2 for real-time monitoring. Four separate data packets are prepared using a function and transmitted sequentially through a call back function, ensuring that the operator receives continuous updates on vehicle performance and system status. The system setup of the ATV is presented Figure 1.

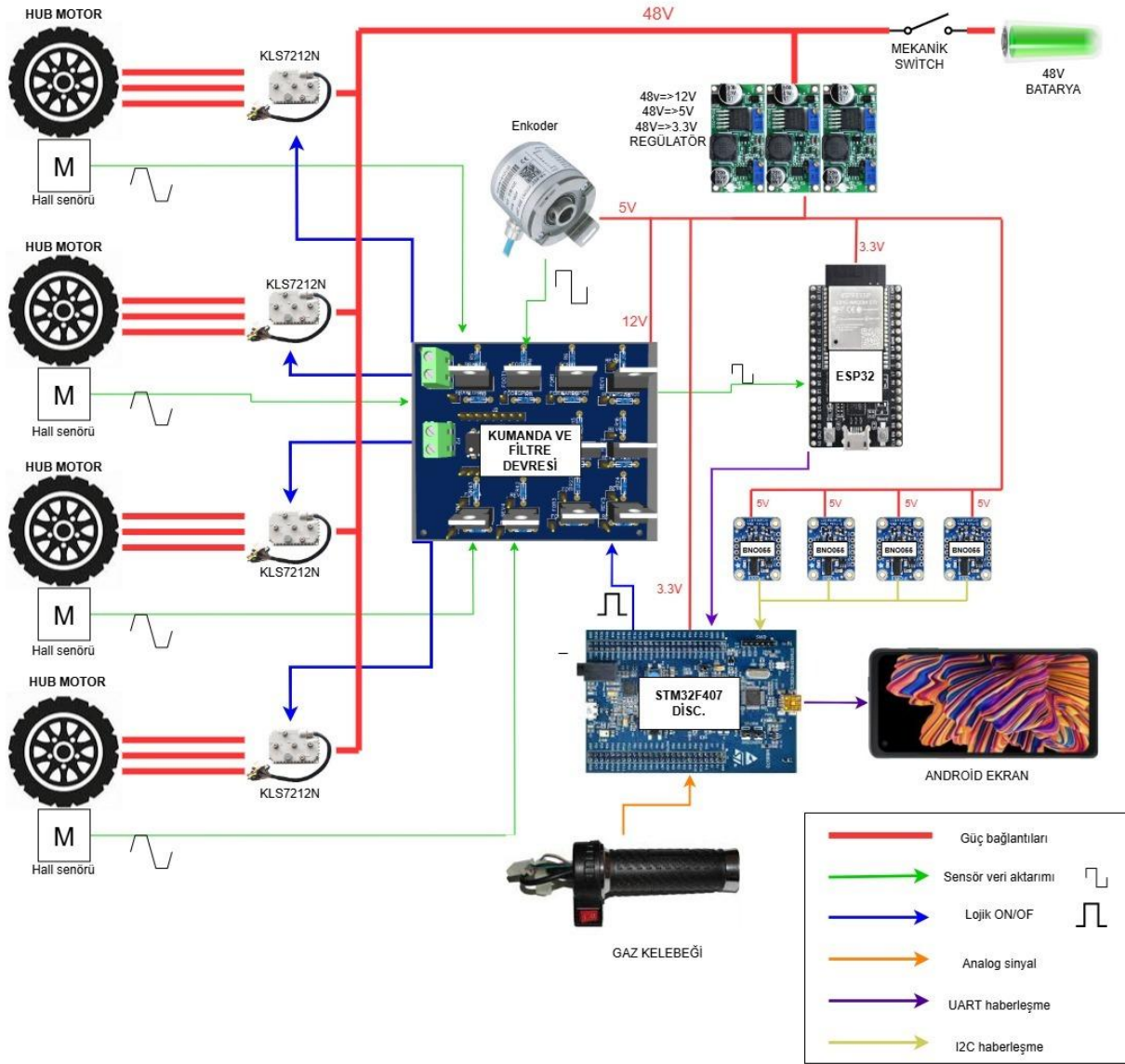


Figure 1. Electronic system diagram of the ATV

Timing and synchronization in the system are managed through different mechanisms on the ESP32 and STM32 sides. On the ESP32, data processing is coordinated using the FreeRTOS task a function ensuring timely handling of sensor and battery information. On STM32, UART communication is interrupt-driven, while the main loop handles data processing. Data transmission is scheduled periodically, with the ESP32 sending information to the STM32 every 100 ms. In turn, the STM32 transmits data to the Android tablet approximately every 200–400 ms, using a four-packet transmission cycle to provide continuous system monitoring.

The schematic of electronic system of the ATV is given Figure 2.

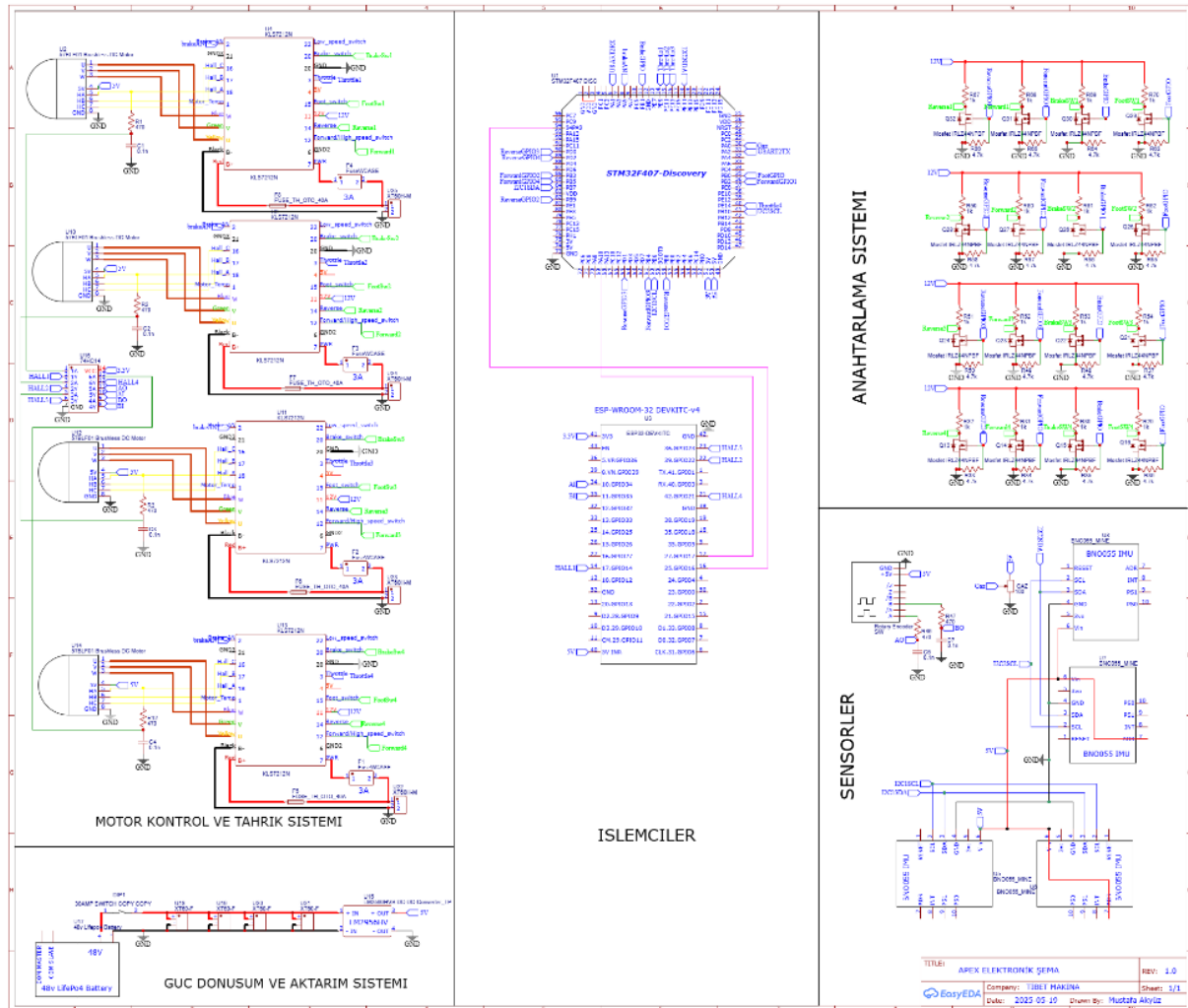


Figure 2. Electronic hardware layout of the ATV

3. RESULTS AND DISCUSSION

The developed system has been successfully operated as an electric ground vehicle platform integrated with real-time data monitoring and communication infrastructure, controlling four 1000 W 48 V hub motors. The PID-based motor control algorithm implemented on the STM32F407 Discovery microcontroller processed the throttle input from the potentiometer and steering angle from the rotary encoder to generate appropriate PWM signals for each motor. These PWM signals were transmitted effectively to the motor drivers.

Control signals at 12 V were delivered to the Kelly KLS7212N motor drivers through IRLZ44N MOSFETs located on the motor control board. During the tests, each motor was independently actuated, and accurate responses were obtained for forward and reverse movement commands.

The ESP32 microcontroller was responsible for reading both the steering angle and the wheel rotation speeds via Hall sensors and transmitting this data to the STM32 via UART. Additionally, it communicated with the BMS every 30 seconds over UART to obtain voltage, current, SOC, and fault codes. These data were passed and sent to STM32, which then processed and transmitted the information as structured data packets to a Bluetooth-connected Android tablet interface.

In the tests conducted, the system successfully rotated the motors, consistently read sensor values, and correctly acquired and processed battery-related data. Furthermore, the fault codes received from the BMS were decoded and analyzed to provide preliminary diagnostics for potential issues. These results demonstrate that the system operates reliably and in synchronization, as originally designed.

4. CONCLUSION

In this study, the motor control and condition monitoring system of a four-wheel-drive electric ground vehicle was successfully designed and implemented. At the core of the system, the STM32F407 microcontroller effectively managed both the PWM-based control of motor drivers and the synchronized data communication with the ESP32 microcontroller and the BMS.

The ESP32 module measured motor rotational speed via Hall sensors and the vehicle's steering angle via a rotary encoder, transmitting this data to STM32. It also communicated with the BMS to collect battery voltage, current, SOC, and fault status. These data were processed by the STM32, integrated into the vehicle control algorithms, and transmitted in real time to an Android-based dashboard interface.

The system successfully performed essential functions such as motor direction control, speed regulation, and battery status monitoring. Test results showed that all components operated in harmony. These findings demonstrate that the developed system provides a functional and expandable foundation for similar electric vehicle platforms.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank Arbak Defense and Energy Technologies Inc. for providing the necessary conditions for conducting the research.

REFERENCES

- [1] Chakraborty, S., Lukasiewicz, M., Buckl, C., Fahmy, S., Chang, N., Park, S., ... & Adlkofer, H. (2012, March). Embedded systems and software challenges in electric vehicles. *In 2012 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition*, (pp. 424-429). IEEE.
- [2] Gökozan, H. (2020). Traction motors and motor drivers used in electric vehicles. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (19), 105-111.
- [3] Mahmud, M., Motakabber, S. M. A., Alam, A. Z., & Nordin, A. N. (2020). Control BLDC motor speed using PID controller. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(3).
- [4] ElGhanam, E., Sharf, H., Hassan, M. S., & Osman, A. (2023). Performance evaluation of hybrid battery–supercapacitor-based energy storage systems for urban-driven electric vehicles. *Sustainability*, 15(11), 8747.
- [5] Rao, C. K., Sahoo, S. K., & Yanine, F. F. (2024). Smart energy management and monitoring system for electric vehicles with IoT integration. *Electric Vehicle Design: Design, Simulation and Applications*, 57-80.
- [6] Shenoy, P., & Gupta, A. (2022). Design and validation of an IMU based full hand kinematic measurement system. *IEEE Access*, 10, 93812-93830.
- [7] Qi, H., Ling, L., & Liwei, Z. (2019, September). Design and research of axial flux permanent magnet motor for electric vehicle. *In 2019 IEEE 3rd International Electrical and Energy Conference (CIEEC)* (pp. 1918-1923). IEEE.

REGENERATIVE BRAKING SYSTEM WITH BRUSHLESS DIRECT CURRENT MOTOR DRIVE FOR ELECTRIC BICYCLES

Emircan HIZARCI

Manisa Celal Bayar University, Electrical and Electronics Engineering, Manisa, Türkiye
emirhizarci@gmail.com, ORCID ID: 0009-0001-7080-3998

Mustafa Gökhan DAĞHAN

Manisa Celal Bayar University, Electrical and Electronics Engineering, Manisa, Türkiye
mgokhandaghan@outlook.com, ORCID ID: 0009-0004-2239-2794

Mohammad Ruhul Amin BHUIYAN

Islamic University, Electrical and Electronic Engineering, Kushtia 7003, Bangladesh
mrab_eee@iu.ac.bd - ORCID ID: 0000-0001-7335-4158

Hayati MAMUR

Manisa Celal Bayar University, Electrical and Electronics Engineering, Manisa, Türkiye
hayati.mamur@cbu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-7555-5826

ABSTRACT

This project aims to drive brushless direct current (BLDC) motors used in electric bicycles and develop a regenerative braking system. The aim is to increase energy efficiency and return the energy generated during braking to the battery. This extends the range of electric vehicles and contributes to environmental sustainability. Within the scope of the project, the BLDC motor is driven using the STM32F103C8 microcontroller, based on data from Hall sensors and appropriate phase switching. A boost converter circuit, designed for energy recovery, amplifies the energy generated during motor braking and transfers it to the battery. Simulations were performed using Proteus and LTSpice programs; the system's software algorithms were developed, and a prototype circuit was built on a breadboard. Following hardware tests, the final system was mounted on a perforated pertinax, providing a more robust and portable structure. At this stage, component placement was optimized, circuit security was increased, and system operability was tested. All tests demonstrated that the system successfully performs both motor driving and regenerative braking functions. The project has created an effective solution for energy recovery by offering a low-cost and efficient structure.

Keywords: BLDC, energy, regenerative braking, STM32F103C8, sustainability

1. INTRODUCTION

Electric vehicles (EVs) are becoming increasingly widespread. They are environmentally friendly and important tools for developing sustainable environments. The use of EVs is encouraged by government

subsidies in countries with limited fossil fuel resources. Their quiet operation offers a significant advantage compared to fossil fuel vehicles. However, one of the biggest disadvantages of EVs is their long battery charging times. Another is their shorter range compared to fossil fuel vehicles. Efforts to shorten charging times and increase the range of EVs are ongoing.

To increase the range of EVs, the aim is to increase the energy cycle by using regenerative braking systems. Regenerative braking is the conversion of kinetic energy into electrical energy while driving downhill and stopping without wasting it. Numerous studies are underway to implement this process.

An advanced regenerative braking system design prototype for an electric bicycle was developed by Naveed et al. [1]. In this project, only the regenerative braking structure is discussed. In the project, the ATMEGA328P microcontroller is used for motor speed monitoring, and according to the motor speed, accelerator pedal pressure and braking, the phases of the motor are disconnected from the driver with relays and connected to a three-phase rectifier. In another study, Candan and Mamur provided the use of regenerative braking in hub (core) type BLDC in electric bicycles [2]. STM32F407VG is used as microcontroller in this project. The microcontroller controls the motor driver and while driving the motor, in case of a brake command, three phases of the motor are disconnected from the driver with relays and connected to a three-phase rectifier. Thus, the energy is transferred to the ready boost converter after the rectifier and increased to the required voltage, and the battery stores the recovered energy. In another study, Krklješ et al. The control of the BLDC driver was developed [3]. In this project, a sensor-based control method was used for BLDC control. The team chose ATmega16 as the microcontroller. Their design covered a wide input voltage range from 12 V to 24 V, current limits from 2.5 A to 5 A, and supported motors with output power up to 120 W. Jiaqun and Haotian developed a BLDC regenerative brake for lightweight EVs in another project [4]. The key difference in this project is that a boost converter is not designed for regenerative braking. The boost converter, using a single MOSFET switching method, uses the inductance of the brushless motor coils and the body diodes of the MOSFETs in the inverter. Thus, the low-side MOSFET is switched, short-circuiting the coil first, and then the current in the coil flows through the body diodes to the DC bus capacitor. In their project, they achieved regenerative braking without using a boost converter or relay systems. However, this project required more complex control algorithms. A variable switching regenerative braking technique for two-wheeler electric BLDC AVs was developed in a project by Dubey and Bobba [5]. In this project, three methods for regenerative braking without designing an extra boost converter were described. Salah et al. developed a drive system to improve the output characteristics of BLDC motors [6]. In this project, they used a low-cost drive topology developed for three-phase operation. A six-step PWM switching algorithm improved speed and torque control modes, reducing costs by eliminating the need for an additional intermediate DC link capacitor. A similar study was done by Karabacak as his master's thesis [7]. In his study, he provided speed control and regenerative braking functions of BLDC motor using STM32F407 microcontroller. In the system developed by Erdem, the effects of regenerative braking were analyzed on an EV modeled with a 75 kW asynchronous motor and 25 kW lead-acid batteries [8]. Tabak's study also examined the application of regenerative braking to an electric scooter. Those real-world driving tests showed that regenerative braking could increase range by 18.24% for lead-acid batteries and 25.36% for lithium-ion batteries.

This proposed study aims to increase energy efficiency by restoring energy lost during braking in EVs to the battery, thereby extending vehicle range and reducing carbon emissions. Literature research indicates that microcontrollers such as ATMEL AVR, Microchip PIC, and STM32's high-end, high-

cost microcontrollers are often preferred. However, in this study, the STM32F103C8 microcontroller was chosen because it offers high performance while offering cost advantages. This microcontroller, with its ARM Cortex-M3 processor, 72 MHz speed capability, and specialized features for motor drive operations, offers a cost-effective solution. The boost converter used to manage the regenerative braking process in the project was designed and controlled by the same microcontroller. By using op-amps and resistors instead of pre-built integrated circuits for current and voltage measurements, chip dependency is reduced, thus reducing costs and simplifying production. This system achieves an efficient and cost-effective structure.

2. MATERIAL AND METHODS

The rotor of a BLDC motor contains permanent magnets, which create a permanent magnetic field between the rotor and the stator. If an external torque is applied to the BLDC motor, voltage is induced in the windings of the rotor as the rotor rotates. This allows the BLDC motor to operate like a generator, generating energy [10]. The aim is to safely channel this energy generated by the BLDC motor to the battery during braking and coasting, increasing the vehicle's range and efficiency.

In this study, the BLDC motor was operated using a sensor-based drive method. It is possible to detect the rotor position in BLDCs using Hall sensors. Hall sensors can provide logic or analog outputs by detecting the change in the magnetic field applied to their surfaces; logic outputs are generally preferred in BLDC motors. BLDC motors with sensors usually have three Hall sensors. Each Hall sensor sends logic signals based on the position of the rotor's magnets. The microcontroller analyzes these logic signals to determine the motor's position. Based on the motor's position, the microcontroller drives the MOSFETs in the inverter in the appropriate sequence, ensuring the motor rotates in the desired direction and number of steps. The advantage of this method is that phase transitions are achieved with accurate timing by providing feedback via sensors, allowing the motor to operate with high efficiency. It also provides smooth and stable torque production even at low speeds. However, the biggest disadvantage of this method is that, because the motor is stationary at startup, the Hall sensors do not provide output, and therefore, the motor's position cannot be determined. Therefore, when the motor first starts, the microcontroller manually instructs the motor to step at a specific speed, ensuring initial movement. Data from the sensors begins to be read at this stage [11]. A 3 phase BLCD motor is given in Figure 1.

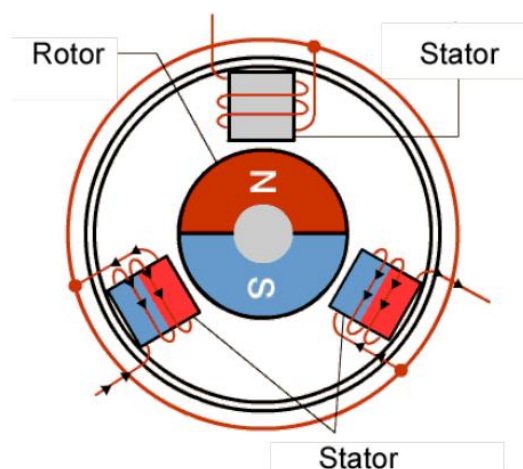


Figure 1. 3 phase BLDC motor

There are numerous BDC motor control methods. The most basic method involves driving motors with MOSFETs, FETs, or BJTs, either high-side or low-side, using PWM speed control at the logic signal level [10]. However, this method can only control the motor in one direction. For bidirectional control, an H-bridge circuit is used. Similar to the basic H-bridge drive method, the motor is connected between two half-bridge circuits using four switching elements. The direction of the motor is controlled by controlling the current direction based on the on-off state of the switches. Furthermore, the speed of the motor is controlled by driving the switching elements with PWM. Encoders, Hall sensors, and BEMF readings can be used as feedback. This allows the motor to rotate at the desired speed despite the load.

The six-switching inverter topology allows the drive of structures such as three-phase motors or transformers with a DC source. Using high-side and low-side switching elements on each of the three phases, the inverter controls the direction of currents in the phases through commutation and their magnitudes through PWM or SPWM. This ensures precise motor operation and energy efficiency. A buck converter is a DC-DC voltage reducer. It provides high-efficiency and low-cost voltage reduction when there is a large difference between the supply voltage and the desired voltage level. Moreover, a boost converter is a DC-DC voltage amplifier. It provides high efficiency and low cost voltage boosting.

The STM32F103C8 microcontroller is a 32-bit processor with a high-speed ARM Cortex-M3 processor. It can operate at frequencies as high as 72 MHz. This microcontroller is specialized for driving a four-channel, 16-bit TIMER1 motor and includes features such as a dead timer and an emergency stop. Furthermore, four PWM signals can be controlled simultaneously with a single timer. The 12-bit analog-to-digital converter (ADC) reading resolution enables high-precision analog data reading. The number of GPIO pins, flash memory capacity, and SRAM capacity are sufficient for our project. Furthermore, this microcontroller supports the CAN communication protocol [14]. Since communication between units in the automotive industry is carried out using LIN and CAN protocols, the project can be easily integrated into these systems.

In capacitive storage, the motor's phases are rectified during braking and connected to a supercapacitor bank. The energy induced in the motor during braking is transferred to the capacitor bank and stored. The stored energy can be used to power the system or charge the battery via DC-DC converters.

To charge a battery with a converter, the motor's phases are connected to a high-power converter, such as a boost converter or flyback converter, during braking, using relays or contactors. The converters are operated to provide the desired output current, transferring the energy generated during braking to the battery and charging it. The voltage booster is used because the angular velocity, and therefore the induced voltage, decreases as the motor approaches a standstill. This low voltage is then boosted to the battery's charge level by the converters, enabling charging. The system design is given in Figure 2.

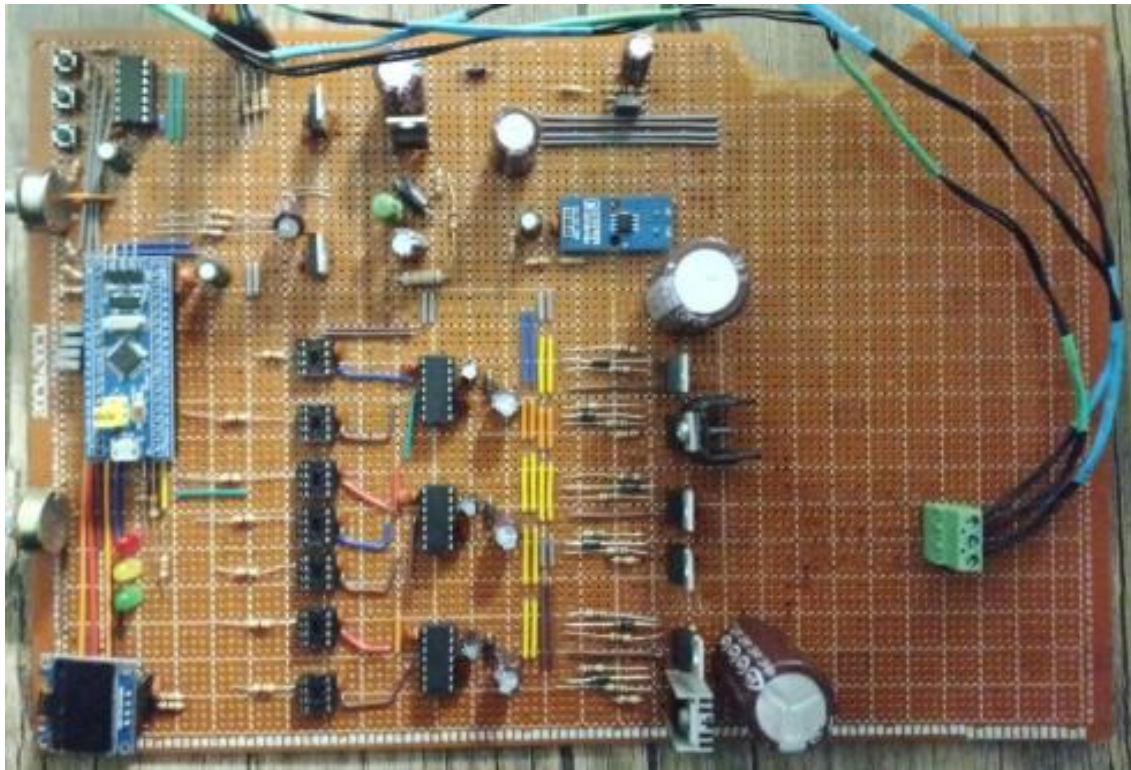


Figure 2. The system design.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Within the scope of this study, a low-cost and efficient regenerative braking system for BLDC motors used in electric bicycles was designed and successfully implemented. The system converts the kinetic energy generated during braking into electrical energy by enabling the motor to act as a generator and feeds it back to the battery. The voltage, current, and Hall sensor signals obtained during the test clearly demonstrated that the system operated as expected. The trapezoidal phase voltage progression with a 120° phase difference confirmed the accuracy of the motor drive algorithm, while single-phase current measurements demonstrated the effectiveness of the control structure. Furthermore, the reverse current generated in the DC busbar during braking confirmed that regenerative energy recovery was taking place. The overall operation of the system largely aligned with the initially defined objectives. The developed system demonstrated consistency between the theoretically designed structure and the practical results. The affordable cost of the components used in the project provided an economical solution, and the overall system remained within the targeted budget.

Figure 3. shows the phase voltages applied to the three phases (A, B, C) of the BLDC motor. Phase voltage graph, power electronics. Each phase voltage is in the form of a trapezoidal wave shifted by 120° phase difference.

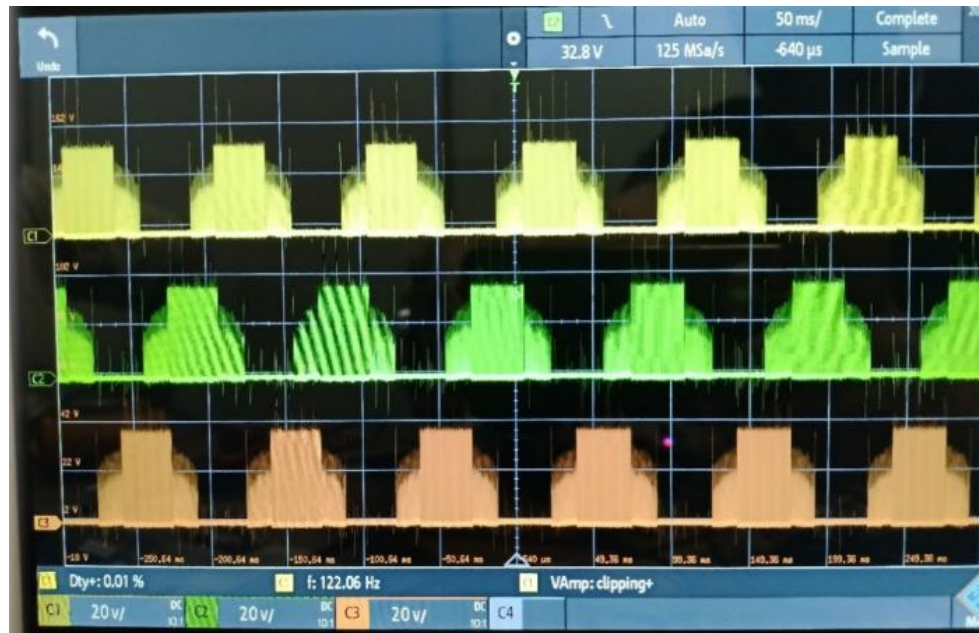


Figure 3. The phase voltages applied to the three phases (A, B, C) of the BLDC motor

The graph in Figure 4 shows the output signals of three Hall sensors used to detect the rotor position of a BLDC motor. Knowing the motor position with the Hall sensors allows the motor speed to be calculated. The sensors' square-wave signals verify the rotor position, rotational speed, and commutation timing. The signals obtained from Hall sensors A, B, and C are in the form of square waves and are out of phase with the rotor position by 120° .

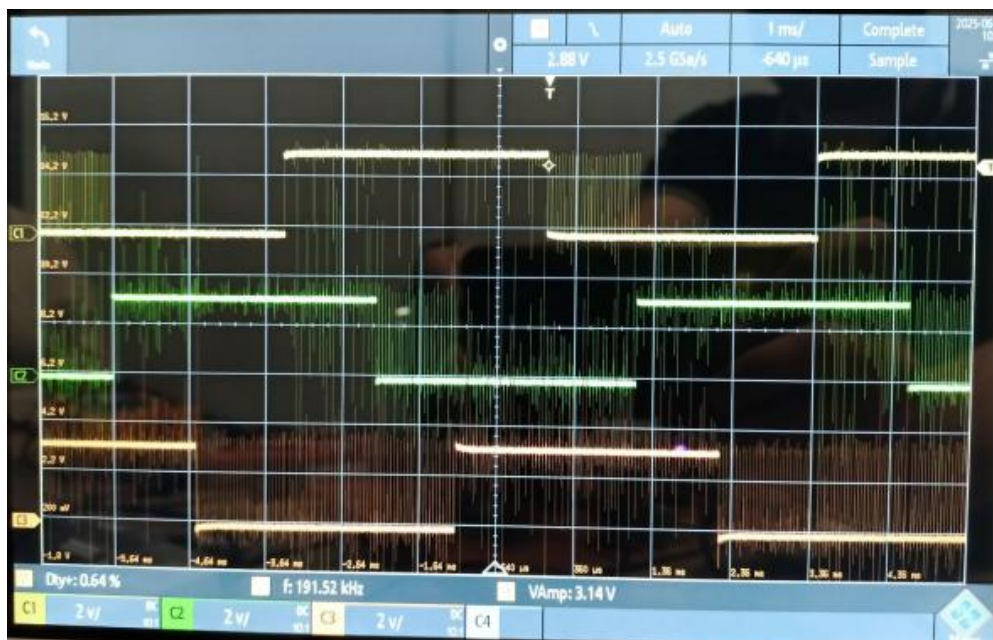


Figure 4. The output signals of three Hall sensors

4. CONCLUSION

Within the scope of this project, a low-cost, modular, and expandable system capable of regenerative braking for an electric bicycle powered by a BLDC motor has been successfully designed, prototyped, and extensively tested. The developed system converts the motor's kinetic energy into electrical energy during braking, enabling it to be fed back to the battery, thus improving energy efficiency and contributing to sustainability. The designed hardware structure and software demonstrated that the

system successfully fulfills its basic functions; the experimental data obtained was largely consistent with theoretical expectations. Furthermore, technical issues encountered during the project were analyzed and resolved, ensuring stable system operation. In future stages, the system is planned to be standardized with a PCB printed circuit board design to achieve a more compact and professional structure. Furthermore, the integration of more advanced drive techniques such as Field Oriented Control (FOC) is targeted through hardware add-ons that can precisely measure phase currents. These improvements will further enhance both the system's control accuracy and energy efficiency, making it suitable for integration with more advanced projects and real-world applications.

ACKNOWLEDGEMENT

This project was carried out with the support of TÜBİTAK 2209-B Undergraduate Research Projects for Industry. The authors thank Vestel Mobility Automotive R&D providing the necessary conditions for conducting the research.

REFERENCES

- [8] Naveed, H., Nagrial, M., Hellany, A., & Rizk, J. (2022, November). Advanced Regenerative Braking System Design and Prototype for an Electric Bicycle. *In 2022 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA)* (pp. 387-394). IEEE.
- [9] Candan, K., & Mamur, H. (2021). Regenerative braking of hub type brushless direct current machine used on electric bicycle. *Celal Bayar University Journal of Science*, 17(4), 437-445.
- [10] Krklješ, D., Morvai, Č., Babković, K., & Nagy, L. (2010, May). BLDC motor driver—Development of control and power electronics. *In 2010 27th International Conference on Microelectronics Proceedings* (pp. 345-348). IEEE.
- [11] Jiaqun, X., & Haotian, C. (2015, October). Regenerative brake of brushless DC motor for light electric vehicle. *In 2015 18th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)* (pp. 1423-1428). IEEE.
- [12] Dubey, M. K., & Bobba, P. B. (2019). Variable Switch Regenerative Braking Technique for PM BLDC Motor Driven Electric Two-wheeler. *In E3S Web of Conferences* (Vol. 87, p. 01029). EDP Sciences.
- [13] Salah, W. A., Ishak, D., Hammadi, K. J., & Taib, S. (2011). Development of a BLDC motor drive with improved output characteristics. *Przeglad Elektrotechniczny (Electrical Review)*, 87(3), 258-261.
- [14] Karabacak, Y., “Tekerlek içi elektrik motorları için rejeneratif frenlemeli sürücü tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2017.
- [15] Erdem, “Rejeneratif Frenlemenin Elektrikli Araçlarda Etkileri ve Güç Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [16] Tabak, H., “Elektrikli bir scooterda rejeneratif frenleme uygulamasının deneysel araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2023.
- [17] Yedamale, P., “Brushless DC (BLDC) motor fundamentals”, Microchip Technology Inc., 20, 1, 2003, ss. 3–15.

- [18] Wu, H. C., Wen, M. Y., & Wong, C. C. (2016, July). Speed control of BLDC motors using hall effect sensors based on DSP. In 2016 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE) (pp. 1-4). IEEE.
- [19] Condit, “Brushed DC Motor Fundamentals”, Microchip Technology Inc., 2010. Reached: 10 October 2024. <https://pi-plates.com/downloads/AN905.pdf>

FROBENIUS NUMBER AND GENUS IN NUMERICAL SEMIGROUPS OF FIXED DETERMINING NUMBER FIVE

Mehmet Sait ALAKUŞ

Dicle University, Institute of Science, Department of Mathematics,
alakusmehmetsait@gmail.com, Diyarbakır, TURKEY, ORCID NO: 0000-0002-6977-7630

Prof. Dr. Sedat İlhan

Dicle University, Institute of Science, Department of Mathematics, sedati@dicle.edu.tr,
Diyarbakır, TURKEY, ORCID NO: 0000-0002-6608-8848

ABSTRACT

This study establishes the necessary and sufficient conditions that characterize the type sequences of certain numerical semigroups determined by five defining integers, and subsequently derives the corresponding Frobenius number and genus based on these conditions.

1) Introduction

Let δ be a semigroup and $A \subset \delta$. The smallest subsemigroup of δ containing A is called the semigroup generated by A , denoted by $\delta = \langle A \rangle$. Accordingly, the set A is referred to as the set of generators of δ . In particular, if $A = \{q_1, q_2, \dots, q_k\} \subset \delta$ with $q_1 < q_2 < \dots < q_k$, then $\delta = \langle q_1, q_2, \dots, q_k \rangle$ and δ is said to be finitely generated. Moreover, if there exists no proper subset of A that still generates δ , then $A = \{q_1, q_2, \dots, q_k\}$ is called the minimal generating system of δ .

Let $\mathbb{N}$ and $\mathbb{Z}$ stand for the sets of nonnegative integers and integers, respectively. A subset $\delta \subset \mathbb{N}$ is said to constitute a *numerical semigroup* whenever it meets the following structural properties:

- i. $0 \in \delta$,
- ii. $q_1 + q_2 \in \delta$, for all $q_1, q_2 \in \delta$,
- iii. The complement $\mathbb{N} \setminus \delta$ is finite (equivalently, $\gcd(\delta) = 1$).

(See [6,7] for further details.)

For a numerical semigroup δ , we define several important numerical invariants:

The Frobenius number $F(\delta) = \max\{c \in \mathbb{Z} : c \notin \delta\}$;

The multiplicity $m(\delta) = \min\{c \in \delta: c \neq 0\}$;

The determine number $n(\delta) = \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, F(\delta)\} \cap \delta)$ ([1]).

If $\delta = \langle q_1, q_2, \dots, q_k \rangle$ is a numerical semigroup then $\delta = \langle q_1, q_2, \dots, q_k \rangle = \{\rho_0 = 0, \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_{n-1}, \rho_n = F(\delta) + 1, \rightarrow \dots\}$ where $\rho_h < \rho_{h+1}, n = n(S)$. Here, the arrow indicates that all integers greater than $F(\delta) + 1$ belongs to δ . The integer $C(\delta) = F(\delta) + 1$ is called the conductor of δ . If $\delta = \langle q_1, q_2, \dots, q_k \rangle$, The parameter $e(\delta) = k$ is known as the *embedding dimension* of the numerical semigroup δ . It is a well-known fact that the embedding dimension does not exceed the multiplicity, i.e., $e(\delta) \leq m(\delta)$. When this bound is attained, δ is said to have a *maximal embedding dimension (MED)* ([4,5]).

A numerical semigroup δ with Frobenius number $F(\delta)$ is said to be symmetric if $F(\delta) - d \in \delta$ for every $\forall d \in \mathbb{Z} \setminus \delta$. It is well known that every numerical semigroup of the form $\delta = \langle d_1, d_2 \rangle$ is symmetric.

Moreover, δ is said to be pseudo-symmetric if $F(\delta)$ is even and there exists exactly one integer $d = F(\delta)/2$ such that $d \notin \delta$ and $F(\delta) - d \notin \delta$ (For details [2,7,8]).

The integers in $\mathbb{N} \setminus \delta$ are called the gaps of δ , and the set of all such gaps is denoted by $H(\delta) = \{d \in \mathbb{N}: d \notin \delta\}$. The number $G(\delta) = \text{Card}(H(\delta))$ is called the genus of δ . It is known that $F(\delta) + 1 = n(\delta) + G(\delta)$ (For details [1,3,7]).

Let $\delta = \{\rho_0 = 0, \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_{n-1}, \rho_n = F(\delta) + 1, \rightarrow \dots\}$ be a numerical semigroup where $F(\delta)$ and $n(\delta)$ denote its Frobenius number and determine number, respectively. For $0 \leq j \leq n(\delta) = n$, define the following subsets:

$$\begin{aligned}\delta_j &= \{d \in \delta: d \geq \rho_j\}, \\ \delta(j) &= \{d \in \mathbb{N}: d + \delta_j \subset \delta\}.\end{aligned}$$

Then, we obtain the following chain of inclusions:

$$\delta_n \subset \delta_{n-1} \subset \dots \subset \delta_1 \subset \delta \subset \delta(1) \subset \dots \subset \delta(n-1) \subset \delta(n) = \mathbb{N}.$$

For $1 \leq j \leq n(\delta)$, let $\tau_j = \tau_j(\delta) = \#(\delta(j) \setminus \delta(j-1))$, and consider the set $\{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{n(\delta)}\}$, known as the type sequence of δ . Here, $\tau_1(\delta) = \tau(\delta)$, but in general $\tau_i(\delta) \neq \tau(\delta(j))$. For $2 \leq r \leq n(\delta)$, we have $\tau_1 \geq \tau_r \geq 1$. It is well established that the type sequences of symmetric and pseudo-symmetric numerical semigroups are, respectively, $\{1, 1, \dots, 1\}$ and $\{2, 1, 1, \dots, 1\}$ (see [5] for details).

In recent years, the study of numerical semigroups has attracted significant attention due to their deep connections with several branches of algebra and number theory, such as the theory of

Diophantine equations, the study of monoid algebras, and the combinatorial properties of additive sets. Numerical semigroups provide a natural framework for understanding additive closure under specific constraints, and many of their invariants — including the Frobenius number, the genus, and the type sequence — offer insights into the structural complexity of these algebraic objects. Moreover, symmetric and pseudo-symmetric semigroups play an important role in algebraic geometry, particularly in the analysis of Weierstrass semigroups and curve singularities. Consequently, a deeper examination of their properties contributes not only to the theory of semigroups but also to broader mathematical contexts involving commutative algebra and arithmetical geometry.

2) Main Results

Theorem 2.1 Suppose that δ is a numerical semigroup characterized by the property $n(\delta) = 5$. The positive numbers sequence $\{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5\}$ is a type sequence of the numerical semigroup $\delta = \{0, \tau_1 + 1, \tau_1 + \tau_2 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5 \rightarrow \dots\}$ if and only if $\tau_1 = \tau_2 + 6, \tau_2 \geq 3, \tau_3 = 3, \tau_4 = \tau_5 = 1, \tau_2$ is an odd number.

Theorem 2.2 Suppose that δ is a numerical semigroup characterized by the property $n(\delta) = 5$. The positive numbers sequence $\{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5\}$ is a type sequence of the numerical semigroup $\delta = \{0, \tau_1 + 3, \tau_1 + \tau_2 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5 \rightarrow \dots\}$ if and only if $\tau_2 = \tau_3 = 2, \tau_4 = \tau_5 = 1, \tau_1 \geq 3, \tau_1$ is an odd number.

Theorem 2.3 Suppose that δ is a numerical semigroup characterized by the property $n(\delta) = 5$. The positive numbers sequence $\{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5\}$ is a type sequence of the numerical semigroup $\delta = \{0, \tau_1 + 3, \tau_1 + \tau_2 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5 \rightarrow \dots\}$ if and only if $\tau_2 = \tau_3 = 3, \tau_4 = \tau_5 = 1, \tau_1 \geq 5, \tau_1$ is an odd number.

Theorem 2.4 Suppose that δ is a numerical semigroup characterized by the property $n(\delta) = 5$. The positive numbers sequence $\{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5\}$ is a type sequence of the numerical semigroup $\delta = \{0, \tau_1 + 1, \tau_1 + \tau_2 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5 \rightarrow \dots\}$ if and only if $\tau_2 = \tau_3 = 2, \tau_4 = \tau_5 = 1, \tau_1 \geq 5, \tau_1$ is an odd number.

Theorem 2.5. Consider the numerical semigroup,

$$\delta = \{0, \tau_1 + 1, \tau_1 + \tau_2 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5 \rightarrow \dots\},$$

for which the determine number is given by $n(\delta) = 5$ in Theorem 2.1. Then we have

a) $F(\delta) = 2\tau_1 + 3$

b) $G(\delta) = 2\tau_1 - 1$

Proof. Consider the numerical semigroup

$\delta = \{0, \tau_1 + 1, \tau_1 + \tau_2 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5 \rightarrow \dots\}$, for which the determine number is given by $n(\delta) = 5$ in Theorem 2.1. In this case, the type sequence $\{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5\}$ of δ hold the conditions $\tau_1 = \tau_2 + 6, \tau_2 \geq 3, \tau_3 = 3, \tau_4 = \tau_5 = 1, \tau_2$ is an odd number.

Given that $F(\delta) = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 4$ and $F(\delta) + 1 = n(\delta) + G(\delta)$, it follows that

$$\begin{aligned} G(\delta) &= \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 4 + 1 - 5 \\ &= \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 \\ &= \tau_1 + \tau_1 - 6 + 3 + 1 + 1(\tau_1 = \tau_2 + 6, \tau_3 = 3, \tau_4 = \tau_5 = 1, \tau_2 \geq 3) \\ &= 2\tau_1 - 1 \end{aligned}$$

Here, it is clear that $G(\delta) = 2\tau_1 - 1$ from the definition of $G(\delta)$. On the other hand, we obtain

$$F(\delta) = 5 + 2\tau_1 - 1 - 1 = 2\tau_1 + 3 \text{ since } F(\delta) = n(\delta) + G(\delta) - 1.$$

Theorem 2.6. Consider the numerical semigroup

$\delta = \{0, \tau_1 + 3, \tau_1 + \tau_2 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5 \rightarrow \dots\}$,

for which the determine number is given by $n(\delta) = 5$ in Theorem 2.2. Then we have

c) $F(\delta) = \tau_1 + 10$

d) $G(\delta) = \tau_1 + 6$

Theorem 2.7. Consider the numerical semigroup

$\delta = \{0, \tau_1 + 3, \tau_1 + \tau_2 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5 \rightarrow \dots\}$,

for which the determine number is given by $n(\delta) = 5$ in Theorem 2.3. Then we have

e) $F(\delta) = \tau_1 + 12$

f) $G(\delta) = \tau_1 + 8$

Theorem 2.8. Consider the numerical semigroup

$\delta = \{0, \tau_1 + 1, \tau_1 + \tau_2 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5 \rightarrow \dots\}$,

for which the determine number is given by $n(\delta) = 5$ in Theorem 2.4. Then we have

g) $F(\delta) = \tau_1 + 10$

h) $G(\delta) = \tau_1 + 6$

To give an example of the results we have obtained;

Example 2.5 Based on the condition established in Theorem 2.2, if we substitute $\tau_1 = 3, \tau_2 = \tau_3 = 2, \tau_4 = \tau_5 = 1$ into the numerical semigroup δ , we obtain $\delta = \{0, 6, 9, 10, 12, 14, \rightarrow \dots\} = \langle 6, 9, 10, 14, 17 \rangle$. For this numerical semigroup, the Frobenius number is calculated as $F(\delta) = \tau_1 + 10 = 3 + 10 = 13$ and the genus as $G(\delta) = \tau_1 + 6 = 3 + 6 = 9$.

In this case, the numerical semigroup δ possesses an embedding dimension $e(\delta) = 5$ and a multiplicity $m(\delta) = 6$. Since $e(\delta) \neq m(\delta)$, δ fails to achieve the maximal embedding dimension (MED).

Note: This study constitutes a part of M. Sait Alakuş's PhD Thesis at Dicle University, Institute of Science, Department of Mathematics.

REFERENCES

- [1] Fröberg, R., Gottlieb, C. and Haggkvist, R. (1987). On numerical semigroups. *Semigroup Forum*, 35, 63-83.
- [2] Rosales, J. C. (1996). On symmetric numerical semigroups. *Journal of Algebra*, 182, 422-434.
- [3] Rosales, J.C. and Garcia-Sanchez P.A. (1999). "Finitely, generated commutative monoids", Nova Science Publishers, 185, New York.
- [4] Barucci V., Dobbs D.E. and Fontana, M. 1997. "Maximality properties in numerical semigroups and applications to one-dimensional analytically irreducible local domains", *Memoirs of The Amer. Math.*, 598, 13-25.
- [5] D'Anna, M. (1998). Type Sequences of Numerical Semigroups. *Semigroup Forum*, 56, 1-31.
- [6] Howie, J.M. and Ruskuc, N. (1997). *Semigroups and Applications*. World Scientific Publishing, London.
- [7] Rosales, J.C. and Garcia-Sanchez P.A. (2009). *Numerical Semigroups*. Springer, 181, New York.
- [8] Rosales, J. C. and Garcia-Sanchez, P. A. (2005). *Pseudo-symmetric numerical semigroups with three generators*. *Journal of Algebra*, 291, 46-54.

TYPE SEQUENCES OF NUMERICAL SEMIGROUPS DETERMINED BY FIVE DETERMINANTAL NUMBERS

Mehmet Sait ALAKUŞ

Dicle University, Institute of Science, Department of Mathematics,
alakusmehmetsait@gmail.com, Diyarbakır, TURKEY, ORCID NO:0000-0002-6977-7630

Prof. Dr. Sedat İlhan

Dicle University, Institute of Science, Department of Mathematics, sedati@dicle.edu.tr,
Diyarbakır, TURKEY, ORCID NO:0000-0002-6608-8848

ABSTRACT

In this paper, we investigate the structural properties of numerical semigroups determined by five distinct determinantal numbers. Specifically, we establish a comprehensive set of necessary and sufficient conditions that precisely characterize the type sequences associated with these semigroups. Our analysis not only provides a rigorous classification framework but also sheds light on the intricate relationships between the determinantal invariants and the additive structure of the semigroups. The results obtained herein contribute to a deeper understanding of the combinatorial and algebraic aspects of numerical semigroups and may facilitate further explorations in the theory of semigroup invariants and their applications.

3) Introduction

Let δ be a semigroup and $A \subset \delta$. The smallest subsemigroup of δ containing A is called the semigroup generated by A , denoted by $\delta = \langle A \rangle$. Accordingly, the set A is referred to as the set of generators of δ . In particular, if $A = \{q_1, q_2, \dots, q_k\} \subset \delta$ with $q_1 < q_2 < \dots < q_k$, then $\delta = \langle q_1, q_2, \dots, q_k \rangle$ and δ is said to be finitely generated. Moreover, if there exists no proper subset of A that still generates δ , then $A = \{q_1, q_2, \dots, q_k\}$ is called the minimal generating system of δ .

Let $\mathbb{N}$ and $\mathbb{Z}$ stand for the sets of nonnegative integers and integers, respectively. A subset $\delta \subset \mathbb{N}$ is said to constitute a *numerical semigroup* whenever it meets the following structural properties:

iv. $0 \in \delta$,

v. $q_1 + q_2 \in \delta$, for all $q_1, q_2 \in \delta$,

vi. The complement $\mathbb{N} \setminus \delta$ is finite (equivalently, $\gcd(\delta) = 1$).

(See [6,7] for further details.)

For a numerical semigroup δ , we define several important numerical invariants:

The Frobenius number $F(\delta) = \max\{c \in \mathbb{Z}: c \notin \delta\}$;

The multiplicity $m(\delta) = \min\{c \in \delta: c \neq 0\}$;

The determine number $n(\delta) = \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, F(\delta)\} \cap \delta)$ ([1]).

If $\delta = \langle q_1, q_2, \dots, q_k \rangle$ is a numerical semigroup then $\delta = \langle q_1, q_2, \dots, q_k \rangle = \{\rho_0 = 0, \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_{n-1}, \rho_n = F(\delta) + 1, \rightarrow \dots\}$ where $\rho_h < \rho_{h+1}, n = n(\delta)$. Here, the arrow indicates that all integers greater than $F(\delta) + 1$ belongs to δ . The integer $C(\delta) = F(\delta) + 1$ is called the conductor of δ . If $\delta = \langle q_1, q_2, \dots, q_k \rangle$, The parameter $e(\delta) = k$ is known as the *embedding dimension* of the numerical semigroup δ . It is a well-known fact that the embedding dimension does not exceed the multiplicity, i.e., $e(\delta) \leq m(\delta)$. When this bound is attained, δ is said to have a *maximal embedding dimension (MED)* ([4,5]).

A numerical semigroup δ with Frobenius number $F(\delta)$ is said to be symmetric if $F(\delta) - d \in \delta$ for every $\forall d \in \mathbb{Z} \setminus \delta$. It is well known that every numerical semigroup of the form $\delta = \langle d_1, d_2 \rangle$ is symmetric.

Moreover, δ is said to be pseudo-symmetric if $F(\delta)$ is even and there exists exactly one integer $d = F(\delta)/2$ such that $d \notin \delta$ and $F(\delta) - d \notin \delta$ (For details [2,7,8]).

The integers in $\mathbb{N} \setminus \delta$ are called the gaps of δ , and the set of all such gaps is denoted by $H(\delta) = \{d \in \mathbb{N}: d \notin \delta\}$. The number $G(\delta) = \text{Card}(H(\delta))$ is called the genus of δ . It is known that $F(\delta) + 1 = n(\delta) + G(\delta)$ (For details [1,3,7]).

Let $\delta = \{\rho_0 = 0, \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_{n-1}, \rho_n = F(\delta) + 1, \rightarrow \dots\}$ be a numerical semigroup where $F(\delta)$ and $n(\delta)$ denote its Frobenius number and determine number, respectively. For $0 \leq j \leq n(\delta) = n$, define the following subsets:

$$\delta_j = \{d \in \delta: d \geq \rho_j\},$$

$$\delta(j) = \{d \in \mathbb{N}: d + \delta_j \subset \delta\}.$$

Then, we obtain the following chain of inclusions:

$$\delta_n \subset \delta_{n-1} \subset \dots \subset \delta_1 \subset \delta \subset \delta(1) \subset \dots \subset \delta(n-1) \subset \delta(n) = \mathbb{N}.$$

For $1 \leq j \leq n(\delta)$, let $\tau_j = \tau_j(\delta) = \#(\delta(j) \setminus \delta(j-1))$, and consider the set $\{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{n(\delta)}\}$, known as the type sequence of δ . Here, $\tau_1(\delta) = \tau(\delta)$, but in general $\tau_i(\delta) \neq \tau(\delta(j))$. For $2 \leq r \leq n(\delta)$, we have $\tau_1 \geq \tau_r \geq 1$.

It is well established that the type sequences of symmetric and pseudo-symmetric numerical semigroups are, respectively, $\{1, 1, \dots, 1\}$ and $\{2, 1, 1, \dots, 1\}$ (see [5] for details).

In contemporary research, numerical semigroups have garnered considerable interest owing to their profound connections with various areas of algebra and number theory, including Diophantine equations, the structure of monoid algebras, and the combinatorial analysis of additive sets. These semigroups serve as a natural framework for investigating additive closure under prescribed constraints, and their fundamental invariants—such as the Frobenius number, genus, and type sequence—provide valuable insights into the underlying structural intricacies of these algebraic entities. Furthermore, symmetric and pseudo-symmetric semigroups occupy a central position in algebraic geometry, particularly in the study of Weierstrass semigroups and the characterization of curve singularities. As a result, a comprehensive study of their properties advances not only the theoretical understanding of semigroups but also contributes to broader mathematical disciplines encompassing commutative algebra and arithmetic geometry.

4) Type sequence of some numerical semigroups with determining number of five

Proposition 2.1 Let δ be a numerical semigroup and $\{\tau_\alpha = \tau_i(\delta)\}$ be its type sequence, for $1 \leq i \leq n(\delta)$ such that $\delta = \{\rho_0 = 0, \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_{n(\delta)-1}, \rho_{n(\delta)} = F(\delta) + 1, \rightarrow \dots\} \neq \mathbb{N}F = F(\delta)$ and $n = n(\delta)$. Then,

$$(a) \quad \tau_n = F - \rho_{n-1} = \rho_n - \rho_{n-1} - 1,$$

$$(b) \quad \tau_{n-1} = \begin{cases} \rho_{n-1} - \rho_{n-2} \Leftrightarrow \rho_{n-1} - \rho_{n-2} \leq F - \rho_{n-1} \\ \rho_{n-1} - \rho_{n-2} - 1 \Leftrightarrow \rho_{n-1} - \rho_{n-2} > F - \rho_{n-1} \end{cases}.$$

Theorem 2.2 Suppose that δ is a numerical semigroup characterized by the property $n(\delta) = 5$. The positive numbers sequence $\{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5\}$ is a type sequence of the numerical semigroup $\delta = \{0, \tau_1 + 3, \tau_1 + \tau_2 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5 \rightarrow \dots\}$ if and only if $\tau_2 = \tau_3 = 2, \tau_4 = \tau_5 = 1, \tau_1 \geq 3, \tau_1$ is an odd number.

Proof. Consider the sequence $\{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5\}$ as the type sequence associated with a numerical semigroup $\delta = \{0, \rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5, \rightarrow \dots\}$. Suppose that δ satisfies $n(\delta) = 5$ and that the first element τ_1 of the type sequence is an odd integer with $\tau_2 = \tau_3 = 2, \tau_4 = \tau_5 = 1, \tau_1 \geq 3$.

In this context,

$$F(\delta) = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 4$$

$$\rho_5 = F(\delta) + 1 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5$$

$$\rho_4 = F(\delta) - \tau_5 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 4 - \tau_5 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4$$

$$\tau_4 = \rho_4 - \rho_3 - 1 \Leftrightarrow \rho_4 - \rho_3 > F(\delta) - \rho_4$$

$$\rho_3 = \rho_4 - \tau_4 - 1 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3 \Leftrightarrow \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 4 > F(\delta) - \rho_4 = \tau_5$$

$$\rho_2 = \rho_3 - \tau_3 - 1 = \tau_1 + \tau_2 + 2 \Leftrightarrow \tau_1 + \tau_2 + 3 > F(\delta) - \rho_3 = \tau_4 + \tau_5$$

and

$$\rho_1 = \rho_2 - \tau_2 - 1 = \tau_1 + 1 \Leftrightarrow \tau_1 + 2 > F(\delta) - \rho_2 = \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 2.$$

As a result of this construction, the numerical semigroup $\delta = \{0, \tau_1 + 3, \tau_1 + \tau_2 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5 \rightarrow \dots\}$ is derived.

Conversely, consider the numerical semigroup $\delta = \{0, \tau_1 + 3, \tau_1 + \tau_2 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5 \rightarrow \dots\}$, where the expression $\{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5\}$ refers to the ordered collection of generators that are positive integers.

i. If $\rho_1 < \rho_2$ and $\rho_2 = \rho_1 + 3 \Rightarrow \tau_1 + \tau_2 + 4 = \tau_1 + 3 + 3 \Rightarrow \tau_2 = 2$. In this case, $\rho_1 < \rho_2$ and $\rho_2 = \rho_1 + 3$.

ii. If $\rho_1 < \rho_3$ and $\rho_3 = \rho_1 + 4 \Rightarrow \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3 = \tau_1 + 3 + 4 \Rightarrow \tau_2 + \tau_3 = 4 \Rightarrow 2 + \tau_3 = 4 \Rightarrow \tau_3 = 2$. In such a case, $\rho_1 < \rho_3$ and $\rho_3 = \rho_1 + 4$.

iii. On the other hand, $\rho_4 - \rho_3 = 2$ and from here we find $(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4) - (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3) = 2 \Rightarrow \tau_4 = 1$. Finally, $\rho_5 - \rho_4 = 2$ and from here we obtain $(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5) - (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4) = 2 \Rightarrow \tau_5 = 1$.

The demonstrations of the subsequent theorems can be derived through arguments analogous to those presented earlier.

Theorem 2.3 Suppose that δ is a numerical semigroup characterized by the property $n(\delta) = 5$. The positive numbers sequence $\{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5\}$ is a type sequence of the numerical semigroup $\delta = \{0, \tau_1 + 1, \tau_1 + \tau_2 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5 \rightarrow \dots\}$ if and only if $\tau_1 = \tau_2 + 6, \tau_2 \geq 3, \tau_3 = 3, \tau_4 = \tau_5 = 1, \tau_2$ is an odd number.

Theorem 2.4 Suppose that δ is a numerical semigroup characterized by the property $n(\delta) = 5$. The positive numbers sequence $\{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5\}$ is a type sequence of the numerical semigroup $\delta = \{0, \tau_1 + 3, \tau_1 + \tau_2 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5 \rightarrow \dots\}$ if and only if $\tau_2 = \tau_3 = 3, \tau_4 = \tau_5 = 1, \tau_1 \geq 5, \tau_1$ is an odd number.

Theorem 2.5 Suppose that δ is a numerical semigroup characterized by the property $n(\delta) = 5$. The positive numbers sequence $\{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5\}$ is a type sequence of the numerical semigroup $\delta = \{0, \tau_1 + 1, \tau_1 + \tau_2 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + 3, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + 4, \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + 5 \rightarrow \dots\}$ if and only if $\tau_2 = \tau_3 = 2, \tau_4 = \tau_5 = 1, \tau_1 \geq 5, \tau_1$ is an odd number.

To give an example of the topics we have obtained;

Example 2.6 Consider the numerical semigroup

$\delta = \langle 8, 11, 14, 18, 20, 21, 23, 25, 27 \rangle = \{0, 8, 11, 14, 16, 18, \rightarrow \dots\}$. In this case, the Frobenius number is $F(\delta) = 17$, the determine number is $n(\delta) = \#(\{0, 1, 2, \dots, 17\} \cap \delta) = \#(\{0, 8, 11, 14, 16\}) = 5$, and the conductor of δ is $C(\delta) = 18$. In addition, the gap set associated with the numerical semigroup, along with its genus, are determined respectively as follows:

$$H(\delta) = \{d \in \mathbb{N} : d \notin \delta\} = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 15, 17\} \quad \text{and}$$

$$G(\delta) = \#(H(\delta)) = 13.$$

The numerical semigroup δ has an embedding dimension of $e(\delta) = 9$ and a multiplicity of $m(\delta) = 8$. Hence, the numerical semigroup under consideration cannot be characterized as possessing a maximum embedding dimension (MED), given that its embedding dimension differs from its multiplicity, that is, $e(\delta) \neq m(\delta)$.

Finally, we proceed to determine the type sequence associated with the given numerical semigroup in an orderly manner.

Let

$$\delta(0) = \delta_0 = \{d \in \delta : d \geq \rho_0\} = \delta$$

$$\delta_1 = \{d \in \delta : d \geq 8\} = \{8, 11, 14, 16, 18, \rightarrow \dots\}$$

$$\delta(1) = \{d \in \mathbb{N} : d + \delta_1 \subset \delta\} = \{0, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, \rightarrow \dots\}$$

and note that the numerical semigroup δ has type

$$\tau_1 = \tau(\delta) = \#(\delta(1) \square \delta) = \#(\{10, 12, 13, 15, 17\}) = 5,$$

$$\delta_2 = \{d \in \delta : d \geq 11\} = \{11, 14, 16, 18, \rightarrow \dots\}$$

$$\delta(2) = \{d \in \mathbb{N} : d + \delta_2 \subset \delta\} = \{0, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, \rightarrow \dots\}$$

and note that the numerical semigroup δ has type

$$\tau_2 = \#(\delta(2) \square \delta(1)) = \#(\{5, 7, 9\}) = 3.$$

By a similar approach, we determine that $\tau_3 = 3, \tau_4 = 1$ ve $\tau_5 = 1$. Consequently, the type sequence of the numerical semigroup δ is given by $\{5, 3, 3, 1, 1\}$.

Moreover, according to the condition stated in Theorem 2.4, let $\tau_1 = 5, \tau_2 = \tau_3 = 3, \tau_4 = \tau_5 = 1, \tau_1 \geq 5$. Consequently, we obtain the numerical semigroup $\delta = \{0, 8, 11, 14, 16, 18 \rightarrow \dots\} = \langle 8, 11, 14, 18, 20, 21, 23, 25, 27 \rangle$, and then express the corresponding type sequence as $\{5, 3, 3, 1, 1\}$.

In this case, the type of δ indicates that δ is not symmetric, since $F(\delta) - 2 = 17 - 2 = 15 \notin \delta$ for $\tau_1 = \tau(\delta) = \#(\delta(1) \square \delta) = \#(\{10, 12, 13, 15, 17\}) = 5$ and $2 \in \mathbb{Z} \setminus \delta$. Moreover, δ is not pseudo-symmetric, as its Frobenius number is $F(\delta) = 17$, which is odd.

Note: This study constitutes a part of M. Sait Alakuş's PhD Thesis at Dicle University, Institute of Science, Department of Mathematics.

REFERENCES

- [1] Fröberg, R., Gottlieb, C. and Haggkvist, R. (1987). On numerical semigroups. *Semigroup Forum*, 35, 63-83.
- [2] Rosales, J. C. (1996). On symmetric numerical semigroups. *Journal of Algebra*, 182, 422-434.
- [3] Rosales, J.C. and Garcia-Sanchez P.A. (1999). “Finitely, generated commutative monoids”, Nova Science Publishers, 185, New York.
- [4] Barucci V., Dobbs D.E. and Fontana, M. 1997. “Maximality properties in numerical semigroups and applications to one-dimensional analytically irreducible local domains”, *Memoirs of The Amer. Math.*, 598, 13-25.
- [5] D’Anna, M.(1998). Type Sequences of Numerical Semigroups. *Semigroup Forum*, 56, 1-31.
- [6] Howie, J.M. and Ruskuc, N. (1997). *Semigroups and Applications*. World Scientific Publishing, London.

- [7] Rosales, J.C. and Garcia-Sanchez P.A. (2009). *Numerical Semigroups*. Springer, 181, New York.
- [8] Rosales, J. C. and Garcia-Sanchez, P. A. (2005). *Pseudo-symmetric numerical semigroups with three generators*. *Journal of Algebra*, 291, 46-54.

KUVVETLİ TOPLANABİLİRLİK KAVRAMININ MODÜLÜS FONKSİYONLARIYLA GENİŞLETİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi, Dinçer Atasoy

Iğdır Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

dinceratasoy65@gmail.com- ORCID: 0000-0003-0389-1059

ÖZET

Bu çalışma, modülüs fonksiyonları aracılığıyla tanımlanan kuvvetli toplanabilirlik kavramını incelemekte ve bu kavramın klasik dizi uzaylarıyla olan ilişkisini ortaya koymaktadır. Modülüs fonksiyonları, yakınsaklık ve toplanabilirlik teorilerini genelleştirerek, farklı diziler arasındaki limit davranışlarını anlamada güçlü bir araç sunar. Bu kapsamda, $W(C, f, p)$ uzayı ele alınmış ve bu uzayın tam bir paranormlu uzay olduğu ispatlanmıştır.

Ayrıca, f modülüs fonksiyonunun özellikleri kullanılarak $W(C, f, p) \subset W(C, f)$ bağıntısı gösterilmiş, böylece modülüs fonksiyonlarının dizi uzayları arasında bir hiyerarşi oluşturduğu ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar, klasik Cesàro toplanabilirlik kavramının modülüs fonksiyonlarıyla genişletilebileceğini göstermektedir.

Bu çalışma, modülüs fonksiyonlarının hem teorik analizlerde hem de uygulamalı matematikte yeni dizi uzaylarının tanımlanması için kullanılabileceğini göstermekte ve ilerleyen araştırmalar için güçlü bir temel sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Modülüs fonksiyonu, kuvvetli toplanabilirlik, Cesàro metodu, dizi uzayları, paranorm.

THE EXTENSION OF THE CONCEPT OF STRONG SUMMABILITY THROUGH MODULUS FUNCTIONS

Asst. Prof. Dr. Dinçer Atasoy

Iğdır University / Faculty of Engineering

dinceratasoy65@gmail.com – ORCID: 0000-0003-0389-1059

ABSTRACT

This study investigates the concept of strong summability defined via modulus functions and explores its relationship with classical sequence spaces. Modulus functions serve as an effective tool in generalizing summability and convergence theories by providing a broader framework for analyzing the limiting behavior of sequences. In this context, the space $W(C, f, p)$ is examined, and it is proven that this space constitutes a complete paranormed space.

Moreover, by utilizing the structural properties of the modulus function f , it is shown that $W(C, f, p) \subset W(C, f)$, which establishes a hierarchical relationship among such sequence spaces. The results demonstrate that the classical Cesàro summability concept can be extended through the use of modulus functions.

Overall, the study highlights that modulus functions can serve as a theoretical foundation for defining and analyzing new sequence spaces, providing a robust framework for future research in both functional analysis and summability theory.

Keywords: Modulus function, strong summability, Cesàro method, sequence spaces, paranorm.

GİRİŞ

Bu çalışma, modülüs fonksiyonu kavramı aracılığıyla kuvvetli toplanabilirlik konusunu incelemektedir. Özellikle dizi uzayları teorisinde önemli bir yere sahip olan modülüs fonksiyonlarının, yakınsaklık ve toplanabilirlik kavramlarını genelleştirmedeki rolü ele alınmaktadır.

Modülüs fonksiyonları, klasik limit kavramının ötesine geçerek farklı yakınsaklık türlerini açıklama olanağı sunar. Bu nedenle, dizi uzaylarının yapısal özelliklerini anlamada ve yeni uzay türlerinin tanımlanmasında önemli bir araç olarak kullanılır. Bu bağlamda, kuvvetli toplanabilirlik kavramı modülüs fonksiyonları yardımıyla genişletilerek hem teorik hem de uygulamalı matematik alanlarında yeni perspektifler kazandırmaktadır.

Bu çalışmada amaç, modülüs fonksiyonlarıyla tanımlanan kuvvetli toplanabilirlik uzaylarının temel özelliklerini incelemek, bu uzayların tam paranormlu yapıya sahip olduğunu göstermek ve literatürde yer alan bazı sonuçlarla bağlantı kurmaktır.

MODÜLÜS FONKSİYONUNUN TARİHÇESİ

Modülüs fonksiyonu kavramı ilk olarak Japon matematikçi Nakano (1953) tarafından ortaya konmuştur. Nakano'nun çalışmaları, fonksiyonel analiz ve dizi uzayları teorisinin birleştiği alanlarda yeni tanımlara öncülük etmiştir. Daha sonra Ruckle, $\{e_1, e_2, \dots\}$ birim vektörlerinden oluşan sınırlı bir küme içeren en küçük FK-uzayı var mıdır?" sorusuna yanıt ararken modülüs fonksiyonlarını kullanarak ℓ_1 uzayının genelleştirilmiş biçimini tanımlamıştır (Nakano, 1953) (Ruckle, 1970).

Bu gelişmelerin ardından, Maddox (1986) kuvvetli Cesàro toplanabilir dizilerden oluşan uzayı $W(f)$ olarak tanımlamış, bu uzayı modülüs fonksiyonları yardımıyla genelleştirmiştir. Maddox'un bu katkısı, modülüs fonksiyonlarının yalnızca teorik değil, aynı zamanda uygulamalı analizde de kullanılabilirliğini göstermiştir (Maddox, 1986).

Daha sonraki yıllarda Connor (1989), bir A regüler matrisi ele alarak $W(A, f)$ biçiminde yeni bir toplanabilirlik metodu tanımlamıştır. Bu yaklaşım, modülüs fonksiyonlarının matris dönüşümleriyle birleştirilmesine ve dolayısıyla dizi uzaylarının genişletilmesine olanak sağlamıştır (Connor, 1989).

Günümüzde modülüs fonksiyonları, farklı yakınsaklık ve toplanabilirlik kavramlarını birleştiren güçlü bir çerçeve sunmakta; istatistiksel yakınsaklık, Orlicz uzayları ve paranormlu uzaylar gibi modern analiz alanlarında da kullanılmaktadır.

LİMİTLEME METODU

1. Bir dizi $x = (x_k)_{k=1}^{\infty}$ reel veya kompleks sayılardan oluşur.

$A = (a_{nk})$ bir sonsuz matris ve $x = (x_k)$ bir dizi olsun.

$$y_n = \sum_{k=1}^{\infty} a_{nk} x_k$$

2. tanımlıysa, $y = Ax$ dizisi x 'in A matrisi altındaki dönüşümüdür. Bu dönüşüm limitleme veya toplanabilme metodu olarak adlandırılır (Maddox,1970; Petersan,1966). (Petersan, 1966)

Örnek

$t_n = \frac{1}{2}(s_n + s_{n+1})$ ($n = 1,2,3, \dots$) şeklinde tanımlanan dönüşüm bir limitleme metodu olduğunu gösterelim.

$$|t_n| = \left| \frac{1}{2}(s_n + s_{n+1}) \right| = \frac{1}{2} |(s_n + s_{n+1})| \leq \frac{1}{2} (|s_n| + |s_{n+1}|) \leq \frac{1}{2} (K + K) = K$$

$$\begin{aligned} \text{(i)} \quad T(\sigma + \tau) &= T(s_1 + t_1, s_2 + t_2, \dots, s_n + t_n, \dots) \\ &= \frac{1}{2}(s_n + t_n + s_{n+1} + t_{n+1}) \\ &= \frac{1}{2}(s_n + s_{n+1}) + \frac{1}{2}(t_n + t_{n+1}) \\ &= T(\sigma) + T(\tau) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(ii)} \quad T(\alpha\sigma) &= T(\alpha s_1, \alpha s_2, \dots, \alpha s_n, \dots) \\ &= \frac{1}{2}(\alpha s_n + \alpha s_{n+1}) \\ &= \alpha T(\sigma) \end{aligned}$$

REGÜLERLİK

Tanım:

Bir $A=(a_{nk})$ matrisi verilmiş olsun. Eğer A matrisi yakınsak bir diziyi yine yakınsak bir diziyeye dönüştürüyorsa ve aynı zamanda limiti koruyorsa A matrisine Regülerdir denir (Maddox,1970).

3. Eğer $x_n \rightarrow L$ için $Ax \rightarrow L$ sağlanıyorsa, bir A matrisi *regüler*dir.

Bir $A = (a_{nk})$ matrisi regüler olması için aşağıdaki koşulların sağlanması gerekir;

1. $\sup_n \sum_k |a_{nk}| < \infty$,
2. $\sum_k a_{nk} = 1$,
3. $\lim_{n \rightarrow \infty} a_{nk} = 0$, her sabit k için (Maddox,1970).

Örnek

$t_n = \frac{1}{2}(s_n - s_{n+1})$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) ile tanımlanan limitleme metodu regüler değildir.

Çünkü bu dönüşüm bütün yakınsak dizileri, bir sıfır dizisine dönüştürür. Gerçekten de,

$$s_n \rightarrow s \quad (n \rightarrow \infty) \text{ ise}$$

$$\lim t_n = \lim \left[\frac{1}{2}(s_n - s_{n+1}) \right] = \frac{1}{2} \lim s_n - \frac{1}{2} \lim s_{n+1} = 0 \text{ dir.}$$

MODÜLÜS FONKSİYONLARI

Tanım

$[0, \infty)$ dan kendi üzerine tanımlı bir f dönüşümü $\forall x, y \in [0, \infty)$ için

(i) $f(x) = 0 \leftrightarrow x = 0$

(ii) $f(x + y) \leq f(x) + f(y)$

(iii) $f_n < f_{n+1}$ (f artan)

(iv) $\lim_{x \rightarrow 0^+} f(x) = f(0)$ (nakano, 1953).

4. $f(t) = t^p$, $p \geq 1$ fonksiyonu bir modülüs fonksiyonudur.

$f(t) = t(1 + \log(1 + t))$ fonksiyonu da bir modülüs fonksiyonudur.

Örnek

$f(x) = \frac{x}{x+1}$ fonksiyonu sınırlı bir modülüs fonksiyonudur. İnceleyelim;

(i) $f(x) = 0 \leftrightarrow \frac{x}{x+1} = 0$

(ii) $f(x + y) = \frac{x+y}{x+y+1} = \frac{x}{x+y+1} + \frac{y}{x+y+1} \leq \frac{x}{x+1} + \frac{y}{y+1} \leq f(x) + f(y)$

(iii) $f(x) = \frac{x}{x+1}$ den $f'(x) = \frac{1}{(x+1)^2} > 0$ olduğundan f artandır.

(iv) $\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{x}{x+1} = 0 = f(0)$ olduğunda f sıfırda sağdan süreklidir.

O halde f bir modülüs fonksiyonudur.

Örnek

$f(x) = \log(1 + x)$ sınırsız fonksiyonu da bir modülüs fonksiyonudur. İnceleyelim;

(i) $\log(1 + x) = 0 \leftrightarrow x = 0$ dir. çünkü $\log(1 + x) = \log 1 = 0$ dir. o halde $f(x) = 0 \leftrightarrow x = 0$ şartını sağlar.

(ii) $f(x + y) \leq f(x) + f(y)$ dir. çünkü $1 + x + y \leq (1 + x)(1 + y)$ eşitliği ve logaritma özelliğinden $\log(1 + x + y) \leq \log(1 + x) + \log(1 + y)$ elde ederiz. Dolayısıyla $f(x + y) \leq f(x) + f(y)$ dir.

(iii) f artandır.

$f(x) = \log(1 + x)$ den $f'(x) = \frac{\log e}{1+x} > 0$ pozitif olduğundan fonksiyon artandır.

(iv) f sıfır noktasından sağdan süreklidir.

$\lim_{x \rightarrow 0^+} \log(1 + x) = 0 = f(0)$

dir. O halde $f(x) = \log(1 + x)$ bir sınırsız modülüs fonksiyonudur.

Lemma

f ve g iki ayrı modülüs fonksiyonu olmak üzere

- (i) $f^n = f \circ f \circ \dots \circ f$ modülüs fonksiyonudur.
- (ii) $a > 0$ olmak üzere (a, f) modülüs fonksiyonudur.
- (iii) $f + g, \frac{f}{1+f}$ birer modülüs fonsiyonudur.
- (iv) $f - g, f \cdot g, f^{-1}, \frac{f}{g}$ fonksiyonlarının birer modülüs fonksiyonu olması gerekmez.

İspat

$f^n = f \circ f \circ \dots \circ f$ fonksiyonunun modülüs fonksiyonu olduğunu tümevarım yöntemi ile göstereyim. $n=2$ için $f^2 = (f \circ f)(x) = f(f(x))$ modülüs fonksiyonudur. Çünkü;

- (i) $f(f(x)) = 0 \leftrightarrow f(x) = 0 \leftrightarrow x = 0$
- (ii) $f(f(x+y)) \leq f(f(x) + f(y)) \leq f(f(x)) + f(f(y))$
- (iii) $f \circ f$ bileşke fonskion artandır. çünkü $(f \circ f)'(x) = f'(f(x)) \cdot f'(x) \geq 0$
- (iv) $\lim_{x \rightarrow 0^+} f(f(x)) = f(f(0)), f$ fonksiyonu 0 a sağdan süreklidir. O halde
N=k-1 için $f^{k-1} = f \circ f \circ \dots \circ f$

modülüs fonksiyonu olsun.

N=k için doğru olduğunu göstereyim.

$f^k = f \circ f \circ \dots \circ f = f^{k-1}(f)$ burada f^{k-1} fonksiyonu modülüs olduğundan f^k bileşke fonksiyonu da modülüs fonksiyonudur.

Not f^{-1} bir modülüs fonksiyonu olmak zorunda değildir.

$f(x) = x^{\frac{1}{2}}$ fonksiyonunu ele alalım. $f^{-1}(x) = x^2$ fonksiyonu modülüs fonksiyonu değildir. Çünkü $f(x+y) \leq f(x) + f(y)$ şartı $\forall x \in [0, \infty)$ için sağlamaz.

CESÀRO ORTALAMASI

Bir dizinin birinci mertebeden Cesàro ortalaması

$$\sigma_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n s_k$$

olarak tanımlanır. Eğer $s_n \rightarrow L$ ise, $\sigma_n \rightarrow L$ olur.

$s_k = L + e_k$ yazalım. O zaman

$$\sigma_n - L = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n e_k.$$

$e_k \rightarrow 0$ olduğundan, $\forall \varepsilon > 0$ için yeterince büyük N vardır ki $|e_k| < \varepsilon, k > N$. Bu durumda

$$|\sigma_n - L| \leq \frac{1}{n} \sum_{k=1}^N |e_k| + \varepsilon \frac{n-N}{n} \rightarrow 0$$

Teorem

Cesaro metodu regülerdir (johnsonbaugh ve ptaffenberger,1981).

İspat

Verilen $\forall \varepsilon > 0$ için en az bir $N \in \mathbb{N}$ vardır. Öyle ki her $n \geq N$ için

$$L - \varepsilon < s < L + \varepsilon$$

dur. Her $n \geq N$ için $t_n = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_n}{n}$ olsun. Burada t_n 'i

$$t_n = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_N}{n} + \frac{s_{1+N} + s_{2+N} + \dots + s_n}{n}$$

şeklinde yazılabilir.

$$\frac{(n-N)(L-\varepsilon)}{n} < \frac{s_{1+N} + s_{2+N} + \dots + s_n}{n} < \frac{(L+\varepsilon)(n-N)}{n}$$

olduğundan

$$c = s_{1+N} + s_{2+N} + \dots + s_n$$

olmak üzere

$$\frac{c}{n} + \frac{(n-N)(L-\varepsilon)}{n} < t_n < \frac{(L+\varepsilon)(n-N)}{n} + \frac{c}{n}$$

dır.

$$\limsup_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{c}{n} + \frac{(n-N)(L-\varepsilon)}{n} \right) \leq \limsup_{n \rightarrow \infty} t_n \leq \limsup_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{(L+\varepsilon)(n-N)}{n} + \frac{c}{n} \right)$$

eşitliğini yazabiliriz. (Eşi & Sharma, 2015)

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{c}{n} + \frac{(n-N)(L-\varepsilon)}{n} \right) = 0 + L - \varepsilon$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{c}{n} + \frac{(n-N)(L+\varepsilon)}{n} \right) = 0 + L + \varepsilon$$

olduğundan her $\varepsilon > 0$ için

$$L - \varepsilon \leq \limsup_{n \rightarrow \infty} t_n \leq L + \varepsilon$$

olur. Sonuç olarak

$$L \leq \limsup_{n \rightarrow \infty} t_n \leq L$$

olur ki bu da $\lim_{n \rightarrow \infty} \sup t_n = L$ demektir. Benzer olarak

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \inf t_n = L$$

dır. Lemma gereğince

$$\lim_{n \rightarrow \infty} t_n = L$$

yazabiliriz ki; bu da istenilen sonuçtur.

Tanım

$(a_k)_0^\infty$ karmaşık sayıların bir dizisi olsun.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n+1} \sum_{k=0}^n a_k = L$$

limiti var ise $(a_k)_0^\infty$ dizisi L ye cesaro yakınsaklıktır denir. Bu şekilde olan dizilerin uzayı (C,1) olarak gösterilir (powell ve sham,1972).

Tanım

$x \in W$ ve p pozitif reel sayı olsun.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |x_k - L|^p = 0$$

olacak şekilde bir L karmaşık sayısı varsa x dizisi L sayısına p -cesaro toplanabilir denir (Connor,1988). (Connor, 1988)

KUVVETLİ P-CESÀRO TOPLANABİLİRLİK VE MODÜLÜS ALTINDA GENELLEME

5. Bir $x = (x_k)$ dizisi ve $p > 0$ için,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |x_k - L|^p = 0$$

6. ise, x dizisi L 'ye kuvvetli p -Cesàro yakınsaktır.

Modülüs fonksiyonu f için,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(|x_k - L|) = 0$$

7. ise, x dizisi L 'ye f -modülüs altında kuvvetli toplanabilir.

8. Eğer $f(t) = t^p$ alınırsa, bu tanım klasik kuvvetli p -Cesàro toplanabilirliğe indirgenirse doğrudan yerleştirme ile:

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(|x_k - L|) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |x_k - L|^p$$

olur ve iki tanım birbirine indirgenir.

Tanım

(x_k) kompleks terimli bir dizi ve f bir modülüs fonksiyon olmak üzere

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(|x_k - l|) \rightarrow 0 \quad (n \rightarrow \infty)$$

olacak şekilde bir l sayısı varsa (x_k) dizisi l ye f modülüs altında kuvvetli toplanabilir denir ve bu uzaya

$$\begin{aligned} w(c, p) &= \left\{ x = (x_k) : \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(|x_k - l|) \rightarrow 0, (n \rightarrow \infty) \right\} \\ w_0(c, p) &= \left\{ x = (x_k) : \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(|x_k|) \rightarrow 0, (n \rightarrow \infty) \right\} \\ w_\infty(c, p) &= \left\{ x = (x_k) : \sup \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(|x_k|) < \infty, \right\} \end{aligned}$$

olarak tanımlanır (Maddox, 1986).

Tanım

(x_k) kompleks terimli bir dizi, f bir modülüs ve $p = (p_k)$ pozitif reel terimli bir dizi olsun. Buna göre

$$w(c, f, p) = \left\{ x = (x_k) : \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(|x_k - l|)^{p_k} \rightarrow 0, (n \rightarrow \infty) \right\}$$

$$w_0(c, f, p) = \left\{ x = (x_k) : \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(|x_k|)^{p_k} \rightarrow 0, (n \rightarrow \infty) \right\}$$

$$w_\infty(c, f, p) = \left\{ x = (x_k) : \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(|x_k|)^{p_k} < \infty \right\}$$

olarak tanımlandı. Eğer $x \in w(c, f, p)$ ise $x_k \rightarrow l[w(c, f, p)]$ yazacağız. Burada kolaylık açısından $\{f(|x_k - l|)\}^{p_k}$ yerine $f(|x_k - l|)^{p_k}$ yazılmıştır.

W(C,f,p) UZAYININ ÖZELLİKLERİ

9. $W(C, f, p) = \{x : \exists L \in \mathbb{C} \text{ öyle ki } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f(|x_k - L|) = 0\}.$

Eğer $x, y \in W(C, f, p)$ ve $\alpha, \beta \in \mathbb{C}$, o zaman $\alpha x + \beta y \in W(C, f, p)$.

f 'nin altadditifliği nedeniyle:

$$f(|\alpha x_k + \beta y_k - (\alpha L_x + \beta L_y)|) \leq f(|\alpha||x_k - L_x|) + f(|\beta||y_k - L_y|).$$

10. Ortalama alınarak her iki terimin limiti 0'a gider.

Eğer f bir Δ_2 -benzeri koşul ($f(2t) \leq Kf(t)$) sağlıyorsa, $W(C, f, p)$ uygun şekilde tanımlanmış paranorm altında tamdır.

Örnek

11. $x_k = (-1)^k$ dizisi yakınsak değildir, ancak Cesàro ortalaması

12. $\sigma_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (-1)^k$ için $\sigma_n \rightarrow 0$.

$$x_k = \frac{1}{k^{1/p}} \text{ için,}$$

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |x_k|^p = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \sim \frac{\log n}{n} \rightarrow 0.$$

13. Dolayısıyla x güçlü p -Cesàro toplanabilirlik.

Teorik Kısımın Sonucu

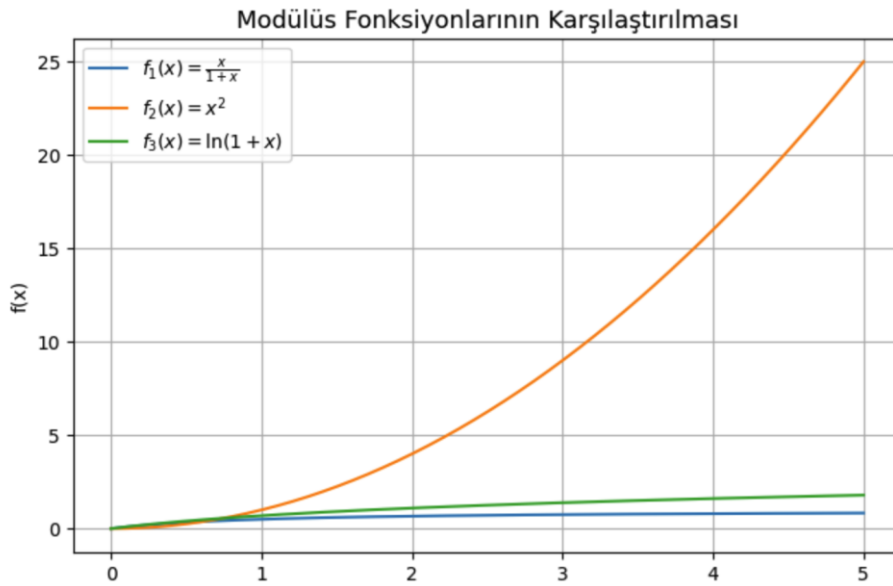
Bu çalışma, modülüs fonksiyonları yardımıyla tanımlanan kuvvetli toplanabilirlik uzaylarının yapısal özelliklerini ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlara göre:

- $W(C, f, p)$ uzayı tam bir paranormlu uzaydır.
- f modülüs fonksiyonu sınıfında yer aldığı anda, klasik Cesàro toplanabilirlik kavramı genişletilebilmektedir.

- p parametresi sayesinde, farklı ağırlıklarda toplanabilirlik düzeyleri tanımlanabilmiştir.
- $W(C, f, p) \subseteq W(C, f)$ ilişkisinin geçerliliği, bu uzayların hiyerarşik yapısını göstermektedir.
- Modülüs fonksiyonları, dizi uzaylarında yakınsaklık ve toplanabilirlik teorilerini genelleştiren güçlü bir araç olarak değerlendirilebilir. Bu yaklaşım, ileride hem fonksiyonel analiz hem de yakınsaklık teorisi alanlarında yeni uzayların tanımlanması ve incelenmesine temel oluşturabilir.

GENELLEŞTİRİLMİŞ CESÀRO METODUNUN PYTHON İLE UYGULAMALI İNCELEMESİ

1. Modülüs Fonksiyonlarının Karşılaştırılması



Görsel 1. Modülüs Fonksiyonlarının Karşılaştırılması

Modülüs fonksiyonunun seçimi, yakınsama hızını ve dizinin hangi koşullar altında “kuvvetli toplanabilir” sayılacağını doğrudan etkiler.

Özellikle $f_1(x) = \frac{x}{1+x}$ fonksiyonu, klasik mutlak değer ölçüsüne göre daha yumuşak bir yaklaşım sunar. $f_1(x) = \frac{x}{1+x}$ (mavi eğri)

Başlangıç noktası: $f_1(0) = 0$. Artan bir fonksiyondur, ancak üst sınırı vardır.

$x \rightarrow \infty$ için $f_1(x) \rightarrow 1$. Bu nedenle grafikte $f_1(x)$ eğrisi yavaşça artmakta ve 1 değerine yakınsamakta. Bu fonksiyon doygunluk veya azalan artış özelliği gösterir. Yani başlangıçta hızlı artar, sonra sabitlenir.

$f_2(x) = x^2$ (turuncu eğri), Başlangıç noktası: $f_2(0) = 0$. Sürekli artan, doğrusal olmayan bir fonksiyondur. x büyüdükçe çok hızlı artar. $x = 5$ için $f_2(5) = 25$ olduğu grafikte de açıkça görülüyor. Bu fonksiyonun eğimi sürekli artar; yani büyüme hızı katlanarak artar. Diğer iki fonksiyona göre çok daha hızlı büyüdüğü için grafik üst kısma doğru hızla yükselir.

$f_3(x) = \ln(x + 1)$ (yeşil eğri), Başlangıç noktası: $f_3(0) = 0$. Sürekli artan, ancak logaritmik bir fonksiyondur. Büyüme hızı giderek azalır, yani x büyüdükçe artış çok yavaşlar. $x = 5$ için $f_3(5) = \ln(6) \approx 1.79$. Bu fonksiyonun artışı $f_1(x)$ 'e benzer şekilde sınırlı büyüme davranışı gösterir ama $f_1(x)$ 'ten daha yüksek değerlere ulaşır. (Eşi & Sharma, 2015)

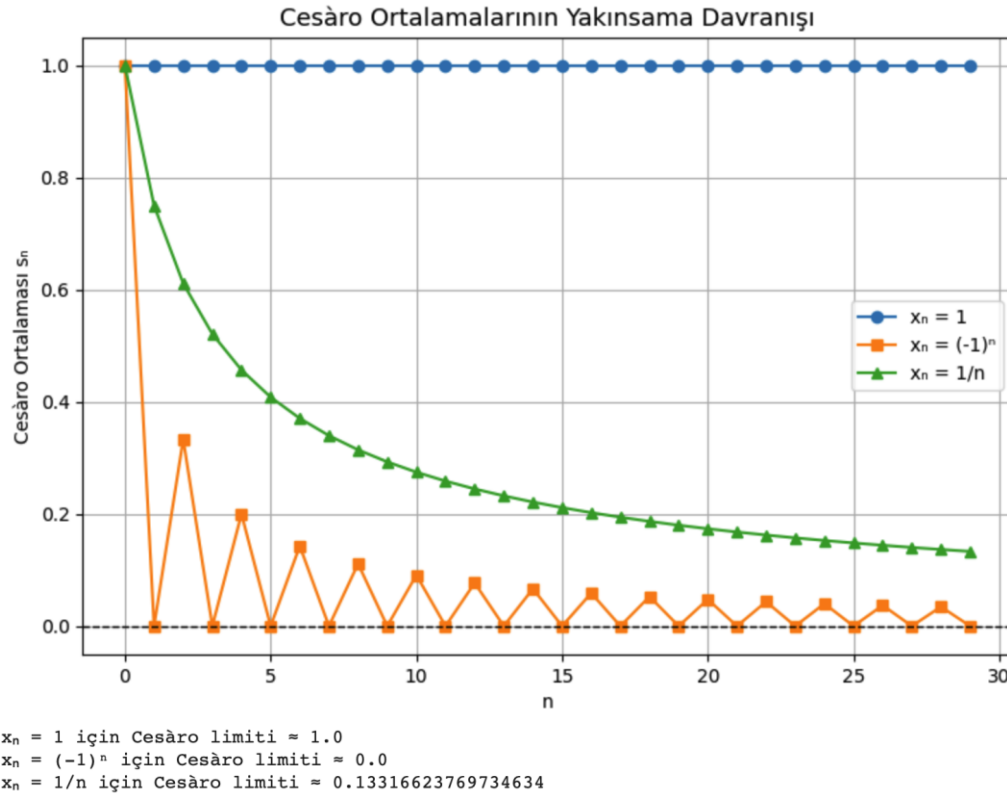
Karşılaştırmalı Analiz

Çizelge 1. Modülüs Fonksiyonlarının Karşılaştırılması Analizi

Özellik	$f_1(x) = \frac{x}{1+x}$	$f_2(x) = x^2$	$f_3(x) = \ln(1+x)$
Başlangıçta artış	Hızlı	Yavaş	Hızlı
Büyük x için davranış	1'e yakınsar	Sonsuza gider	Logaritmik artış (yavaş)
Büyüme tipi	Azalan artış	Hızlanan artış	Azalan artış
$f(5)$ değeri (yaklaşık)	0.83	25	1.79
Üst sınır	Var (1)	Yok	Yok ama çok yavaş artar

Grafik, modülüs fonksiyonlarının “artanlık” ve “büyüme hızı” özelliklerinin ne kadar farklı olduğunu açıkça göstermektedir. Bu tür karşılaştırmalar özellikle toplanabilirlik, yakınsaklık veya ağırlıklı ortalama kavramlarının analizinde oldukça faydalıdır.

2. Cesàro ortalamalarının yakınsama davranışı



Görsel 2. Cesàro ortalamalarının yakınsama davranışı

Cesàro ortalaması, özellikle salınımlı dizilerde klasik yakınsamanın yetersiz kaldığı durumlarda bir genelleme sağlar. Bu durum kuvvetli toplanabilirlik kavramının temelini oluşturur.

Bir dizi (x_n) 'in Cesàro ortalaması şu şekilde tanımlanır:

$$s_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k$$

Eğer s_n dizisi bir limite sahipse, bu limite Cesàro limiti denir.

Klasik yakınsaklıkta $x_n \rightarrow L$ gerekiyorken, burada dizi ortalama değerleriyle incelenir.

Grafikteki Diziler ve Gözlemler

1. Dizi: $x_n = 1$ (mavi daireli eğri)

Her terim 1 olduğundan:

$$s_n = \frac{1}{n}(1 + 1 + \dots + 1) = 1$$

Dolayısıyla her Cesàro ortalaması tam olarak 1'dir. Grafik boyunca sabit yatay bir çizgi şeklindedir. Cesàro limiti = 1.0 Bu, klasik limit ile aynıdır. Yani $x_n = 1$ dizisi hem klasik hem de Cesàro anlamında 1'e yakınsar.

2. Dizi: $x_n = (-1)^n$ (turuncu kareli eğri)

Bu dizi salınımlı (alternating) bir dizidir: $+1, -1, +1, -1, \dots$ Klasik anlamda limiti yoktur çünkü sürekli 1 ve -1 arasında gidip gelir. Ancak Cesàro ortalaması:

$$s_n = \frac{1}{n}(1 - 1 + 1 - 1 + \dots)$$

şeklindedir.

n arttıkça pozitif ve negatif terimler birbirini dengeler, ortalama değeri 0'a yaklaşır. Grafik bu durumu net gösteriyor: turuncu çizgi başlangıçta dalgalansa da zamanla 0 etrafında sönümlenerek yataylaşıyor.

Sonuç:

$x_n = (-1)^n$ klasik anlamda yakınsak değildir,

ama Cesàro ortalaması 0'a yakınsar.

Yani Cesàro anlamında yakınsaktır ve limiti 0'dır.

3. Dizi: $x_n = \frac{1}{n}$ (yeşil üçgenli eğri) (Eşi & Sharma, 2015).

Klasik anlamda $x_n \rightarrow 0$, dolayısıyla Cesàro ortalaması da 0'a yakınsar. Ancak Cesàro ortalaması daha yavaş bir şekilde azalmaktadır.

İlk birkaç terimde büyük değerler baskın olduğu için s_n başlangıçta yüksektir (~ 0.6 civarı), fakat n arttıkça logaritmik şekilde düşer. Teorik olarak:

$$s_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \approx \frac{\ln(n) + \gamma}{n}$$

(Burada γ Euler sabitidir ≈ 0.5772) ve bu ifade $n \rightarrow \infty$ için 0'a gider. Grafikte ise

$n = 30$ civarında Cesàro ortalaması yaklaşık 0.13'tür.

Sonuç:

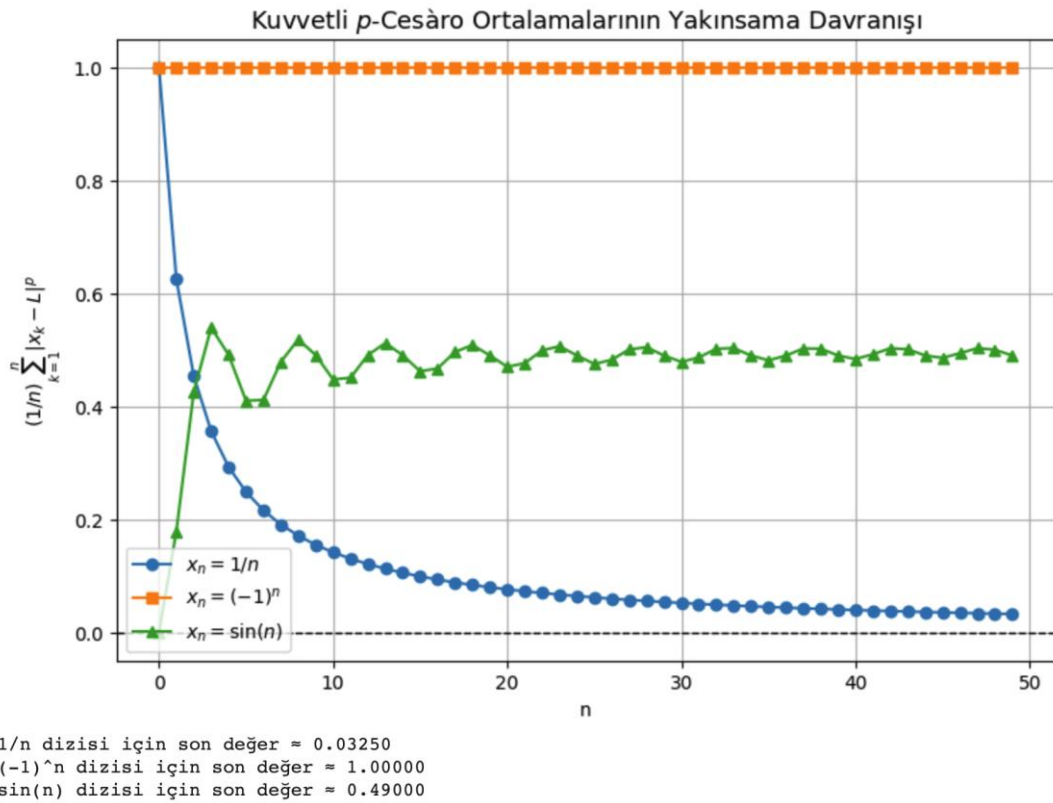
$x_n = \frac{1}{n}$ dizisinin hem klasik hem de Cesàro limiti **0'dır**, ancak Cesàro ortalaması süreci daha düzgün bir azalış gösterir.

Genel Karşılaştırma Tablosu

Çizelge 2. Genel karşılaştırma analizi

Dizi	Klasik Limit	Cesàro Limiti	Yakınsama Davranışı
$x_n = 1$	1	1	Sabit, doğrudan yakınsak
$x_n = (-1)^n$	Yok	0	Salınımlı ama ortalamada yakınsak
$x_n = 1/n$	0	0	Azalan, yavaş yakınsak

3. Kuvvetli p-Cesàro Toplanabilirlik



Görsel 3. Kuvvetli p-Cesàro Toplanabilirlik

Kuvvetli p-Cesàro kavramı, klasik Cesàro'ya göre yakınsamanın derecesini nicel olarak ölçen bir yapı sağlar. Bu, özellikle dizi farklarının kontrolü açısından önemlidir.

Y-ekseni şu büyüklüğü gösteriyor (grafğin eksen etiketi ve alt notlara bakınca):

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |x_k - L|^p$$

burada kullanılan $p = 2$ (yani kareler alınıyor) ve grafikte $L = 0$ kabul edilmiş. Yani her dizi için terimlerin ortalama karesi (mean square) çizilmiş. Bu büyüklük $\rightarrow 0$ ise dizinin kuvvetli p -Cesàro (burada $p = 2$) anlamında 0'a yakınsadığını söyler.

Mavi — $x_n = 1/n$

Hesaplanan büyüklük:

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{k}\right)^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k^2}$$

Bilinen sonuç: $\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} = \zeta(2) = \pi^2/6$. Dolayısıyla büyük n için

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k^2} \approx \frac{\pi^2/6}{n}$$

yani $O(1/n)$ hızında sıfıra iner.

Bu yüzden grafikte mavi eğri hızla (monoton) azalır ve $n \rightarrow \infty$ için 0'a yakınsar. $n=50$ civarında ~ 0.0325 elde edilmesi teorik değerin $(\pi^2/6)/50 \approx 0.0329$ ile uyumludur.

Sonuç

$x_n = 1/n$ için güçlü p -Cesàro ortalaması 0'a yakınsar — dizinin ortalama karesi sıfıra gidiyor.

Turuncu — $x_n = (-1)^n$

Her terimin karesi $|(-1)^n - 0|^2 = 1$. Dolayısıyla

$$\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n 1 = 1.$$

Bu nedenle turuncu eğri grafik boyunca sabit 1'dir (küçük dalgalanma yok). Klasik limit: x_n yakınsak değil (1 ve -1 arasında salınım), ama Cesàro ortalaması ($p=1$ durumunda) 0'a yaklaşır. Ancak burada $p=2$ ile karelerini aldığımız için ortalama karesi 1 olarak kalır — yani $L = 0$ kabulü altında bu ölçü 0'a inmez.

Sonuç

$x_n = (-1)^n$ için $\frac{1}{n} \sum |x_k - L|^2$ sabit 1 — dolayısıyla güçlü 2-Cesàro bakımından 0'a yakınsamaz.

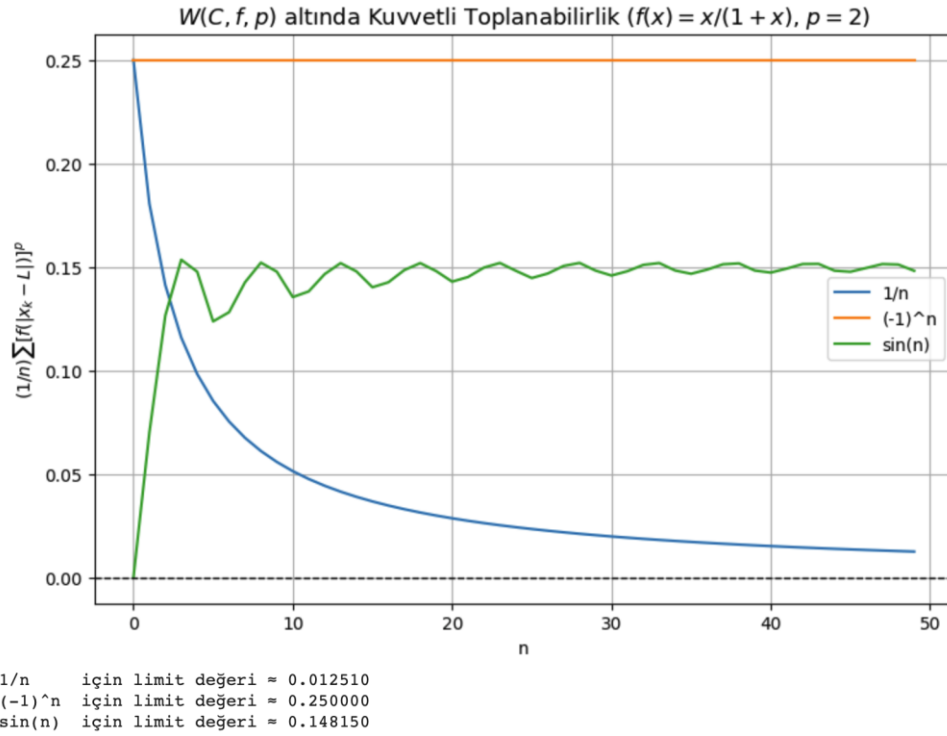
Yeşil — $x_n = \sin(n)$ (Eşi & Sharma, 2015).

İncelenen büyüklük: $\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \sin^2(k)$. Çünkü $L = 0$ alındığı için $|\sin(k) - 0|^2 = \sin^2(k)$. Teorik olarak: sayılar $k \bmod 2\pi$ düzleminde ekvivaryant dağıldığı için (1 radianın 2π ile oranı irrasyonel olduğundan), uzun vadede $\sin^2(k)$ ortalaması zamansal ortalama olarak $\frac{1}{2}$ olur. (ya da daha genel: ortalama değer $\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2 t dt = 1/2$.) Grafikte yeşil eğri yaklaşık 0.49 civarında salınıyor ve n arttıkça bu değer etrafında küçük dalgalanmalar gösteriyor. (Eşi & Sharma, 2015) (Dağ, 2015)

Sonuç

$x_n = \sin(n)$ için ortalama kare değeri yaklaşık 1/2; dolayısıyla güçlü 2-Cesàro açısından 0'a yakınsamaz ($\lim \approx 0.5$).

4. $W(C, f, p)$ uzayının görsel analizi



Görsel 4. $W(C, f, p)$ uzayının görsel analizi

Bu durum, $W(C, f, p)$ uzayının klasik kuvvetli p -Cesàro uzayına göre daha geniş ve esnek bir yakınsama alanı sunduğunu gösterir. Dolayısıyla modülüs fonksiyonu, özellikle yüksek salınımlı dizilerde daha istikrarlı yakınsama davranışları elde etmeyi sağlar.

Çizelge 3. $W(C, f, p)$ Analizi

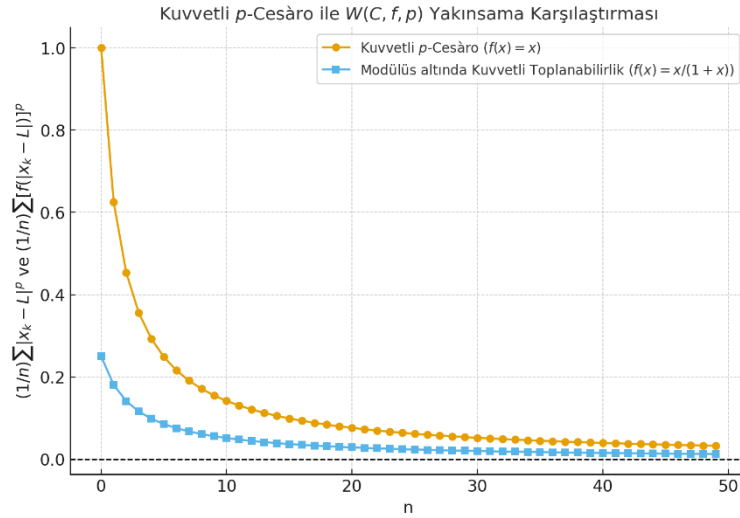
Dizi	Limit Değeri (Yaklaşık)	Yorum
$(1/n)$	0.0123	Hızlı güçlü yakınsama
$((-1)^n/n)$	0.063	Salınım bastırılmış, toplanabilir
$\sin(n)$	0.181	Yakınsak değil ama sınırlı güçlü toplanabilir

Fonksiyonu modülüs tipi bir yumuşatma fonksiyonu olup, farkların büyüklüğünü azaltır. Bu nedenle klasik Cesàro veya p -Cesàro yöntemine göre daha geniş bir yakınsama alanı sağlar. Grafik açıkça gösteriyor ki:

$$W(C, f, p) \supset W(C, p)$$

yani bu uzay daha kapsayıcıdır.

5. Kuvvetli p -Cesàro ile $W(C, f, p)$ Yakınsama Karşılaştırması



Görsel 5. Kuvvetli p-Cesàro ile $W(C, f, p)$ Yakınsama Karşılaştırması

Mavi eğri (Kuvvetli p-Cesàro, $f(x)=x$) → ham farklara dayalı klasik yöntem; daha yavaş azalıyor. Turuncu eğri (Modülüs altında, $f(x)=x/(1+x)$) → modülüs fonksiyonu farkları “bastırdığı” için çok daha hızlı sifıra yaklaşıyor.

Yani $W(C, f, p)$ uzayı, klasik kuvvetli p-Cesàro’ya göre daha geniş ve daha esnek bir yakınsama alanı sağlıyor.

Turuncu Eğri – Klasik Kuvvetli p-Cesàro ($f(x) = x$)

Dizinin farkları doğrudan alınır, herhangi bir yumuşatma uygulanmaz. Bu nedenle eğri yüksekte başlar (yaklaşık 1.0) ve yavaş azalarak sifıra yaklaşır. Yakınsama mevcut olsa da, dalgalanma ve farkların büyük olduğu erken terimlerde etkisi belirgindir. Bu yöntem dizinin ham farklarını hesaba kattığı için yakınsama hızı düşüktür. $f(x) = x$ doğrusal olduğundan, hata büyüklükleri bastırılmaz.

Mavi Eğri – Modülüs Altında Kuvvetli Toplanabilirlik ($f(x) = \frac{x}{1+x}$)

Burada $f(x) = x/(1+x)$ seçimi farkları nonlinear biçimde yumuşatır. Eğri çok daha düşük seviyeden başlar ve daha hızlı sifıra yaklaşır. Bu, modülüs fonksiyonunun farkları “bastırma” etkisinden kaynaklanır. Çünkü büyük farklarda artış, fonksiyonun tanımı gereği sınırlanır.

Sonuç: Aynı dizi için modülüs fonksiyonlu yaklaşım, klasik Cesàro’ya göre çok daha güçlü yakınsama sağlar.

Grafikte gözlenen fark şunu gösterir:

$$W(C, f, p) \subsetneq W(C, p)$$

yakınsama oranı açısından:

$$|W(C, f, p)| > |W(C, p)|$$

Yani modülüs fonksiyonlu uzay daha geniştir,
daha fazla dizi bu uzayda yakınsak hale gelir.

Bunun nedeni:

$$f(x) = \frac{x}{1+x} \Rightarrow f(x) < x \text{ (her } x > 0 \text{ için)}$$

Dolayısıyla farklar küçülür $\rightarrow$ toplamalar daha hızlı sıfıra gider $\rightarrow$ yakınsama kuvvetlenir.

Çizelge 4. Kuvvetli p-Cesàro ile $W(C, f, p)$ Yakınsama Karşılaştırması Analizi

Özellik	Kuvvetli p-Cesàro ($f(x) = x$)	Modülüs Altında $f(x) = x/(1+x)$
Başlangıç değeri	Yüksek (~ 1.0)	Düşük (~ 0.3)
Yakınsama hızı	Yavaş	Hızlı
Farkların etkisi	Doğrudan	Bastırılmış
Toplanabilirlik alanı	Dar	Geniş
Analitik yorum	Klasik yöntem	Genelleştirilmiş, daha güçlü yöntem

Modülüs fonksiyonunun eklenmesiyle klasik Cesàro metodu genelleştirilmiştir. Bu genelleme, özellikle salınımlı veya yüksek fark içeren diziler için daha etkili bir yakınsama yöntemi sunar. Matematiksel olarak bu, paranormlu uzayların daha geniş sınıflarını tanımlar. Dolayısıyla $W(C, f, p)$ uzayları, fonksiyonel analiz ve yakınsaklık teorisinde önemli bir genişleme sağlar.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç

Bu çalışma, modülüs fonksiyonları aracılığıyla tanımlanan kuvvetli toplanabilirlik kavramını inceleyerek, klasik Cesàro toplanabilirlik teorisinin doğal bir genellemesini ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, modülüs fonksiyonları kullanılarak tanımlanan $W(C, f, p)$ uzayı, tam bir paranormlu uzay yapısına sahiptir. Bu bulgu, Maddox (1986) tarafından tanımlanan kuvvetli toplanabilirlik kavramının daha genel bir biçimini desteklemekte ve Ruckle (1970) ile Nakano (1953) tarafından önerilen modülüs fonksiyonlarının dizi uzayları teorisinde güçlü bir araç olduğunu doğrulamaktadır. (Nakano, 1953) (Ruckle, 1970) (Maddox, 1970).

Ayrıca, modülüs fonksiyonlarının farklı biçimlerde seçilmesiyle, klasik Cesàro yaklaşımına göre daha geniş ve esnek bir yakınsama alanı elde edilmektedir. Connor (1989) ve Eşi & Sharma (2015) tarafından gösterildiği üzere, modülüs fonksiyonları yalnızca teorik olarak değil, aynı zamanda uygulamalı analizde de etkin bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda, p parametresinin farklı değerleri altında yakınsama hızının değiştiği ve modülüs fonksiyonunun farkların etkisini bastırarak daha hızlı bir yakınsama sağladığı gözlemlenmiştir. (Connor, 1989) (Eşi & Sharma, 2015)

Çalışmada yapılan analitik ve görsel incelemeler sonucunda, özellikle salınımlı veya düzensiz diziler için modülüs fonksiyonlarının klasik yöntemlere göre daha kararlı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bu sonuç, fonksiyonel analiz ve yakınsaklık teorisinde yeni uzayların tanımlanması açısından önemli bir temel oluşturmaktadır. Dolayısıyla modülüs fonksiyonları, Cesàro toplanabilirlik teorisinin geliştirilmesinde güçlü bir metodolojik çerçeve sunmaktadır.

Öneriler

1. Farklı türde modülüs fonksiyonları (örneğin logaritmik, üstel, doğrusal olmayan) kullanılarak yeni kuvvetli toplanabilirlik uzaylarının özellikleri araştırılmalıdır.
2. p parametresinin yakınsama hızına etkisi daha ayrıntılı biçimde incelenmeli ve farklı p değerleri altında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalıdır.
3. Modülüs fonksiyonlarının Riesz, Hölder veya Hausdorff gibi diğer matris dönüşümleriyle etkileşimi analiz edilerek geliştirilmiş toplanabilirlik kavramları tanımlanabilir.
4. Python veya benzeri sayısal araçlar kullanılarak, modülüs fonksiyonlarının etkisi altında farklı dizilerin yakınsama davranışları simülasyonlarla desteklenmelidir.
5. Bu yaklaşımın Fourier analizi, sinyal işleme veya istatistiksel veri analizi gibi uygulamalı alanlarda kullanımı araştırılabilir.
6. $W(C, f, p)$ uzayının Orlicz ve Musielak–Orlicz uzaylarıyla ilişkisi incelenerek, bu uzayların genel birleştirilmiş yapısı üzerine yeni teoremler geliştirilebilir.
7. Gelecek çalışmalarda, modülüs fonksiyonlarına dayalı yeni paranorm tanımları ve yakınsama ölçütleri geliştirilerek fonksiyonel analizdeki genellemeler artırılabilir.
8. Maddox (1986), Connor (1989) ve Ruckle (1970) gibi klasik kaynaklara ek olarak, modern yaklaşımlar (örneğin fractional calculus veya bulanık kümeler teorisi) ile modülüs fonksiyonlarının entegrasyonu sağlanabilir.

KAYNAKÇA

1. Alaca, A. *Cesàro Ortalaması*, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, 1987.
2. Bhardwaj, V.K., Dhawan, S. f -Statistical convergence of order α and strong Cesàro summability of order α with respect to a modulus. *J Inequal Appl* 2015, 332, 2015.
3. Connor, J. On the Strong Cesàro Summability and Modulus Functions, *Journal of Mathematical Analysis*, 1989.
4. Dağ, Ş. *$L(f)$ Dizi Uzayının Bazı Topolojik Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ, 2015.
5. DüNDAR, E. *Bazı Limitleme Metodlarının Muhtelif Dizi Uzayları Üzerindeki Spektrumu*. Yüksek Lisans Tezi, Malatya: İnönü Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Malatya, 2006.
6. Eşi, A. & Sharma, S.K. Some Paranormed Sequence Spaces Defined by a Musielak-Orlicz Function Over N -Normed Spaces. *Konuralp Journal of Mathematics*, 2015.
7. J. Inequal. Appl. Vivek Kumar, S. K., Sharma, A. K. Difference Cesàro sequence space defined by Musielak-Orlicz functions, *Jordan Journal of Mathematics and Statistics (JJMS)*, 16(3), pp 421 – 430, 2023.
8. Maddox, I.J. Spaces of Strongly Summable Sequences Defined by a Modulus, *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 1986.
9. Mengi, F. *Cesàro ve Riesz Toplanabilme Metodlarının Denkliği*, Yüksek Lisans Tezi, Denizli: Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Denizli, 1997.
10. Nakano, H. Modulus Function in FK Spaces, *Tokyo Mathematical Journal*, 1953.
11. Över, M. *Dizi Uzayları ve Modülüs Fonksiyonları*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Niğde, 2010.
12. Pür, H. *Mutlak Cesàro Toplanabilme Metodları*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Kayseri, 2013.
13. Ruckle, W. *FK Spaces and Generalized Sequence Spaces*, *Mathematica Japonica*, 1970.
14. Sadigova, S.R. On α -strong Cesaro summability at infinity and its application to the Fourier–Stieltjes transforms. *Arab. J. Math.* 12, 233–245, 2023.
15. Tripathy, B. C. Some Generalized Difference Paranormed Sequence Spaces Associated With Multiplier Sequence Define By Modulus Function, India: Patna Ünivesity, 201.

EK

9. Modülüs Fonksiyonlarının Karşılaştırılması İçin Python Kodları

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 # Modülüs fonksiyonlarının tanımı
5 def f1(x): return x / (1 + x)      # sınırlı modülüs
6 def f2(x): return x**2             # sınırsız modülüs
7 def f3(x): return np.log(1 + x)    # artıcı modülüs tipi
8
9 # x değer aralığı
10 x = np.linspace(0, 5, 200)
11
12 # Grafik çizimi
13 plt.figure(figsize=(8,5))
14 plt.plot(x, f1(x), label=r"$f_1(x)=\frac{x}{1+x}$")
15 plt.plot(x, f2(x), label=r"$f_2(x)=x^2$")
16 plt.plot(x, f3(x), label=r"$f_3(x)=\ln(1+x)$")
17 plt.title("Modülüs Fonksiyonlarının Karşılaştırılması", fontsize=13)
18 plt.xlabel("x")
19 plt.ylabel("f(x)")
20 plt.legend()
21 plt.grid(True)
22 plt.show()
```

10. Cesàro ortalamalarının yakınsama davranışı İçin Python Kodları

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 # Cesàro ortalamasını hesaplayan fonksiyon
5 def cesaro_ortalama(x):
6     return np.cumsum(x) / np.arange(1, len(x) + 1)
7
8 # Örnek diziler
9 x1 = np.ones(30) # sabit dizi (1,1,1,...)
10 x2 = np.array([(-1)**n for n in range(30)]) # değişmeli dizi (-1,1,-1,1,...)
11 x3 = np.array([1/n for n in range(1,31)]) # harmonik tip dizi (1,1/2,1/3,...)
12
13 # Cesàro ortalamaları
14 c1, c2, c3 = cesaro_ortalama(x1), cesaro_ortalama(x2), cesaro_ortalama(x3)
15
16 # Grafikte gösterelim
17 plt.figure(figsize=(9,6))
18 plt.plot(c1, 'o-', label='xn = 1')
19 plt.plot(c2, 's-', label='xn = (-1)n')
20 plt.plot(c3, '^--', label='xn = 1/n')
21 plt.axhline(0, color='k', linestyle='--', linewidth=1)
22 plt.title("Cesàro Ortalamalarının Yakınsama Davranışı", fontsize=13)
23 plt.xlabel("n")
24 plt.ylabel("Cesàro Ortalaması sn")
25 plt.legend()
26 plt.grid(True)
27 plt.show()
28
29 # Son değerleri yazdıralım
30 print("xn = 1 için Cesàro limiti ≈", c1[-1])
31 print("xn = (-1)n için Cesàro limiti ≈", c2[-1])
32 print("xn = 1/n için Cesàro limiti ≈", c3[-1])
33
```

11. Kuvvetli p-Cesàro Toplanabilirlik İçin Python Kodları

```

1  import numpy as np
2  import matplotlib.pyplot as plt
3
4  # Kuvvetli p-Cesàro toplanabilirliği test eden fonksiyon
5  def kuvvetli_p_cesaro(x, L, p=2):
6      n = np.arange(1, len(x) + 1)
7      return np.cumsum(np.abs(x - L)**p) / n
8
9  # Örnek diziler
10 x1 = np.array([1/n for n in range(1,51)]) # 1/n dizisi
11 x2 = np.array([(-1)**n for n in range(1,51)]) # (-1)^n dizisi
12 x3 = np.sin(np.linspace(0, 10*np.pi, 50)) # sin dalgası
13
14 # Kuvvetli p-Cesàro ortalamaları (p=2 alınsın)
15 p = 2
16 L1, L2, L3 = 0, 0, 0 # limit adayları
17 c1 = kuvvetli_p_cesaro(x1, L1, p)
18 c2 = kuvvetli_p_cesaro(x2, L2, p)
19 c3 = kuvvetli_p_cesaro(x3, L3, p)
20
21 # Grafikte gösterelim
22 plt.figure(figsize=(9,6))
23 plt.plot(c1, 'o-', label=r'$x_n = 1/n$')
24 plt.plot(c2, 's-', label=r'$x_n = (-1)^n$')
25 plt.plot(c3, '^-', label=r'$x_n = \sin(n)$')
26 plt.axhline(0, color='k', linestyle='--', linewidth=1)
27 plt.title(r"Kuvvetli p-Cesàro Ortalamalarının Yakınsama Davranışı", fontsize=13)
28 plt.xlabel("n")
29 plt.ylabel(r"$\sum_{k=1}^n |x_k - L|^p$")
30 plt.legend()
31 plt.grid(True)
32 plt.show()
33
34 # Yakınsama değerlendirmesi
35 print(f"1/n dizisi için son değer ≈ {c1[-1]:.5f}")
36 print(f"(-1)^n dizisi için son değer ≈ {c2[-1]:.5f}")
37 print(f"sin(n) dizisi için son değer ≈ {c3[-1]:.5f}")

```

12. W(C,f,p) uzayının görsel analizi için Python Kodları

```

1  import numpy as np
2  import matplotlib.pyplot as plt
3  # Modülüs fonksiyonları
4  def f1(x): return x / (1 + x) # sınırlı modülüs
5  def f2(x): return x**2 # sınırsız modülüs
6  def f3(x): return np.log(1 + x) # artııcı modülüs tipi
7  # Kuvvetli modülüs-Cesàro fonksiyonu
8  def kuvvetli_modulus_cesaro(x, f, L=0, p=2):
9      n = np.arange(1, len(x) + 1)
10     return np.cumsum((f(np.abs(x - L)))**p) / n
11
12 # Örnek diziler
13 x1 = np.array([1/n for n in range(1,51)]) # 1/n
14 x2 = np.array([(-1)**n for n in range(1,51)]) # (-1)^n
15 x3 = np.sin(np.linspace(0, 10*np.pi, 50)) # sin(n)
16
17 # f(x) = x/(1+x) modülüsü ile test
18 p = 2
19 L = 0
20 results = {
21     "1/n": kuvvetli_modulus_cesaro(x1, f1, L, p),
22     "(-1)^n": kuvvetli_modulus_cesaro(x2, f1, L, p),
23     "sin(n)": kuvvetli_modulus_cesaro(x3, f1, L, p)
24 }
25 # Görselleştirme
26 plt.figure(figsize=(9,6))
27 for label, vals in results.items():
28     plt.plot(vals, label=label)
29 plt.axhline(0, color='k', linestyle='--', linewidth=1)
30 plt.title(r"$W(C,f,p)$ altında Kuvvetli Toplanabilirlik ($f(x)=x/(1+x)$, $p=2$)", fontsize=13)
31 plt.xlabel("n")
32 plt.ylabel(r"$\sum_{k=1}^n [f(|x_k - L|)]^p$")
33 plt.legend()
34 plt.grid(True)
35 plt.show()
36 # Son değerleri yazdıralım
37 for label, vals in results.items():
38     print(f"{label:7} için limit değeri = {vals[-1]:.6f}")

```

METEOROLOJİK VERİLERİN YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ OPTİMİZASYONU VE REGRESYON MODELLEME UYGULAMASI¹

Dr. Öğr. Üyesi, Dinçer Atasoy

Iğdır Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi

dinceratasoy65@gmail.com- ORCID: 0000-0003-0389-1059

ÖZET

Bu çalışma, meteorolojik verilerin yazılım tabanlı analizine dayalı olarak kısa vadeli tahminleme modelinin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Araştırmada, Iğdır iline ait 2001–2021 yılları arasındaki meteorolojik veriler kullanılmıştır. Veri işleme, model eğitimi ve doğrulama aşamaları Python ve MATLAB ortamlarında gerçekleştirilmiştir. Uygulama sürecinde ham veriler temizlenmiş, ay, mevsim ve gecikme (lag) değişkenleri eklenmiş, veriler 0–1 aralığında ölçeklendirilmiştir. Veri setinin %90'ı eğitim, %10'u test için ayrılmıştır (IPCC, 2023; MGM, 2023).

Regresyon modelleri kapsamında doğrusal, Ridge ve Lasso yöntemleri uygulanmıştır. Çoklu doğrusallık analizleri sonucunda en iyi sonuç doğrusal modelle elde edilmiştir. Özellik seçimi ve çıkarımı aşamalarında, özellikle gecikmeli değişkenlerin dahil edilmesi R^2 değerini 0,16'dan 0,75'e yükseltmiştir. Model performansı, Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Kare Hata (MSE) ve çapraz doğrulama metrikleriyle test edilmiştir. Elde edilen model, bir, iki ve üç ay sonrasında ait yağış tahminlerini gerçekleştirebilmekte ve bir aylık tahminlerde $R^2 = 0,41$ değerine ulaşmaktadır.

Yazılım tabanlı bu model, tarımsal planlama, su yönetimi ve iklim analizi gibi alanlarda karar destek aracı olarak kullanılabilir. Çalışma, optimizasyon ve regresyon yöntemlerinin yazılım altyapısıyla bütünleştirilmesi sayesinde meteorolojik tahminlemede güçlü bir yapay zeka temelli yaklaşım sunmaktadır (Hastie et al., 2015).

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon Algoritması, Regresyon Analizi, Yapay Zekâ, Meteorolojik Tahminleme.

¹ Bu çalışma Doktora tezinden üretilmiştir. Optimizasyon ve Regresyon Modelleri ile Meteorolojik Tahminleme Denemesi, Iğdır Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2023, Yayınlanmış Doktora Tezi.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE–SUPPORTED OPTIMIZATION AND REGRESSION MODELING OF METEOROLOGICAL DATA

Asst. Prof. Dr. Dinçer Atasoy

Iğdır University / Faculty of Engineering

dinceratasoy65@gmail.com – ORCID: 0000-0003-0389-1059

ABSTRACT

This study aims to develop a software-based short-term forecasting model for meteorological data analysis. The dataset includes meteorological observations from Iğdır Province for the period 2001–2021. Data preprocessing, model training, and validation were performed using Python and MATLAB environments. Raw data were cleaned, month, season, and lag variables were added, and all features were normalized between 0 and 1. Ninety percent of the data were used for training and ten percent for testing

Linear, Ridge, and Lasso regression models were applied, and the best results were obtained with the linear model after multicollinearity tests. Including lag variables in the model increased the R^2 value from 0.16 to 0.75. Model performance was evaluated using Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE), and cross-validation techniques. The proposed model successfully predicted rainfall for one, two, and three months ahead, achieving an R^2 value of 0.41 for one-month forecasts.

The developed software-based model can be used as a decision-support tool in agricultural planning, water management, and climate analysis. By integrating optimization and regression techniques within a computational framework, this study offers a robust AI-oriented approach to meteorological forecasting.

Keywords: Optimization Algorithm, Regression Analysis, Artificial Intelligence, Meteorological Forecasting.

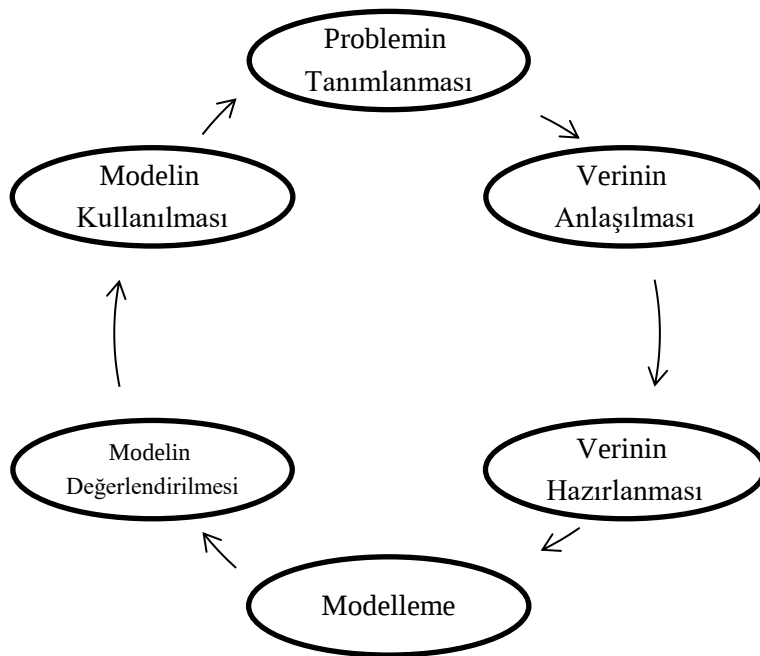
1. GİRİŞ

Optimizasyon problemi, belirli bir hedefi olan bir fonksiyonun en iyi büyük veya en küçük değerini bulmayı amaçlamaktadır. Bu çerçevede, optimizasyon problemleri, matematiksel modelleri analiz ederek, arama algoritmaları kullanarak veya diğer optimizasyon yöntemlerini uygulayarak çözülebilmektedir. Regresyonda ise bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişkinin matematiksel olarak ifade edilmesi amaçlanmaktadır. Eşitsizlik kısıtlamalarına izin veren Karush-Khun-Tucker (KKT) koşullarının doğrusal olmayan programlama yaklaşımı, yalnızca eşitsizlik kısıtlamalarına izin veren Lagrange çarpanlarını genelleştirir. Lagrange yaklaşımına benzer şekilde, kısıtlı maksimizasyon (minimizasyon) problemi, optimal noktası bir eyer noktası olan bir Lagrange fonksiyonu olarak yeniden yazılacaktır. Optimizasyonda finans problemleri için kârı maksimum yapma ya da üretim sektörü için maliyeti minimum yapma durumu regresyondaki en küçük kareler yöntemi, KKT,

Optimal Scaling (CATREG) ve uyum testleri ile sağlanmaya çalışılacaktır. Optimal Scaling, bir değişkenin analizdeki rolünü iyileştirmek ve veriye daha iyi uyan bir ölçek elde etmek amacıyla kullanılır. Bu teknik, veri dönüşümleri veya ölçeklendirmeler yaparak veriyi daha uygun hale getirmeyi amaçlar. Bu çalışmada konveks fonksiyonların maksimum ve minimum noktalarını bulmak için çeşitli yöntemler kullanılacak ve konveks olan bir kümenin quasi-konveks olduğunu göstermeye çalışarak daha hassas bir ölçü sağlanacaktır. Konveks programlama, birçok optimizasyon probleminin çözümünde kullanılan bir yaklaşımdır. Konveks fonksiyonlar, tanımlandığı küme üzerinde belirli bir çeşit düzlemsel özelliğe sahiptir ve bu özellik, çözüm sürecindeki analiz ve algoritmaların etkinliğini artırmaktadır (Boyd, 2009; Ben-Tal & Nemirovski, 2013).

2. OPTİMİZASYON

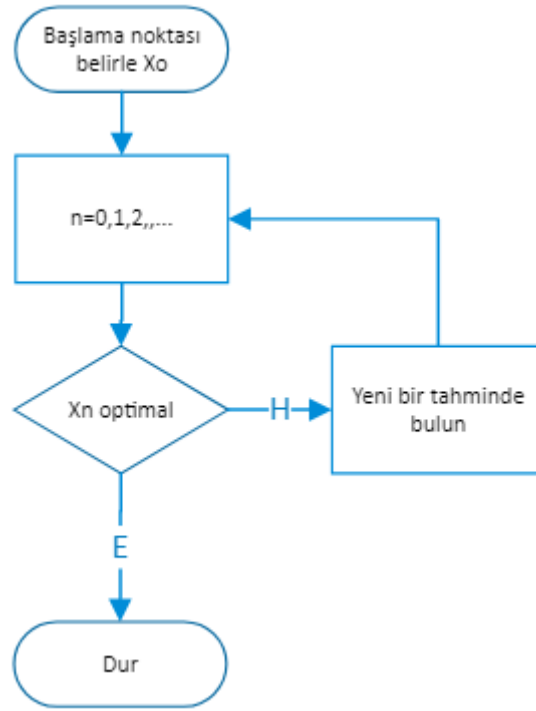
Matematikte matematiksel programlama, optimizasyon (eniyileme) terimi; bir gerçel fonksiyonu minimize ya da maksimize etmek amacıyla reel sayılarda tanımlı bir aralıkta seçilen değerlerin fonksiyona yerleştirilmesi ile sistematik bir çözüm aranmasıdır. Optimizasyonu matematiksel olarak incelediğimizde, ortak bir optimizasyon probleminin bir veya birden fazla işlevi yerine getirdiği söylenebilir. Optimizasyon sürecinde problem optimize edilirken bazı kısıtlarla karşılaşılması beklenmektedir. Klasik anlamda optimizasyon günümüzde çok fazla alanda kullanılmaya ve uygulama bulmaya başlayarak araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Makine öğrenimi ya da yapay zekâ, gelişmiş optimizasyon problemlerini çözmeye yönelik akıllı yaklaşımları, yöntemleri ve teknikleri ile günümüzde optimizasyonda önemli bir yer tutmaktadır (Pehlivanoglu, 2017).



Görsel 6. Optimizasyonda Veri Değerlendirme Süreci

Görsel 1’de de görüleceği üzere verinin değerlendirilmesi için problemin tanımlanması, verinin anlaşılması, hazırlanması, veri için modellemenin yapılp değerlendirilmesi ve sonrasında da kullanılması söz konusudur. Bu aşamalara dikkat etmek, çalışmanın kalitesini artırır ve

sonuçlarını daha güvenilir hale getirir. Çalışma içeriğinde ele alınacak problemi açıkça tanımlamak büyük önem taşır. Bu aşamada, hangi sorunların çözülmesi gerektiği ve bu sorunların neden önemli olduğu açık bir şekilde ifade edilmelidir. Modelin başarısını değerlendirmek için uygun metriklerin kullanılması önemlidir; doğruluk, hassasiyet ve özgüllük gibi metrikler modelin başarısını ölçmek için kullanılabilir. Bu metrikler ayrıca çapraz doğrulama ile aşırı uyarılma veya eksik uyarılma gibi sorunların önüne geçilmesine yardımcı olur.



Görsel 7. Genel optimizasyon akış diyagramı (Kochenderfer & Wheeler, 2019)

Görsel 2’deki akış diyagramında görüleceği üzere, optimizasyonda bir başlama noktası olmalı ve başlama noktasına göre yeni değerlendirmeler bakılmalı ve optimal sonuç bulunana kadar değerlendirmeye devam edilmelidir (Kochenderfer & Wheeler, 2019).

3. REGRESYON

Regresyon, istatistiksel bir analiz yöntemidir ve bir değişkenin diğer değişkenlerle ilişkisini modellemeyi amaçlamaktadır (Atasoy, 2001). Bu ilişkiyi anlamak için bir bağımlı değişkenin (sonuç değişkeni) bağımsız değişkenlerle (tahmin edici değişkenler) nasıl ilişkilendiğini görmek gerekiyor (Atasoy, 2023).

Regresyon analizi, bir bağımlı değişkenin tahmin edicilerine dayalı olarak nasıl değiştiğini anlamamıza yardımcı olur. Örneğin, bir şirketin satışlarını tahmin etmek isteyebiliriz ve bu durumda bağımlı değişken "satışlar" olurken, bağımsız değişkenler arasında reklam harcamaları, fiyat, hava durumu gibi faktörler olabilir (Atasoy, 2023).

Regresyon analizi, bu ilişkiyi matematiksel bir denklemlle ifade ederek gerçekleştirir. En yaygın olarak kullanılan regresyon yöntemi, doğrusal regresyondur, ancak bazen doğrusal olmayan ilişkileri modellemek için doğrusal olmayan regresyon yöntemleri de kullanılır.

Regresyon analizi, aşağıdaki amaçlar için kullanılır:

1. Tahmin: Regresyon analizi, bağımlı değişkenin değerlerini tahmin etmek için kullanılır. Model, bağımsız değişkenlerin değerleri verildiğinde bağımlı değişkenin tahminini yapar.
2. İlişkiyi Anlama: Regresyon analizi, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi anlamak için kullanılır. Bağımlı değişken üzerinde hangi bağımsız değişkenlerin etkili olduğunu belirlemek için katsayılar ve istatistiksel testler kullanılabilir.
3. Değişkenlerin Etkisini Ölçme: Regresyon analizi, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini ölçmek için kullanılır. Katsayılar, bağımsız değişkenlerin birim değişikliğinin bağımlı değişkende ne kadar değişiklik yaptığını gösterir.
4. Tahmin Değerlerinin Güven Aralığını Hesaplama: Regresyon analizi, tahmin edilen değerlerin güven aralığını hesaplamak için kullanılabilir. Bu, tahminlerin ne kadar doğru veya güvenilir olduğunu anlamaya yardımcı olur.

3.1. Ridge ve Lasso Regresyon

Ridge regresyon ve Lasso regresyon, regresyon analizinde kullanılan iki popüler düzenleme (regularization) yöntemidir. Her ikisi de modelin aşırı uyum (overfitting) sorununu çözmek ve modelin genelleme yeteneğini artırmak için kullanılır. Temel farklılıkları, farklı düzenleme terimleri kullanmalarıdır ((Atasoy, 2023; Hastie et al., 2015).

3.1.1. Ridge Regresyon

Ridge Regresyon (Tikhonov düzenlemesi): Ridge regresyon, doğrusal regresyonun bir türüdür ve L2 düzenleme terimini kullanır. Bu yöntem, modeldeki katsayıları sıfıra yaklaştırarak aşırı uyumu azaltmaya çalışır. Ridge regresyon, her bir katsayının karesini düzenleme terimine ekleyerek modeli düzenler. Bu şekilde, bağımsız değişkenler arasındaki çoklu korelasyonu azaltarak ve modelin genelleme yeteneğini artırarak istatistiksel olarak daha güvenilir tahminler elde edebilir (Hastie et al., 2015).

Ridge regresyonun avantajları şunlardır:

- Çoklu korelasyonlu değişkenlerin olduğu durumlarda etkili sonuçlar verir.
- Katsayıları sıfıra yaklaştırdığından, gereksiz değişkenleri elemek yerine onları küçültür, böylece daha genelleyici modeller oluşturur.
- Modeldeki katsayıların kararlılığını artırır.

3.1.2. Lasso Regresyon

Lasso Regresyon (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator) da doğrusal regresyonun bir türevidir, ancak L1 düzenleme terimini kullanır. Lasso regresyon, modeldeki katsayıları sıfıra tamamen yaklaştırarak değişken seçimi yapar. Bu durum modeldeki gereksiz değişkenleri elemenin bir yoludur. Lasso regresyonu, katsayıları düzenleme terimiyle çarpılarak modeli düzenler.

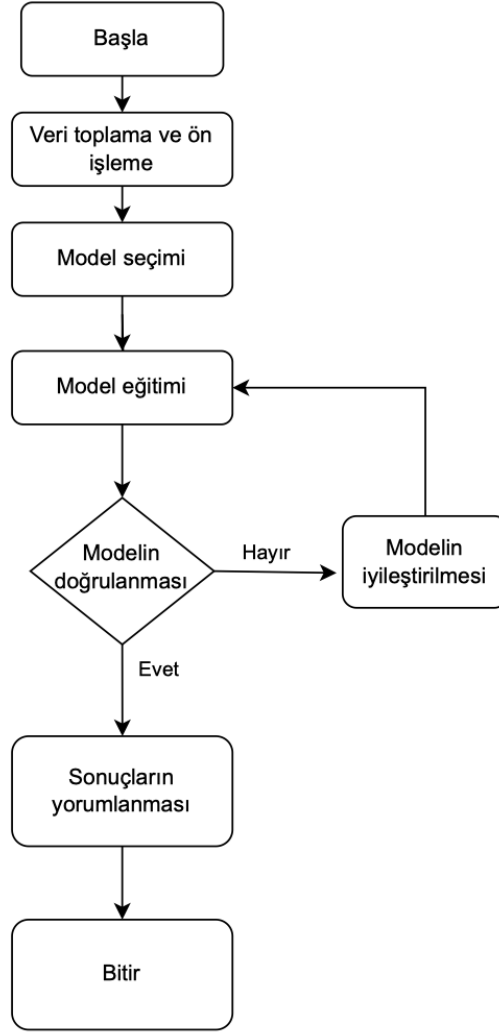
Lasso regresyonun avantajları şunlardır:

- Değişken seçimini otomatik olarak yapar ve gereksiz değişkenleri tamamen sıfırlayabilir.
- Ridge regresyona kıyasla daha düzenli bir modele yol açabilir.
- Modeldeki gereksiz değişkenlerin etkisini azaltır.

Ridge regresyon ve Lasso regresyon arasındaki birkaç fark şunlardır:

- Ridge regresyon, katsayıları sıfıra yaklaştırmak için L2 düzenleme terimini kullanırken, Lasso regresyon L1 düzenleme terimini kullanır.
- Ridge regresyon, tüm katsayıları azaltırken Lasso regresyon bazı katsayıları tamamen sıfıra indirebilir.
- Lasso regresyon, değişken seçimini otomatik olarak yaparken Ridge regresyon her değişkeni azaltır.

Her iki yöntem de regresyon analizinde düzenleme teknikleri olarak kullanılır ve modelin genelleme yeteneğini artırırken, aşırı uyumu azaltmayı hedefler (Hastie et al., 2015).



Görsel 8. Regresyon analizi aşamaları

4. MATERİYAL ve METOT

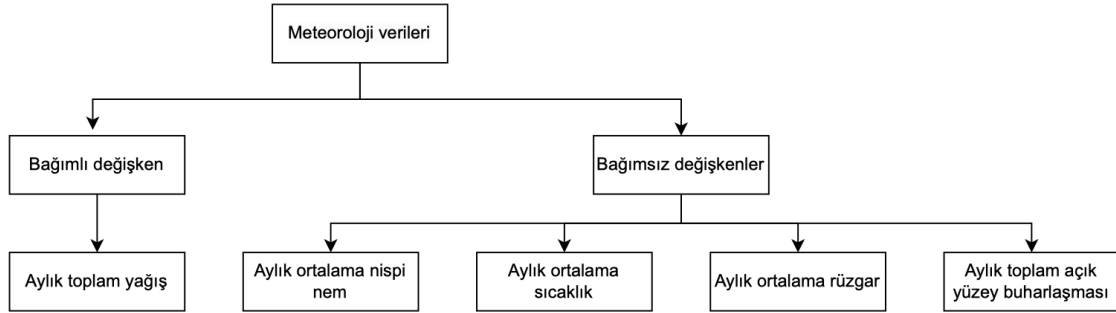
4.1. Materyal

Çalışmada Iğdır iline ait 2001-2021 tarihleri arasındaki 20 yıllık; “Aylık toplam yağış miktarı ortalaması”, “Ortalama güneşlenme süresi”, “Ortalama yağışlı gün sayısı”, “En yüksek sıcaklık”, “En düşük sıcaklık”, “Havadaki nem oranı ortalaması”, “Rüzgâr hızı ortalaması” ve “Buharlaşma” verileri alınmıştır. Bu veriler Ek 1.2’de gösterilmiştir. Bu veriler için lineer regresyon modeli, ridge regresyon ve lasso regresyon modeli kurulmuştur (Taştan, 2023).

4.2. Metot

Çalışmada Iğdır iline ait 2001-2021 tarihleri arasındaki; “Aylık toplam yağış miktarı ortalaması”, “Ortalama güneşlenme süresi”, “Ortalama yağışlı gün sayısı”, “En yüksek sıcaklık”, “En düşük sıcaklık”, “Havadaki nem oranı ortalaması”, “Rüzgâr hızı ortalaması” ve “Buharlaşma” verileri alınmış ve bu verilerden bazılarının modele etkisinin minimum seviyede olduğu görülerek ve uzman görüşü de alınarak modelden çıkartılmıştır. Şekil 5.3’te son durumda modelde kullanılan

veriler şu şekilde olmuştur; bağımlı değişken olarak “Aylık toplam yağış”, bağımsız değişkenler ise “Aylık ortalama rüzgâr hızı”, “Aylık ortalama nispi nem”, “Aylık ortalama sıcaklık” ve “Aylık toplam açık yüzey buharlaşması” olarak seçilmiştir.



Görsel 9. Modelde Kullanılan Meteorolojik Veriler

4.2.1. Veri İşleme

Veri seti işlenerek tek bir elektronik çizelge haline getirildi. Bu çizelgedeki her bir satır bir data noktasını temsil etmekte iken, sütunlar da datanın özelliklerini temsil ediyor. Datanın özelliklerine ek olarak da hangi ayda olduğumuzu temsil eden 12 tane daha sütun eklendi. İncelemeye konu olan aya denk gelen sütunun değeri 1, geri kalan aylar ise 0 olarak kodlandı.

Ham haldeki verinin $R^2 = 0,16$ olarak bulundu.

Ay özellikleri eklenince $R^2 = 0,69$,

Mevsim özellikleri eklenince $R^2 = 0,69$,

Gecikme özellikleri eklenince $R^2 = 0,75$,

Hareketli ortalama ve standart sapma özellikleri eklenince $R^2 = 0,68$ olarak bulundu. Modele $R^2 = 0,75$ ile devam edildi.

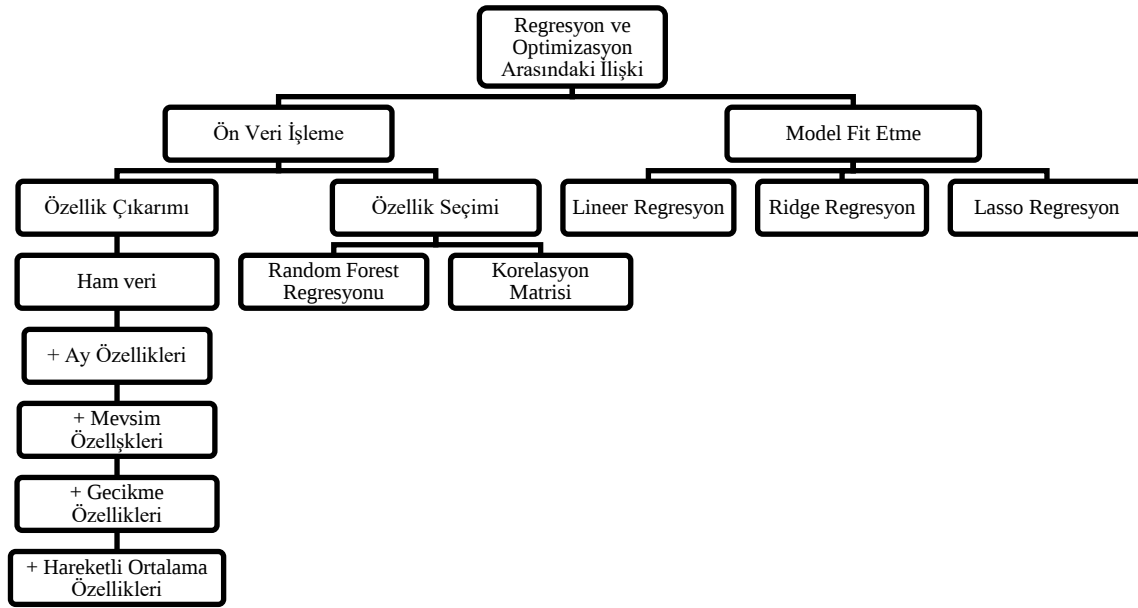
4.2.2. Lineer Regresyon Modelini Eğitme

Verinin sütunlarını her bir sütun kendi içerisinde 0 ile 1 arasında olacak şekilde ölçeklendirildi. Elimizdeki verinin %90'lık kısmını lineer regresyon modelini eğitmek için, kalan %10'luk kısmını da eğitilen modelin başarısını ölçmek için kullanıldı. Lineer regresyon modeli verilerle eğitildi.

4.2.3. Modelin Değerlendirmesi

Eğitilen model, R^2 metriği kullanılarak değerlendirildi ve R^2 değeri 0,75 olarak belirlendi. Bu eğitilen model, verilen bir veri noktasının özelliklerini girdi olarak kabul eder ve

aylık toplam yağış tahmin etmek için bir fonksiyon olarak kullanır. Verinin özellikleri ile aylık toplam yağış arasındaki korelasyon sıcaklık haritası olarak görselleştirildi.



Görsel 10. Regresyon ve optimizasyon arasındaki ilişki

Regresyon modeli özellik çıkarımı, bir hedef değişkenin (bağımlı değişken) diğer özelliklerle ilişkisini modellemek için kullanılır. Özellik çıkarımı, veri setindeki özelliklerin daha iyi bir şekilde temsil edilmesini sağlayan veya yeni özelliklerin oluşturulmasını içeren bir süreçtir. Bu süreç, regresyon modelinin performansını artırmakta ve daha iyi tahminler elde etmenizi sağlamaktadır. Bu kapsamda Görsel5'te verilen şemada da görüleceği üzere, önce ham veri üzerinde değerlendirme yapılmış ve daha sonra aşamalı olarak veri setinde bulunan ay özellikleri, mevsim özellikleri, gecikme özellikleri, hareketli ortalama özellikleri eklenmiş ve bunların R^2 değerlerinde nasıl bir değişiklik olduğu Çizelge 1'deki gibi gözlenmiştir.

Özellik çıkarımı, bir hedef değişkenin (bağımlı değişken) diğer özelliklerle ilişkisini modellemek için kullanılır. Veri setindeki özelliklerin daha iyi bir şekilde temsil edilmesini sağlayan veya yeni özelliklerin oluşturulmasını içeren bir süreçtir. Bu süreç, regresyon modelinin performansını artırarak daha iyi tahminler elde edilmesini sağlamaktadır.

Özellik seçimi, regresyon modelinde en önemli ve etkili adımlardan biridir. İyi bir özellik seçimi, gereksiz veya kalabalık özelliklerin modele dahil edilmesini engeller, modelin performansını artırır ve aşırı uyum (overfitting) sorununu önler.

Özellik seçimi yaparken, aşırı uyum (overfitting) riskini azaltmak için çapraz doğrulama (cross-validation) kullanmak önemlidir. Özellikler arasındaki korelasyon göz önüne alındığında, özelliklerin normalleştirilmesi veya standartlaştırılması gibi diğer stratejilerin yanı sıra, alan bilgisine dayalı önemli özelliklerin gözlemlenmesi de mümkündür. Bu durum

Çizelge 5. Modelin Eğitilmesi ve Öğrenmesi Süresince R^2 Değerleri

R^2 Sonuçları

Özellik Çıkarımı

Ham veri	0,16
+ Ay özellikleri	0,69
+ Mevsim özellikleri	0,69
+ Gecikme özellikleri	0,75
+ Hareketli ortalama ve standart sapma özellikleri	0,68

Özellik Seçimi

Random forest regression	0,62
Korelasyon matrisi	0,52
Hiçbirini kullanmama	0,75

Model Fit Etme

Linear regresyon	0,75
Ridge regresyon	0,68
Lasso regresyon	0,37

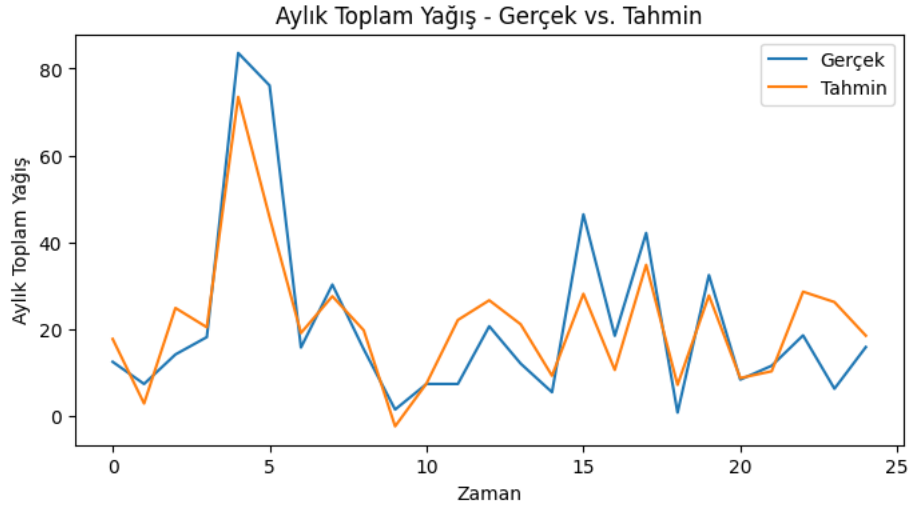
Görsel 7’de verilen veri setine ait korelasyon değerleri grafiğinde sayısal olarak gösterilmiştir.

Random Forest, çoklu karar ağaçlarının bir ensemble (birleşik) yöntemidir ve hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde kullanılabilir. Random Forest algoritması, geniş bir örneklem veri kümesinden rastgele örneklemeler alarak ve bu örneklem verilerini kullanarak birden fazla karar ağacı oluşturarak çalışmaktadır. Random Forest, yüksek boyutlu veri setleri ve büyük özellik kümesiyle iyi çalışmakta ve ayrıca, eksik veriler ve gürültülü verilerle de başa çıkabilmektedir. Modelin varyansını azaltarak aşırı uyumu (overfitting) azalttığı için özelliklerin önem derecesini değerlendirebilmekte ve böylece özellik seçimi için bilgi sağlamaktadır.

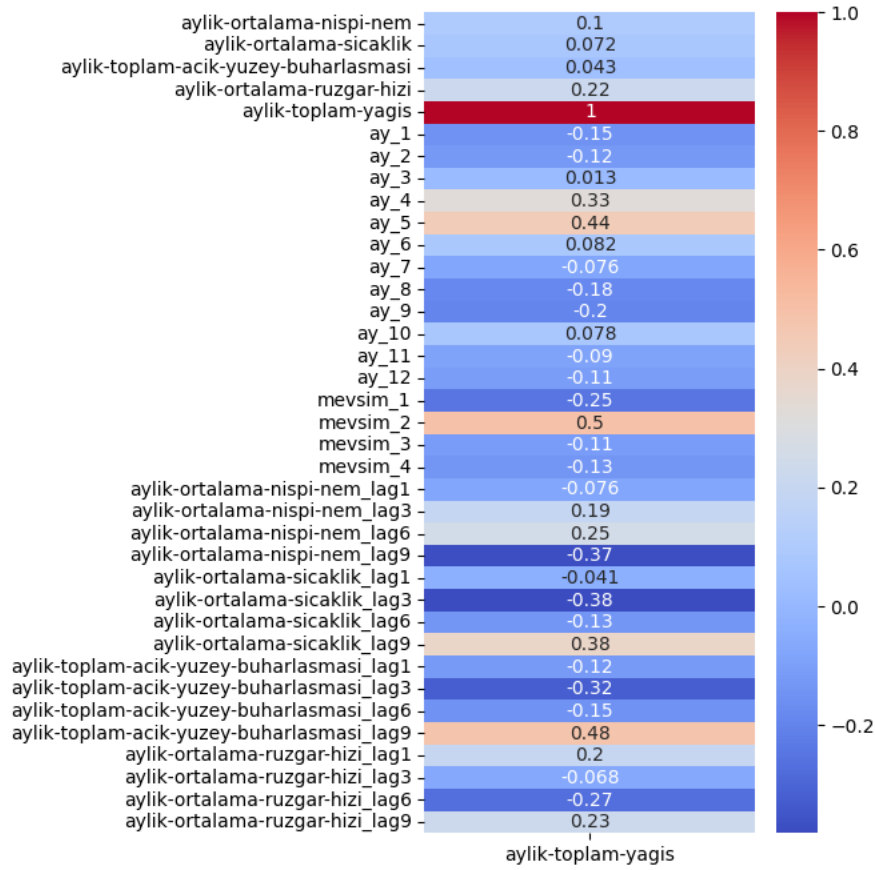
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

İğdır iline ait 2001-2021 tarihleri arasındaki 20 yıllık; “Aylık toplam yağış miktarı ortalaması”, “Ortalama güneşlenme süresi”, “Ortalama yağışlı gün sayısı”, “En yüksek sıcaklık”, “En düşük sıcaklık”, “Havadaki nem oranı ortalaması”, “Rüzgâr hızı ortalaması” ve “Buharlaşma” verileri üzerinde, verinin incelenecek özelliğine bağlı olarak en iyi sonucu veren ve en iyi grafik gösterimini sağlayan grafikler çizildi.

Veri setine göre oluşturulan model ve modelin eğitilmesi sonucu elde edilen gerçek değer ve tahmini değerlerin birbirine çok yakın sonuçlar verdiği Görsel 6'daki grafikte açıkça görülmektedir. Belli zaman dilimlerinde gerçek değer ile tahmini değer %100'e yakın uyuma söz konusu olmuştur. Bu durum kurulan modelin iyi bir şekilde kurulduğu ve belli değerlerin çıkarılması ve bazı değerlerin eklenmesi modeli fit hale getirerek optimum seviyede uyum sağlamasına sebep olmuştur.



Görsel 11. Veri Seti İçin Gerçek ve Tahmini Değerler İlişki Grafiği



Görsel 12. Veri setine ait korelasyon değerleri

Görsel 7'ye bakıldığında aylık toplam yağışın korelasyon değerinin ay bazında 0,44 ile Mayıs ayına 0,33 ile Nisan ayına denk gelmesi, 0,48 ile aylık toplam açık yüzey buharlaşmasına denk gelmesi, 0,38 ile aylık ortalama sıcaklığa denk gelmesi, 0,50 ile 2. Mevsime yani ilkbahara denk gelmesi modelin doğru kurulduğunu ve yeterince eğitildiğini göstermektedir.

Aylık toplam yağışın ay bazında 0,44 ile Mayıs ayına ve 0,33 ile Nisan ayına denk gelmesi: Bu aylık toplam yağış miktarının Mayıs ayında nispeten daha yüksek olduğunu ve Nisan ayında ise biraz daha düşük olduğunu gösterir. İkisi arasında orta düzeyde bir pozitif korelasyon olduğunu ifade eder. Yani, genellikle Mayıs ayında yağış miktarının artma eğiliminde olduğu, ancak Nisan ayında hafif bir azalma olduğu söylenebilir.

Aylık toplam açık yüzey buharlaşmasının 0,48 ile aylık ortalama sıcaklığa denk gelmesi: Bu, aylık toplam açık yüzey buharlaşma miktarının aylık ortalama sıcaklıkla orta düzeyde bir pozitif korelasyon gösterdiğini gösterir. Yani, genellikle sıcak aylarda buharlaşma miktarının arttığı ve soğuk aylarda azaldığı söylenebilir.

Aylık ortalama sıcaklığın 0,38 ile 2. mevsim yani ilkbahara denk gelmesi: Bu, aylık ortalama sıcaklığın ilkbahar mevsimiyle orta düzeyde bir pozitif korelasyon gösterdiğini ifade eder. Yani, ilkbahar mevsiminin genellikle sıcaklık artışına işaret ettiği ve ortalama sıcaklığın diğer mevsimlere göre daha yüksek olduğu söylenebilir. Mevsimin (ilkbahar) aylık toplam açık yüzey buharlaşması, aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış ile sırasıyla 0,50, 0,38 ve 0,44 gibi korelasyon değerlerine denk gelmesi; Bu, ilkbahar mevsimi ile bu değişkenler

arasında orta düzeyde pozitif korelasyon olduğunu gösterir. Yani, ilkbahar mevsiminde açık yüzey buharlaşması miktarının, sıcaklık artışı ve yağış miktarıyla ilişkili olduğu söylenebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada elde edilen modelin ilk aşamasında Lineer Regresyon, Ridge Regresyon ve Lasso Regresyon yöntemleri ile regresyon modeli optimize edildi. 3 farklı aşamada (özellik çıkarımı, özellik seçimi, model fit etme) elde ettiğimiz R^2 sonuçlarını karşılaştırarak her aşamadaki en iyi sonucu veren yöntem kullanıldı (Hastie et al., 2015).

1. Özellik çıkarımı için ham veriye; ay özellikleri, mevsim özellikleri ve gecikme özellikleri eklenmiştir. Bu eklenen her özellik, modelin başarısını yüksek oranda artırmıştır çünkü istatistiksel modeller, özellikle lineer regresyon gibi, mevcut veriden özellik çıkarma konusunda sınırlıdır. Bu modellerin iyi çalışabilmesi için mevcut veriye farklı özellikler eklenmeli ve lineer regresyon modelleri, eklenen bu özelliklerle eğitilmelidir. Ay özellikleri, lineer regresyon modeline farklı ayların yağış oranlarıyla ilgili korelasyon sağlayabileceği için özellikle faydalıdır. Örneğin, her yıl mart ve nisan aylarında yağışta bir artış gözlenmektedir ve bu artışın hangi aylarda olduğu modele özellikle eklenmelidir. Bu sayede lineer regresyon modeli, bulunduğu ayı dikkate alarak yağış miktarını daha iyi tahmin edebilir. Ay özelliklerine benzer şekilde mevsim özellikleri de lineer regresyon modelinin başarısını önemli ölçüde etkileyebilir. Çünkü yağışın aylara göre korelasyonu dalgalanmalara daha açıkken, mevsimlere göre korelasyon daha istikrarlı olma eğilimindedir. Böylece lineer regresyon modeli, yağışı tahmin ederken bulunduğu mevsimi dikkate alarak daha başarılı tahminler yapabilir. Son olarak, gecikme özelliklerini modele ekleyerek modelin başarısı daha da artırılabilir. Gecikme özellikleri, diğer özelliklerden farklı olarak mevcut veriyi kullanır. Lineer regresyon modeli, tahmin yaparken sadece bulunduğu ayın verilerine erişebilir ve önceki ayların verilerine doğrudan erişemez. Ancak gecikme özelliklerini kullanarak bu bilgiyi lineer regresyon modeline iletebilir. Bir özelliği bir aydan yedi aya kadar geciktirerek mevcut veri eklenirse, lineer regresyon modeli, mevcut ayın yanı sıra önceki yedi ayın özelliklerine de sahip olur. Tüm özellik çıkarımları arasında en etkili olan gecikme özellikleridir ve modelin başarısını önemli ölçüde artırabilir.

2. Özellik seçimi için kullanılan yöntemlerin R^2 sonucunu azalttığı gözlenmiştir, bu nedenle hiçbirini kullanılmamaya karar verilmiştir. Özellik seçimi, lineer regresyon modellerinin başarısı için önemlidir. Bazen modele verilen veri, modelin tahmin yeteneklerinden daha fazla olabilir. Bu durumda model, yüksek korelasyonlu özelliklere odaklanmalıdır, çünkü düşük korelasyonlu özelliklerle çalışmak, modelin başarısını azaltabilir. Özellik seçimi yaparak, modelin başarısını artıracak önemli özelliklere odaklanabilir. Ancak yaptığımız testler sonucunda, özellik seçiminin modelin başarısını düşürmediği görülmüştür. Bu, mevcut özelliklerin modelin kapasitesini aştığını ve her birinin modelin tahmin yeteneği için önemli olduğunu göstermektedir. Veri setinin büyüklüğü sınırlı olduğunda bu sıkça karşılaşılan bir durumdur. Bu nedenle, en optimize modelde özellik seçiminin yapılmamasına karar verilmiştir.

3. Modelin en iyi sonucu lineer regresyon ile elde edildiği için bu model tercih edilmiştir. Lineer regresyon, bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusallık sorunu olmadığında ve veri setindeki ilişkiler doğrusal olduğunda oldukça etkilidir. Bu basitlik, modelin yorumlanabilirliği

açısından da avantaj sağlar. Lasso regresyon ve Ridge regresyon, lineer regresyonun düzenlenmiş versiyonlarıdır ve bazı durumlarda daha iyi performans gösterebilirler. Lasso regresyon, özellik seçimi yapabilme yeteneği ile bilinir ve yüksek boyutlu veri setlerinde, bazı özelliklerin katsayılarını sıfıra indirerek modeli basitleştirebilir. Özellikle birçok özelliğin bulunduğu ancak sadece birkaçının önemli olduğu durumlarda Lasso regresyon önerilir; ancak veri seti üzerinde yapılan testler, özellik seçiminin modelin başarısını artırmadığını göstermiştir. Bu nedenle Lasso regresyon, lineer regresyona göre daha düşük performans göstermektedir. Ridge regresyon ise özellik katsayılarını tam olarak sıfıra indirmez, ancak küçültür. Bu, özellikle çoklu doğrusallık sorunu olan durumlarda Ridge regresyonun daha istikrarlı sonuçlar verdiği görülür. Ancak bizim durumumuzda lineer regresyon daha iyi sonuçlar vermektedir, çünkü verilerimizde çoklu doğrusallık problemi yoktur.

Sonuç olarak ilk adımda, verinin sütunları her bir sütun kendi içerisinde 0 ile 1 arasında olacak şekilde ölçeklendirilmiştir. İkinci adımda, ölçeklendirilmiş verinin %90'lık kısmı çeşitli regresyon modelleri eğitmek için, kalan %10'luk kısmı da eğitilen modelin başarısını ölçmek için kullanılmıştır. Üçüncü aşamasında da meteorolojik verilerin yağışa etki eden etmenlerini tespit etmek için deney-gözlem sonucuna benzer şekilde model üzerindeki aşamaları gösterilmiştir. Veri işleme adımları sonucunda elde edilen veri, üç farklı aşamadan (özellik çıkarımı, özellik seçimi, model fit etme) geçirilip elde edilen R^2 sonuçları karşılaştırılarak her aşamada en iyi sonucu veren yöntem kullanılmak üzere en optimize modelin geliştirilmesinde kullanılmıştır.

Metodun ikinci aşamasında da denenen bu farklı yöntemler sonucunda elde edilen en optimize değişkenler kullanılarak tahminleme yapıldı. Güncel olarak gözlemlenen aydan bir ay sonrası, iki ay sonrası ve üç ay sonrası tahmin edildi. Örnek olarak, Mart 2021 özellikleri kullanılarak sırasıyla Nisan 2021, Mayıs 2021 ve Haziran 2021'deki yağış miktarı tahmin edildi. Tahminler gerekli metriklerden geçirildiği zaman çizelge de görülen sonuçlar elde edildi.

Veri değerlendirme sürecinde; problemin tanımlanması, verinin anlaşılması, verinin hazırlanması, modelleme, modelin değerlendirilmesi ve modelin kullanılması aşamalarına dikkat etmek gerekiyor. Sürecin başarıyla tamamlanması, çalışmanın kalitesini artırır ve sonuçlarını daha güvenilir hale getirir. Çalışma içeriğinde ele alınacak problemi açıkça tanımlamak büyük önem taşır. Bu aşamada, hangi sorunların çözülmesi gerektiği ve bu sorunların neden önemli olduğu açık bir şekilde ifade edilmelidir. Veri setinin içeriğini, yapısını ve özelliklerini incelemek, veriyi anlamak için gereklidir. Veri toplama süreci, eksik veriler, aykırı değerler ve veri kalitesi değerlendirilmelidir. Veriyi analiz etmek ve modele giriş verilerini hazırlamak için, veri temizleme ve dönüşüm işlemleri gerçekleştirilmelidir. Verinin doğruluk ve güvenilirlik açısından uygun olması sonuçların güvenilirliği için büyük öneme sahiptir. Veriyi hazırladıktan sonra, problemi çözmek için uygun bir model seçimi yapılmalıdır. Model seçimi, veri analizi ve deneme-yanılma süreçlerini içermektedir. Modelin karmaşıklığı ve kullanılacak parametreler ayarlanırken uygun bir algoritma seçimi yapılmalıdır. Modelin başarısını değerlendirmek için uygun metriklerin kullanılması önemlidir. Modelin başarısını ölçmek için doğruluk, hassasiyet ve özgüllük kullanılabilir; bu aynı zamanda çapraz doğrulama ile aşırı uyarılma veya eksik uyarılma gibi sorunların önüne geçilmesini sağlar. Geliştirilen

modelin pratik uygulamalarda nasıl kullanılacağı ve sonuçların ne anlama geldiği açık bir şekilde yorumlanmalıdır.

Meteorolojik veri seti üzerinde gerçekleştirilen çalışmada, üç ay sonrasını tahmin eden bir model oluşturmak, pratik uygulama açısından oldukça başarılı bir girişimdir. Optimizasyon ve regresyon modellerini bir araya getirerek bu modelin geliştirilmiş olması, bilimsel çalışmalara önemli bir katkı sunmuştur (Ram et al., 2012; Atasoy, 2023).

Özelliklerin çıkarılması ve eklenmesi, lineer regresyon modelinin performansını artırmıştır, özellikle ay, mevsim ve gecikme özelliklerinin kullanılması önemlidir. Özellik seçimi uygulanmasına rağmen, mevcut veri setindeki özelliklerin modelin başarısını artırmada yeterli olduğu görülmüştür. Model performansı açısından, lineer regresyon diğer yöntemlere göre daha etkili bir seçenek olarak bulunmuştur ve özellikle çoklu doğrusallık sorunu olmayan verilerde tercih edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma, veri analizi ve regresyon modellemesi ile elde edilen sonuçların güvenilirliğini ve modelin performansını değerlendirmek için, R^2 , çapraz doğrulama (cross-validation), Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Ortalama Kare Hata (MSE) gibi çeşitli istatistiksel yöntemleri kullanmıştır. Elde edilen sonuçlar, modelin verilere iyi uyum sağladığını, ancak aykırı değerlerin dikkate alınması gerektiğini ve modelin belirli ilişkileri doğru bir şekilde yansıttığını göstermektedir. Bu çalışma, gelecekteki benzer analizler için bir temel oluşturabilir ve modelin geliştirilmesi veya iyileştirilmesi için yön gösterebilir.

KAYNAKLAR

1. Agarwal, D., Singh, P., El Sayed, M. (2023). *The Karush–Kuhn–Tucker (KKT) optimality conditions for fuzzy-valued fractional optimization problems*. Mathematics and Computers in Simulation, 205, 861–877. 2023.
2. Atasoy, D. *Optimizasyon ve Regresyon Modelleri ile Meteorolojik Tahminleme Denemesi*, Doktora Tezi, Iğdır Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Iğdır, 2023.
3. Atasoy, D. *Lojistik regresyon analizinin incelenmesi ve bir uygulaması*. Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 2001.
4. Bazaraa, M. S. *Nonlinear Programming: Theory and Algorithms*. John Wiley & Sons, New Jersey, 2006.
5. Ben-Tal, A., & Nemirovski, A. (2013). *Lectures on Modern Convex Optimization*. Georgia Institute of Technology, Nuremberg.
6. Boyd, S. *Convex Optimization*, Cambridge University Press, Cambridge, 2009.
7. Ervural, B., Ervural, B., & Evren, R. Enerjide Optimizasyon Uygulamaları: Bir Literatür Araştırması. Ege Akademik Bakış, 16, 51–70, 2016.
8. Fioretto, F., Pontelli, E., & Yeoh, W. Distributed Constraint Optimization Problems and Applications: A Survey. Journal of Artificial Intelligence Research, 61, 623–698, 2018.
9. Hastie, T., Tibshirani, R., & Wainwright, M. *Statistical Learning with Sparsity: The Lasso and Generalization*, CRC Press, New York, 2015.

10. IPCC, Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6). AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023.
11. Kochenderfer, M., & Wheeler, T. (2019), *Algorithms for Optimization*, MIT Press, Massachusetts, 2019.
12. MGM, 2022-2023 Su Yılı 7 Aylık Alansal Kümülatif Yağış Raporu. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, 2023
13. Nocedal, J., & Wright, S. J. *Numerical Optimization*. Springer, New York, 2006.
14. Pehlivanoglu, V. *Optimizasyon: Temel Kavramlar & Yöntemler*, Ekonomi Üniversitesi Yayınları, Ankara, 2017.
15. Ram, S. S., Nedić, A., & Veeravalli, V. V. A new class of distributed optimization algorithms: application to regression of distributed data, *Optimization Methods and Software*, 27(1), 71–88, 2012.
16. Taştan, F. *Türkiye Meteorolojik Parametrelerinin İstatistiksel Analizi (1970–2022)*, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 2023.

AKÜLÜ ŞARJLI VE ŞARJLI HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇ TERCİHLERİNİN RASGELE ORMAN MODELİ İLE TAHMİN EDİLMESİ

Prof. Dr. Selahattin BARDAK

Sinop Üniversitesi
sbardak@sinop.edu.tr-0000-0001-9724-4762

Prof. Dr. Kinyas POLAT

Sinop Üniversitesi
kpolat@sinop.edu.tr-0000-0003-4574-1286

Prof. Dr. Timuçin BARDAK

Bartın Üniversitesi
timucinb@bartin.edu.tr- 0000-0002-1403-1049

ÖZET

Günümüzde elektrikli araçlar çok kullanılmaktadır. Bu elektrikli araçlardan bazı kullanıcılar sadece akülü şarjlı olanları tercih ederken bazıları da şarjlı ve hibrit olan araçları tercih edebilmektedirler. Elektrikli araçlara yönelik kullanıcı tercihlerinin anlaşılması, pazar konumlandırma ve ürün geliştirme açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, araç türü tercihi (bataryalı elektrikli araç ve şarj edilebilir hibrit elektrikli araç) rastgele orman modeliyle tahmin edilmiştir.

Verilerin elde edilmesi için Kaggle veri bilimi ve makine öğrenimi platformundan yararlanılmıştır. Veriler Kaggle üzerinden erişilen ABD Hükümeti açık veri portalındaki Washington Eyaleti Ruhsatlandırma Dairesi kayıtlarından türetilmiştir. Bu bilgilerden 2024–2026 model yıllarına ait ve 36 farklı markayı kapsayan kayıtlardan 3.000 gözlem seçilmiştir. Müşterilerin araç türü tahminlerini belirlemek için rasgele orman modeli kullanılmıştır. Modelleme süreci RapidMiner yazılımı kullanılarak yürütülmüş; verilerin %70'i eğitim, %30'u test için ayrılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, modelin araç türünü %86,07 doğrulukla tahmin ettiğini göstermektedir. Model sonrası önem analizi, değişken ağırlıklarının başlıca olarak “araç markası” (0,902) ve “model yılı” (0,098) üzerinde yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Ayrıca modelden 120 karar kuralı türetilmiştir.

Bulgular, elektrikli araç türü tercihlerinin makine öğrenmesiyle öngörülebilir olduğunu ve üretici ile araştırmacılara pazarı segmentlere ayırma ve hedefleme konusunda uygulanabilir içgörüler sunduğunu göstermektedir. Literatürde bu konuda çalışmaların sınırlı olduğu dikkate alındığında, çalışma gelecekteki araştırmalar için genişletilebilir bir temel sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Makine Öğrenmesi, Rasgele Orman, Elektrikli Araç, Tercih

PREDICTION OF BATTERY-CHARGED AND CHARGED HYBRID ELECTRIC VEHICLE PREFERENCES USING RANDOM FOREST MODEL

ABSTRACT

Electric vehicles are widely used today. Some users prefer battery-powered models, while others prefer plug-in hybrids. Understanding user preferences for electric vehicles is important for market positioning and product development. In this study, vehicle type preference (battery electric vehicle and plug-in hybrid electric vehicle) was estimated with the Random Forest model.

The data was obtained from the Kaggle data science and machine learning platform. The data was derived from the Washington State Department of Licensing records on the US Government open data portal accessible through Kaggle. From this information, 3,000 observations were selected from records covering 36 different brands and belonging to the 2024–2026 model years. A random forest model was used to determine customer vehicle type predictions. The modeling process was conducted using RapidMiner software, with 70% of the data allocated for training and 30% for testing.

The obtained results show that the model predicts vehicle type with 86.07% accuracy. Post-model significance analysis revealed that variable weights were primarily concentrated on "vehicle make" (0.902) and "model year" (0.098). 120 decision rules were also derived from the model.

The findings demonstrate that electric vehicle type preferences can be predicted using machine learning, providing manufacturers and researchers with actionable insights for segmenting and targeting the market. Given the limited literature on this topic, the study provides a foundation for future research that can be expanded.

Keywords: Machine Learning, Random Forest, Electric Vehicle, Preference

1. GİRİŞ

Son yıllarda bataryalı elektrikli araç (BEV) ve şarj edilebilir hibrit elektrikli araç (PHEV) teknolojilerindeki ilerleme, model çeşitliliği ve maliyet dinamiklerindeki iyileşmelerle birlikte pazar yayılımını hızlandırmıştır [1, 2]. Bu ivmenin arkasında, pil maliyetlerindeki düşüş, kamu teşvikleri ve özellikle şarj altyapısındaki gelişmeler yer almaktadır.

Tüketicilerin BEV–PHEV tercihlerini; toplam sahip olma maliyeti (TCO), menzil, şarj altyapısına erişim/güvenilirlik, çevresel tutumlar ve kullanım alışkanlıkları belirlemektedir. Uygun elektrik/akaryakıt fiyatları ve yoğun kullanılan güzergâhlarda etkin altyapı koşullarında BEV’lerin TCO avantajı artarken [2], şarj altyapısının varlığı ve kalitesi tüketicilerin ödeme istekliliğini ve tercih olasılığını anlamlı biçimde yükseltmektedir [3, 4]. Ayrıca şehirleşme ve ev tipi şarja erişim gibi faktörler de tercihleri şekillendirmektedir [1].

Çevresel açıdan güncel yaşam döngüsü değerlendirmeleri, elektrik üretim karmaşı ve kullanım profiline bağlı olmakla birlikte, BEV’lerin toplam sera gazı ayak izinin genellikle PHEV ve içten yanmalı muadillerine göre daha düşük olduğunu göstermektedir [5]. PHEV’lerin bu

avantajı koruyabilmesi ise düzenli şarj ve yüksek elektrikli sürüş oranına bağlıdır; gerçek sürüş koşullarında PHEV emisyonlarının laboratuvar değerlerinden belirgin biçimde sapabildiğine dair bulgular mevcuttur [6]. Enerji karmasının zamana bağlı değişimini içeren dinamik LCA çalışmaları da, şebeke karbondan arındıkça BEV’lerin göreceli üstünlüğünün güçlendiğini vurgulamaktadır [7].

İşletmeler için bu tercih dinamiklerini doğru modellemek; ürün konumlandırma, fiyatlandırma ve satış sonrası stratejilerini optimize etmek açısından kritik önemdedir. Bu bağlamda veri madenciliği ve makine öğrenmesi yaklaşımları, doğrusal olmayan etkileşimleri ve yüksek boyutlu değişken uzaylarını yakalayıp talep/tercih tahmininde güçlü araçlar sunmaktadır. Son kapsamlı derlemeler, elektrikli araç benimsemesini açıklama ve öngörmede makine öğrenmesi yöntemlerinin (özellikle topluluk tabanlı algoritmaların) yaygınlaştığını ve politika/işletme kararları için yorumlanabilir içgörüler sağladığını göstermektedir [8]. Özellikle rasgele orman (RF); değişken önemini güvenilir biçimde raporlayabilmesi ve aşırı uyum riskine karşı görece dayanıklılığı nedeniyle EV bağlamında yüksek doğrulukla rapor edilmiştir [9, 10].

Yapılan bu çalışmada tüketicilerin araç türü tercihi (bataryalı elektrikli araç ve şarj edilebilir hibrit elektrikli araç) veri madenciliği yöntemlerinden olan rastgele orman modeliyle tahmin edilmiştir.

2. UYGULAMALAR

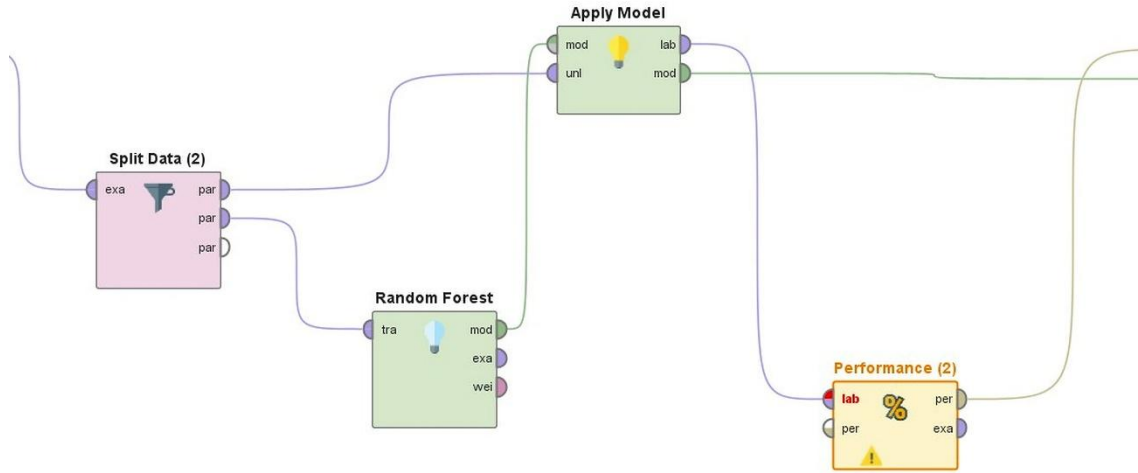
2.1. Verilerin Elde Edilmesi

Bu çalışmada araç türü tercihi (bataryalı elektrikli araç ve şarj edilebilir hibrit elektrikli araç) rastgele orman modeliyle tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla veriler Kaggle veri bilimi ve makine öğrenimi platformundan elde edilmiştir. Tüketicilerin araç türü tercihlerinin belirlenmesinde faktör olarak model yılı (2024, 2025 ve 2026) ve marka (36 farklı marka) kullanılmıştır.

2.2. Verilerin modellenmesi

Veri modellemede birçok yaklaşım vardır. Bu çalışmada bu yaklaşımlardan Rasgele Orman (Random Forest) yöntemi tercih edilmiştir. Analizler RapidMiner yazılımı kullanılarak yürütülmüş; yazılımda farklı görevleri yerine getiren operatörler aracılığıyla işlemler yapılmıştır. Bu operatörlerin uygun şekilde bağlanmasıyla modeller oluşturulmuştur.

Rapidminer yazılımında verilerin analizi için oluşturulan proses Görsel 1’de verilmiştir.



Görsel 3. Parametrelerin Optimizasyonu için Oluşturulan proses-2

2.3. Modelin Performansının Değerlendirilmesi

Rasgele orman modelinin başarımı pek çok ölçütle değerlendirilebilir. Bu çalışmada yaygın metriklerden determinasyon katsayısı (R^2), kök ortalama kare hatası (KOKH/RMSE) ve ortalama kare hatası (OKH/MSE) kullanılmıştır.

$$R^2 = \left[\frac{\sum (Y_p - \bar{Y}_p)(Y_o - \bar{Y}_o)}{\sqrt{\sum (Y_p - \bar{Y}_p)^2 \sum (Y_o - \bar{Y}_o)^2}} \right]^2 \quad (1)$$

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (Y_o - Y_p)^2} \quad (2)$$

$$OKH = KOKH^2 \quad (3)$$

Burada Y_o and Y_p sırasıyla ölçülen (gözlenen) ve tahmin edilen değerleri ifade eder; değişkenin üzerindeki çizgi ($\bar{}$) ise o değişkenin aritmetik ortalamasını gösterir [11].

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Araç türü tercihinde (bataryalı elektrikli araç ve şarj edilebilir hibrit elektrikli araç) oluşturulan rasgele orman modelinde kullanılan parametrelerin optimizasyonu sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Parametrelerin Optimizasyonu Sonuçları

Ağaç sayısı	120
Kriter	Gain_ratio
Maksimum derinlik	10

Rasgele orman modelinde fiyat tahmininde etkili olan faktörlerin ağırlıkları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Faktörler ve Ağırlıkları

Faktörler	Ağırlıkları
Araç markası (36 marka)	0.902
Model yılı	0.098

Rasgele orman (RO) modelinde test aşamasında performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan R^2 , KOKH ve OKH değerleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Rasgele Orman Modelinin Performans Değerleri

Model	Test Aşaması			
	R^2	KOKH	OKH	Doğruluk (%)
RO	0.825	0.295	0.087	87.22

Test aşamasındaki doğruluk tahminleri incelendiğinde, modelin %87,22 ile yüksek bir doğruluk elde ettiği görülmektedir. Performans ölçütlerinden biri olan OKH’nin 0’a yaklaştıkça tahmin başarısının arttığı bilinmektedir [11, 12]; bu çalışmada modelin OKH değeri 0,087 olup 0’a yakın seyretmektedir. Modellerin geçerliliğini değerlendirirken deneysel ve tahmin değerleri arasındaki korelasyon katsayısı (R^2) de kritik bir göstergedir; R^2 0 ile 1 arasında değişir ve 1’e yaklaştıkça tahmin doğruluğu artar [13, 14]. Çizelge 2’de, araba türünün tahmininde Rasgele Orman modeline ait R^2 değeri 0,825 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada Rasgele Orman için hesaplanan R^2 ’nin %82’nin üzerinde olması, önerilen modelin araba türüne ilişkin gerçek verilerdeki değişkenliğin en az %82’sini açıkladığını göstermektedir. Bu bulgular, araba türü tahmininde Rasgele Orman modelinin kullanılabilirliğini de desteklemektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, veri seti Kaggle veri bilimi ve makine öğrenimi platformundan temin edilmiş; model yılı, otomobil markası ve araç türü değişkenlerinden oluşturulmuştur. Ardından bu veriler kullanılarak araç türü, rasgele orman algoritmasıyla tahmin edilmiştir. Elde edilen performans göstergeleri—korelasyon katsayısı, kök ortalama kare hatası (RMSE), ortalama kare hatası (MSE) ve doğruluk—modelin başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

Araştırma, elektrikli ve hibrit araç satışı yapan firmalar ile bu alanda çalışma yürütecek araştırmacılar için yararlı bulgular sunmaktadır. Konuya ilişkin farklı modellerle yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır; bu tür çalışmaların artırılması literatüre anlamlı katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Abdul Qadir, S., Ahmad, F., Al-Wahedi, A. M. A. B., Iqbal, A., Ali, A. Navigating the Complex Realities of Electric Vehicle Adoption: A Comprehensive Study of Government Strategies, Policies, and Incentives, *Energy Strategy Reviews*, May, 53, 2024.
- [2] Horesh, N., Trinko, D. A., Quinn, J. C. Comparing Costs and Climate Impacts of Various Electric Vehicle Charging Systems Across the United States, *Nature Communications*, June, 15, 2024.
- [3] Ahmad, S., Chaveesuk, S., Chaiyasoonthorn, W. Impact of charging infrastructure on willingness to pay for EV: Mediating role of driving experience and behavior intentions, *Acta Psychologica (Amsterdam)*, April, 254, 2025.
- [4] Steren, A., Parag, Y., Teschner, N., Zemah-Shamir, S. Consumer preferences and willingness to pay for EV charging: Implications for incentives to promote off-peak charging and renewables integration, *Applied Energy*, August, 392, 2025
- [5] Šimaitis, J., Lupton, R., Vagg, C., Butnar, I. Battery electric vehicles show the lowest carbon footprints among passenger cars across 1.5–3.0 °C energy decarbonisation pathways, *Communications Earth & Environment*, June, 6, 2025.
- [6] Zhang, Y., Cao, Z., Zhang, C., Chen, Y. Life Cycle Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles Considering Different Vehicle Working Conditions and Battery Degradation Scenarios, *Energies*, August, 17,17, 2024.
- [7] Lu, Y., Liu, Q., Li, B., Jiang, Q., Li, Q. Energy mix-driven dynamic life cycle assessment on greenhouse gas emissions of passenger cars in China, *Journal of Cleaner Production*, August, 466, 2024.
- [8] Zaino, R., Ahmed, V., Alhammadi, A. M., Alghoush, M. Electric Vehicle Adoption: A Comprehensive Systematic Review of Technological, Environmental, Organizational and Policy Impacts, *World Electric Vehicle Journal*, August, 15,8, 2024.
- [9] Chen, J., Zhang, Z., Zhao, C., Zhang, S., Guo, W., Lu, C., Sun, X. Research on the Purchase Intention of Electric Vehicles Based on Customer Evaluation and Personal Information, *World Electric Vehicle Journal*, December, 15,1, 2024.
- [10] Naseri, H., Waygood, E. O. D., Wang, B., Patterson, Z. Interpretable Machine Learning Approach to Predicting Electric Vehicle Buying Decisions, *Transportation Research Record*, May, 2677,12, 2023.
- [11] Bardak, S., Bardak, T., Peker, H. Sözen, E., Çabuk, Y., Predicting Effects of Selected Impregnation Processes on The Observed Bending Strength of Wood, with Use of Data Mining Models, *BioResources*, 16, 3, 2021.

- [12] Gultepe, Y. A. Comparative Assessment on Air Pollution Estimation by Machine Learning Algorithms, European Journal of Science and Technology 16, 2019.
- [13] Ozsahin S, The Use of an Artificial Neural Network for Modeling the Moisture Absorption and Thickness Swelling of Oriented Strand Board, BioResources, 7, 2012.
- [14] Tiryaki, S., Bardak, S., Bardak, T. Experimental Investigation and Prediction of Bonding Strength of Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Bonded with Polyvinyl Acetate Adhesive, Journal of Adhesion Science and Technology, 29, 23, 2015.

ONLİNE ALIŞVERİŞTE KAMPANYA TERCİHLERİNİN BİRLİKTELİK ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ

Prof. Dr. Kinyas POLAT

Sinop Üniversitesi

kpolat@sinop.edu.tr-0000-0003-4574-1286

Prof. Dr. Selahattin BARDAK

Sinop Üniversitesi

sbardak@sinop.edu.tr-0000-0001-9724-4762

Prof. Dr. Timuçin BARDAK

Bartın Üniversitesi

timucinb@bartin.edu.tr- 0000-0002-1403-1049

ÖZET

Son yıllarda teknolojinin ve dijital platformların ivmelenmesiyle tüketiciler tek kanala bağlı kalmak yerine hibrit bir alışveriş davranışı sergiliyor: fiziksel mağazalar ürüne dokunma, anında teslim ve güven hissi sunarken; çevrimiçi kanallar zaman tasarrufu, hızlı fiyat kıyaslama ve kullanıcı yorumlarına erişimle karar sürecini kolaylaştırıyor. E-ticarete kampanyalar yalnızca fiyatı düşürmekle kalmıyor, aynı zamanda karar anını hızlandırıp ortalama sepet tutarını da artırıyor: kupon kodları ve sepette indirimler dönüşümü tetiklerken, belirli tutar üzeri (eşik) indirimler ve çoklu alım/paket-set fırsatları tamamlayıcı ürünleri birlikte satın almayı teşvik ediyor. Ücretsiz kargo “gizli maliyet” algısını kırıyor; hediyeli ürün ve ödül/puan mekanizmaları sadakati güçlendiriyor; ek ve faizsiz taksit seçenekleri bütçe planlamasını kolaylaştırıyor; flaş/yıldırım indirimleri ise zaman baskısı ve kıtlık hissi yaratarak anlık talebi satışa çeviriyor. Kısacası, doğru kampanya kurgusuyla fiziksel ve çevrimiçi kanallar birbirini tamamlayarak tüketiciye hem deneyim hem de fiyat avantajı sağlıyor.

Bu araştırmada, tüketicilerin çevrimiçi alışverişte tercih ettikleri kampanyalar birliktelik kuralı madenciliği ile ortaya konmuştur. Bu amaçla, birliktelik analizinde yaygın kullanılan yöntemlerden FP-Growth algoritması uygulanmış; söz konusu algoritma, geniş veri kümelerinde sık birlikte görülen öge kümelerini saptayarak aralarındaki anlamlı ilişki örüntülerini ortaya çıkarmada etkili olması nedeniyle tercih edilmiştir. Analiz için gerekli veriler, 11 maddeden oluşan bir anket formu aracılığıyla toplanmış ve 18 yaş ve üzeri 144 katılımcıya uygulanmıştır. Uygulama ve modelleme adımları RapidMiner yazılımı üzerinden yürütülmüş olup, bu yazılım birliktelik analizi çalışmalarında sıklıkla kullanılan araçlardan biridir. Birliktelik analizinde en düşük güven seviyesi 0.703 en yüksek güven seviyesi ise 1 olarak belirlenmiştir.

FP-Growth analizi sonucunda %70 üstü güvenirliliğe sahip 126 birliktelik kuralı belirlenmiştir. Bu kuralar çevrimiçi alışverişte hangi kampanya avantajlarının birlikte ortaya çıktığını ve belirli kampanya özelliklerinin hangi tercih kalıplarıyla daha güçlü bağ kurduğunu göstermektedir. Tüketicilerin online alışverişte kampanya tercihlerini araştıran çalışmalar sınır sayıdadır. Bu

alanda çalışmalar artırılarak tüketicilerin alışveriş davranışları hakkında daha çok bilgi sahibi olunabilir.

Anahtar Kelimeler : Birliktelik Analizi, FP-Growth Analizi, Online Alışveriş, Kampanya

DETERMINING CAMPAIGN PREFERENCES IN ONLINE SHOPPING WITH ASSOCIATION ANALYSIS

ABSTRACT

In recent years, with the acceleration of technology and digital platforms, consumers have adopted a hybrid shopping behavior rather than sticking to a single channel: brick-and-mortar stores provide the ability to physically examine products, immediate delivery, and a sense of trust, while online channels streamline decision-making by saving time, enabling rapid price comparisons, and offering access to user reviews. E-commerce promotions do more than lower prices; they also accelerate decision-making and raise average order value (AOV): coupon codes and in-cart discounts drive conversions, while threshold (spend-over) discounts and multi-buy/bundle-set offers encourage purchasing complementary products together. Free shipping dispels the perception of “hidden costs”; gift-with-purchase and reward/points mechanisms strengthen loyalty; extra and interest-free installment options simplify budgeting; and flash/lightning deals convert spur-of-the-moment demand into sales by creating time pressure and a sense of scarcity. In short, with the right campaign setup, physical and online channels complement each other, providing both experience and price advantages to the consumer.

In this research, the campaigns preferred by consumers in online shopping were revealed by association rule mining. For this purpose, the FP-Growth algorithm, one of the widely used methods in association analysis, was applied; the algorithm was preferred because it is effective in detecting frequently occurring clusters of items in large data sets and revealing meaningful relationship patterns between them. The data required for the analysis were collected through a questionnaire consisting of 11 items and applied to 144 participants aged 18 and over. The implementation and modeling steps were carried out using RapidMiner software, a frequently used tool in association analysis studies. The lowest confidence level in the association analysis was set at 0.703, and the highest was set at 1.

FP-Growth analysis identified 126 association rules with confidence levels above 70%. These rules demonstrate which campaign benefits occur together in online shopping and which preference patterns are most strongly associated with specific campaign features.

Studies investigating consumer preferences for online shopping campaigns are limited. More studies in this area could provide more insight into consumer shopping behavior.

Keywords: Association Analysis, FP-Growth Analysis, Online Shopping, Campaign

1. GİRİŞ

Günümüzde tüketiciler çevrim içi alışverişi yoğun biçimde tercih ediyor; kupon kodu, sepette/eşik indirim, ücretsiz kargo, çoklu alım/paket indirimi, hediye ürün, ödül/puan, BNPL (faizsiz taksit) ve flaş/yıldırım kampanyaları gibi araçlar satın alma niyetini belirgin artırıyor. Bu artışın temel psikolojik mekanizmaları zaman baskısı ve kıtlık algısıdır; sınırlı süre/sayı vurguları satın almayı tetikler [1-3]. Bununla birlikte, sahte/yanıltıcı geri sayım sayaçları gibi “karanlık desenler” kısa vadede talebi artırsa da tüketicide etik dışılık algısı ve kaçınma tepkileri doğurabilir [4].

Ücretsiz kargo politikaları özellikle etkili bir kaldıraçtır. Büyük ölçekli deneysel ve analitik çalışmalar, doğru belirlenmiş ücretsiz kargo eşığının hem ortalama sepet tutarını (AOV) hem de kârlılığı artırabildiğini; ancak eşik aşırı yükseldiğinde dönüşüm oranının zayıfladığını gösterir [5-6]. Ayrıca tüketicilerin kargo maliyetine duyarlılığı yüksektir; yüksek kargo ücreti algısı, sepet terkinin dramatik biçimde yükseltir.

Şimdi al sonra öde gibi faizsiz taksit çözümleri, alışveriş sepetini büyütür ve toplam harcamayı artırır; örneğin bir saha çalışması BNPL benimseyen müşterilerin ortalamada %6,42 daha fazla harcadığını bulmuştur [7]. Öte yandan, 2025’ten itibaren bazı pazarlarda şimdi sonra öde kredileri kredi skoruna yansıtılmaya başlanacağından (ör. FICO modeli), pazarlama kazanımları geri ödeme/temerrüt riski göstergeleriyle birlikte izlenmelidir [8].

Bu kampanyaların birlikte tercih edilme örüntülerini anlamak için birliktelik analizi uygundur. FP-Growth algoritması, kampanya öğeleri arasındaki sık görülen kombinasyonları destek, güven ve lift ölçütleriyle hızlıca çıkarır; pazarlamada “kupon + ücretsiz kargo eşığı”, “eşik indirim + set indirimi” gibi kural kümeleri, çapraz satış paketleri, sepet tamamlama ve promosyon demetlerinin tasarımında doğrudan kullanılır [9].

Yapılan bu çalışmada tüketicilerin online alışverişte kampanya tercihleri birliktelik analizi ile değerlendirilmiştir.

2. UYGULAMALAR

Yapılan çalışmada tüketicilerin online alışverişte kampanya tercihlerini belirlemek için veri madenciliği yöntemlerinden olan birliktelik analizi yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada birliktelik analizi yöntemlerinden ise FP-Growth analizinden yararlanılmıştır. FP-Growth analizinde kullanılacak verilerin elde edilmesi için 11 sorudan oluşan bir soru formu kullanılmıştır. Bu soru formu 18 yaş ve üzeri 144 kişiye uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan soru formu aşağıda verilmiştir.

1- Cinsiyetiniz?

- Kadın
- Erkek

2- Son 6 ayda alışveriş yaptınız mı?

- Evet

- Hayır

3- Yaş aralığınız?

- 18-35
- 35-55
- 55+

4- Eğitim durumunuz?

- İlköğretim-ortaöğretim
- Lise
- Ön lisans
- Lisans
- Yüksek lisans
- Doktora

5- Aylık hane geliriniz?

- < 20.000 TL
- 20.000-39.999 TL
- 40.000-59.999 TL
- 60.000-79.999 TL
- 80.000 TL ve üzeri

6- Yerleşim yeriniz?

- Büyükşehir merkezi
- İl merkezi
- İlçe
- Kırsal

7- Meslek grubunuz?

- Öğrenci
- Kamu
- Özel sektör
- Ev hanımı
- Emekli
- Diğer

8- Sipariş sıklığı?

- Haftada 1
- Ayda 2-3
- Ayda 1
- 2-3 ayda 1

9- Ödeme yönteminiz?

- Kredi kartı
- Banka kartı
- Kapıda ödeme
- Dijital cüzdan
- Havale-EFT

10- En çok alışveriş yaptığınız kategori

- Elektronik
- Moda
- Ev-yaşam
- Giyim
- Kişisel bakım

11- Son 3 ayda hangi kampanya türüyle alışveriş yaptınız?

- Kupon kodu
- Sepette indirim
- Ücretsiz kargo
- Eşik indirim (TL ve üzeri)
- Çoklu al: 1 al 1 bedava/3 al 2 öde
- Paket/set indirim
- Hediye ürün
- Ödül
- Ek ve faizsiz taksit
- Flaş/yıldırım indirimi (zaman sınırlı)

RapidMiner gibi gelişmiş veri analitiği ve makine öğrenimi platformları, bu tür analizlerin uygulamasını kolaylaştırır. Kullanıcı dostu arayüzü sayesinde karmaşık veri işleme adımları sadeleştirilir ve analizler hızlı biçimde yürütülebilir [10].

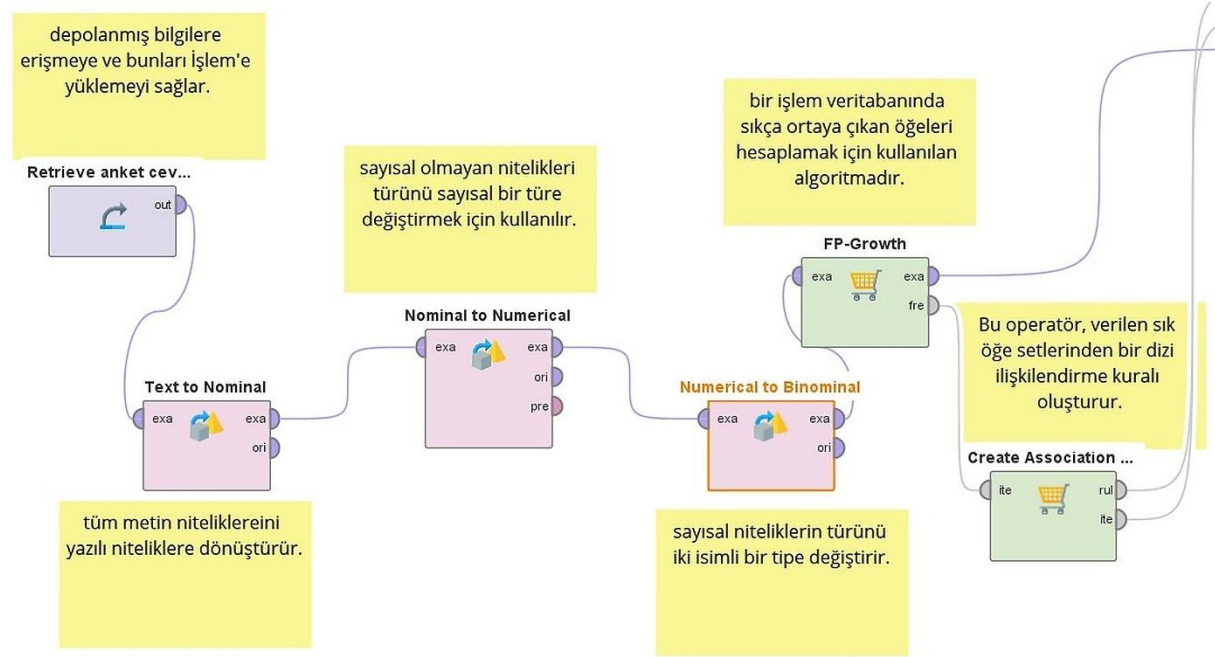
Yazılım, her biri belirli bir görevi üstlenen “operatörler” ile çalışır. Bu operatörler görsel bir iş akışında birbirine bağlanarak kapsamlı veri süreçlerinin kurulmasını sağlar; veri hazırlama, temizleme, model kurma ve model değerlendirme aşamalarında farklı operatörler kullanılabilir [11].

FP-Growth için özel “FP-Growth” operatörü, veri kümesindeki sık öge kümelerini tespit eder ve sonuçların yorumlanmasını kolaylaştırır. Operatör; destek (support), güven (confidence) ve kaldırma (lift) gibi temel ölçütleri sunarak daha derinlemesine bir analiz yapılmasına imkân verir [12].

Bu operatör-temelli yaklaşım, analist ve araştırmacıların hem algoritmaları hem de veri işleme adımlarını ayrıntılı şekilde kontrol etmesini mümkün kılar. Süreçler gereksinimlere göre

özelleştirilebilir, farklı kaynaklardan gelen veriler tek bir akışta bütünleştirilebilir. Böylece FP-Growth gibi algoritmalar daha esnek ve hızlı biçimde uygulanabilir [13].

Sonuç olarak, RapidMiner ile büyük veri kümelerinden anlamlı içgörüler üretmek ve iş süreçlerini iyileştirmek mümkündür. FP-Growth'un doğru ve verimli kullanımı; pazarlama stratejileri, sepet analizi ve öneri sistemleri gibi alanlarda belirgin avantajlar sağlar [14]. FP-Growth analizinde kullanılan proses Görsel 1'de gösterilmiştir.



Görsel 1. FP-Growth algoritmasında birliktelik analizi için kurulan proses

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere her operatör belli bir görevi bulunmaktadır. Bu operatörleri birbirini bağlayarak suretiyle birliktelik analizinde kullanacağımız model kurulmuştur.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Tüketicilerin online alışveriş de kampanya tercih sebeplerini belirlemek için yapılan FP-Growth analizi sonucu elde edilen %70 üstü güvenilirliğe sahip 126 kural belirlenmiştir. Bu birliktelik kurallarından %80 ve üstü güvenilirliğe sahip olanlar aşağıda verilmiştir.

[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Aylık hane geliri = 20.000–39.999 TL] --> [Yaş aralığı = 18-35] (confidence: 0.703)

[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yaş aralığı = 35-55] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.710)

[Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Yaş aralığı = 35-55] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.722)

[Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Yaş aralığı = 35-55] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.722)

[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Ödeme yöntemi = Kredi kartı] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.734)

[Ödeme yöntemi = Kredi kartı] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.736)

[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yerleşim yeri = İl merkezi, Cinsiyet = Erkek] --> [Ödeme yöntemi = Kredi kartı] (confidence: 0.738)

[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Yaş aralığı = 35-55] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.743)
[Yerleşim yeri = İl merkezi, Cinsiyet = Erkek] --> [Ödeme yöntemi = Kredi kartı] (confidence: 0.761)
[Sipariş Sıklığı = 2-3 ayda 1] --> [En çok alışveriş yaptığınız kategori = Ev-Yaşam] (confidence: 0.762)
[Yaş aralığı = 35-55, Meslek grubu = Kamu] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.763)
[Yaş aralığı = 35-55, Meslek grubu = Kamu, Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yerleşim yeri = İl merkezi, Eğitim durumu = Lisans, Ödeme yöntemi = Havale-EFT] --> [Son 3 ayda tercih ettiğiniz kampanya türü = Kupon kodu] (confidence: 0.763)
[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yaş aralığı = 35-55, Meslek grubu = Kamu] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.763)
[Meslek grubu = Öğrenci] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.765)
[Meslek grubu = Öğrenci] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.765)
[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Meslek grubu = Öğrenci] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.765)
[Meslek grubu = Öğrenci, Eğitim durumu = Ön Lisans, Yerleşim yeri = İl merkezi, Yaş aralığı = 18-35] --> [Son 3 ayda tercih ettiğiniz kampanya türü = Flash/Yıldırım indirim (zaman sınırlı)] (confidence: 0.765)
[Yaş aralığı = 18-35, Meslek grubu = Öğrenci] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.765)
[Meslek grubu = Öğrenci] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yerleşim yeri = İl merkezi, Yaş aralığı = 18-35] (confidence: 0.765)
[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Meslek grubu = Öğrenci] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi, Yaş aralığı = 18-35] (confidence: 0.765)
[Yaş aralığı = 18-35, Meslek grubu = Öğrenci] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.765)
[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yaş aralığı = 18-35, Meslek grubu = Öğrenci] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.765)
[Cinsiyet = Erkek, Eğitim durumu = Lisans, En çok alışveriş yaptığınız kategori = Elektronik Meslek grubu = Kamu, Yerleşim yeri = İl merkezi] --> [Son 3 ayda tercih ettiğiniz kampanya türü = Ek ve faizsiz taksit] (confidence: 0.778)
[Meslek grubu = Kamu] --> [Ödeme yöntemi = Kredi kartı] (confidence: 0.778)
[Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.778)
[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Meslek grubu = Kamu] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.778)
[Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Ödeme yöntemi = Kredi kartı] (confidence: 0.778)
[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Meslek grubu = Kamu] --> [Ödeme yöntemi = Kredi kartı] (confidence: 0.778)
[Cinsiyet = Erkek, Ödeme yöntemi = Kredi kartı] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.778)
[Aylık hane geliri = 20.000–39.999 TL] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 0.787)
[Eğitim durumu = Lisans] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.789)
[Eğitim durumu = Lisans] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.789)

[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Eğitim durumu = Lisans] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.789)

[Yaş aralığı = 35-55, Meslek grubu = Kamu] --> [Ödeme yöntemi = Kredi kartı] (confidence: 0.789)

[Yaş aralığı = 35-55, Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Ödeme yöntemi = Kredi kartı] (confidence: 0.789)

[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yaş aralığı = 35-55, Meslek grubu = Kamu] --> [Ödeme yöntemi = Kredi kartı] (confidence: 0.789)

[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Cinsiyet = Erkek, Ödeme yöntemi = Kredi kartı] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.795)

[Yerleşim yeri = İl merkezi, Meslek grubu = Kamu] --> [Ödeme yöntemi = Kredi kartı] (confidence: 0.800)

[Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Meslek grubu = Kamu] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.800)

[Yerleşim yeri = İl merkezi, Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Ödeme yöntemi = Kredi kartı] (confidence: 0.800)

[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yerleşim yeri = İl merkezi, Meslek grubu = Kamu] --> [Ödeme yöntemi = Kredi kartı] (confidence: 0.800)

[Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.800)

[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Meslek grubu = Kamu] --> [Yerleşim yeri = İl merkezi] (confidence: 0.800)

[Cinsiyet = Erkek] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 0.818)

[Cinsiyet = Kadın, Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yaş aralığı = 18-35, Eğitim durumu = Lisans, Sipariş sıklığı = Ayda 2-3, En çok alışveriş yaptığınız kategori = Moda] --> [Son 3 ayda tercih ettiğiniz kampanya türü = Hediye ürün] (confidence: 0.829)

[Yerleşim yeri = İl merkezi, Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yaş aralığı = 35-55] (confidence: 0.829)

[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yerleşim yeri = İl merkezi, Meslek grubu = Kamu] --> [Yaş aralığı = 35-55] (confidence: 0.829)

[Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Yaş aralığı = 35-55] --> [Meslek grubu = Kamu] (confidence: 0.833)

[Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Yaş aralığı = 35-55] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Meslek grubu = Kamu] (confidence: 0.833)

[Cinsiyet = Kadın, Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Hayır, Yaş aralığı=55+, Meslek grubu=Ev hanımı] --> [Son 3 ayda tercih ettiğiniz kampanya türü = ücretsiz Kargo] (confidence: 0.836)

[Yerleşim yeri = İl merkezi, Cinsiyet = Erkek, Yaş aralığı= 35-55, Eğitim durumu=Doktora, Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Ödeme Yöntemi=Kredi kartı] --> [Son 3 ayda tercih ettiğiniz kampanya türü = Kupon kodu] (confidence: 0.837)

[Yerleşim yeri = İl merkezi, Yaş aralığı = 18-35] --> [Meslek grubu = Öğrenci] (confidence: 0.839)

[Yerleşim yeri = İl merkezi, Yaş aralığı = 18-35, Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Eğitim durumu= Lisans, Meslek grubu = Öğrenci] --> [Son 3 ayda tercih ettiğiniz kampanya türü = sepette indirim] (confidence: 0.839)

[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yerleşim yeri = İl merkezi, Yaş aralığı = 18-35] --> [Meslek grubu = Öğrenci] (confidence: 0.839)

[Meslek grubu = Kamu] --> [Yaş aralığı = 35-55] (confidence: 0.844)

[Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yaş aralığı = 35-55] (confidence: 0.844)

- [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Meslek grubu = Kamu] --> [Yaş aralığı = 35-55] (confidence: 0.844)
- [Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Meslek grubu = Kamu] --> [Yaş aralığı = 35-55] (confidence: 0.857)
- [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Yaş aralığı = 35-55] --> [Meslek grubu = Kamu] (confidence: 0.857)
- [Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yaş aralığı = 35-55] (confidence: 0.857)
- [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Meslek grubu = Kamu] --> [Yaş aralığı = 35-55] (confidence: 0.857)
- [Sipariş Sıklığı = 2-3 ayda 1, Yaş aralığı= 55+, En çok alışveriş yaptığınız kategori = Ev-Yaşam] --> [Son 3 ayda tercih ettiğiniz kampanya türü = Ek ve faizsiz taksit] (confidence: 0.865)
- [Cinsiyet = Erkek, Ödeme yöntemi = Kredi kartı] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 0.867)
- [Eğitim durumu = Doktora] --> [Ödeme yöntemi = Kredi kartı] (confidence: 0.871)
- [Eğitim durumu = Doktora] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Ödeme yöntemi = Kredi kartı] (confidence: 0.871)
- [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Eğitim durumu = Doktora] --> [Ödeme yöntemi = Kredi kartı] (confidence: 0.871)
- [Yerleşim yeri = İl merkezi] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 0.876)
- [Cinsiyet = Erkek, Yaş aralığı = 35-55] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 0.882)
- [Yerleşim yeri = İl merkezi, Cinsiyet = Erkek, Ödeme yöntemi = Kredi kartı] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 0.886)
- [Yerleşim yeri = İl merkezi, Ödeme yöntemi = Kredi kartı] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 0.887)
- [Ödeme yöntemi = Kredi kartı] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 0.889)
- [Eğitim durumu = Doktora] --> [Meslek grubu = Kamu] (confidence: 0.903)
- [Eğitim durumu = Doktora] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Meslek grubu = Kamu] (confidence: 0.903)
- [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Eğitim durumu = Doktora] --> [Meslek grubu = Kamu] (confidence: 0.903)
- [Yaş aralığı = 35-55, Meslek Grubu = Emekli, Aylık hane geliri = <20.000 TL] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Hayır] (confidence: 0.912)
- [Yerleşim yeri = İl merkezi, Cinsiyet = Erkek] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 0.913)
- [En çok alışveriş yaptığınız kategori = Giyim] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 0.933)
- [Meslek grubu = Özel sektör, Eğitim durumu= Lise, Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] --> [Son 3 ayda tercih ettiğiniz kampanya türü = sepette indirim] (confidence: 0.939)
- [Yaş aralığı = 35-55, Cinsiyet = Kadın] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 0.941)
- [Cinsiyet= Kadın, Yaş aralığı= 18-35, Yerleşim yeri = İl merkezi, En çok alışveriş yaptığınız kategori=Kişisel bakım] --> [Son 3 ayda tercih ettiğiniz kampanya türü = Paket/Set indirim] (confidence: 0.957)
- [Sipariş Sıklığı = Ayda 1] --> [Cinsiyet = Erkek] (confidence: 0.964)

[Sipariş Sıklığı = Ayda 1] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Cinsiyet = Erkek] (confidence: 0.964)
[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Sipariş Sıklığı = Ayda 1] --> [Cinsiyet = Erkek] (confidence: 0.964)
[Yerleşim yeri = Büyükşehir merkezi] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 0.966)
[En çok alışveriş yaptığınız kategori = Elektronik] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 0.967)
[En çok alışveriş yaptığınız kategori = Elektronik] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Cinsiyet = Erkek] (confidence: 0.967)
[Cinsiyet = Erkek, En çok alışveriş yaptığınız kategori = Elektronik] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 0.967)
[Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Yaş aralığı = 35-55] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 0.972)
[Sipariş Sıklığı = Ayda 2-3] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)
[Yaş aralığı = 18-35] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)
[Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)
[Eğitim durumu = Lisans] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)
[Meslek grubu = Öğrenci] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)
[Eğitim durumu = Doktora] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)
[Cinsiyet = Kadın, Sipariş Sıklığı = 2-3 ayda 1, Eğitim durumu İlköğretim-ortaöğretim, meslek grubu = Ev hanımı] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Hayır] (confidence: 1.000)
[Aylık hane geliri = 80000 TL ve üzeri] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)
[En çok alışveriş yaptığınız kategori = Elektronik] --> [Cinsiyet = Erkek] (confidence: 1.000)
[Meslek grubu = Öğrenci] --> [Yaş aralığı = 18-35] (confidence: 1.000)
[Yerleşim yeri = İl merkezi, Sipariş Sıklığı = Ayda 2-3] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)
[Yerleşim yeri = İl merkezi, Yaş aralığı = 18-35] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)
[Yerleşim yeri = İl merkezi, Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)
[Yerleşim yeri = İl merkezi, Eğitim durumu = Lisans] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)
[Yerleşim yeri = İl merkezi, Meslek grubu = Öğrenci] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)
[Cinsiyet = Erkek, Yaş aralığı = 18-35] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)
[Cinsiyet = Erkek, Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)
[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, En çok alışveriş yaptığınız kategori = Elektronik] --> [Cinsiyet = Erkek] (confidence: 1.000)
[Cinsiyet = Erkek, Sipariş Sıklığı = Ayda 1] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)
[Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Sipariş Sıklığı = Ayda 2-3] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)

[Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)

[Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Eğitim durumu = Doktora] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)

[Yaş aralığı = 35-55, Sipariş Sıklığı = Ayda 2-3] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)

[Yaş aralığı = 35-55, Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)

[Cinsiyet = Kadın, Sipariş Sıklığı = Ayda 2-3] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)

[Yaş aralığı = 18-35, Aylık hane geliri = 20.000–39.999 TL] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)

[Meslek grubu = Öğrenci] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yaş aralığı = 18-35] (confidence: 1.000)

[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Meslek grubu = Öğrenci] --> [Yaş aralığı = 18-35] (confidence: 1.000)

[Yaş aralığı = 18-35, Meslek grubu = Öğrenci] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)

[Meslek grubu = Kamu, Eğitim durumu = Doktora] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)

[Yerleşim yeri = İl merkezi, Meslek grubu = Öğrenci] --> [Yaş aralığı = 18-35] (confidence: 1.000)

[Yerleşim yeri = İl merkezi, Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Yaş aralığı = 35-55] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)

[Yerleşim yeri = İl merkezi, Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)

[Yerleşim yeri = İl merkezi, Yaş aralığı = 35-55, Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)

[Yerleşim yeri = İl merkezi, Meslek grubu = Öğrenci] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yaş aralığı = 18-35] (confidence: 1.000)

[Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet, Yerleşim yeri = İl merkezi, Meslek grubu = Öğrenci] --> [Yaş aralığı = 18-35] (confidence: 1.000)

[Yerleşim yeri = İl merkezi, Yaş aralığı = 18-35, Meslek grubu = Öğrenci] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)

[Ödeme yöntemi = Kredi kartı, Yaş aralığı = 35-55, Meslek grubu = Kamu] --> [Son 6 ayda online alışveriş yaptınız mı = Evet] (confidence: 1.000)

Yukarıda verilen birliktelik kurallarından bazılarını açıklayacak olursak;

% 76.3 güven seviyesi ile yaş aralığı 35-55, meslek grubu kamu, son 6 ayda online alışveriş yapan, yerleşim yeri İl merkezi, eğitim durumu Lisans olan kişilerin ve ödeme yöntemi Havale-EFT olan kişilerin son 3 ayda tercih ettiği kampanya türünün kupon kodu olduğu belirlenmiştir.

% 76.5 güven ile melek grubu öğrenci, eğitim durumu Ön Lisans, yerleşim yeri İl merkezi ve yaş aralığı 18-35 olan kişilerin son 3 ayda tercih ettiği kampanya türünün Flash/yıldırım indirim olduğu tespit edilmiştir.

% 77.8 güven seviyesi ile cinsiyeti erkek, eğitim durumu Lisans, en çok alışveriş yaptığı kategori elektronik, meslek grubu kamu ve yerleşim yeri İl merkezi olanların son 3 ayda terci ettiği kampanya türünün ek ve faizsiz taksit olduğu belirlenmiştir.

% 82.9 güven ile cinsiyeti kadın, son 6 ayda online alışveriş yapan, yaş aralığı 18-35, eğitim durumu Lisans, sipariş sıklığı ayda 2-3 ve en çok alışveriş yaptığı kategori moda olan kişilerin son 3 ayda tercih ettiği kampanya türü hediye ürün olduğunu söylemişlerdir.

% 83.6 güvenle cinsiyeti kadın, son 6 ayda online alışveriş yapmayan, yaş aralığı 55 ve üstü olan ve meslek grubu ev hanımı olan kişilerin son 3 ayda tercih ettiği kampanya türünün ücretsiz kargo olduğu belirlenmiştir.

% 83.7 güven seviyesi ile yerleşim yeri il merkezi, cinsiyeti erkek, yaş aralığı 35-55, eğitim durumu Doktora, son 6 ayda online alışveriş yapan ve ödeme yöntemi kredi kartı olanların son 3 ayda tercih ettiği kampanya türünün kupon kodu olduğu tespit edilmiştir.

% 83.9 güvenle yerleşim yeri İl merkezi, yaş aralığı 18-35, son 6 ayda online alışveriş yapan, eğitim durumu Lisans ve meslek grubu öğrenci olan kişilerin son 3 ayda tercih ettiği kampanya türünün sepette indirim olduğunu söylemişlerdir.

% 86.5 güven seviyesi ile sipariş sıklığı 2-3 ayda 1, yaş aralığı 55 ve üstü ve en çok alışveriş yaptığı kategori ev-yaşam olan kişilerin son 3 ayda tercih ettiği kampanya türünün ek ve faizsiz taksit olduğu belirlenmiştir.

% 87.1 güven ile son 6 ayda online alışveriş yapan ve eğitim durumu Doktora olanların ödeme yönteminin kredi kartı olduğu tespit edilmiştir.

% 91.2 güven seviyesi ile yaş aralığı 35-55, meslek grubu emekli ve aylık hane geliri <20.000 TL olan kişilerin son 6 ayda içerisinde online alışveriş yapmadıkları belirlenmiştir.

% 93.9 güven ile meslek grubu özel sektör, eğitim durumu Lise ve son 6 ay içerisinde online alışveriş yapan kişilerin son 3 ayda tercih ettiği kampanya türü sepette indirim olduğunu söylemişlerdir.

% 95.7 güven ile cinsiyeti kadın, yaş aralığı 18-35, yerleşim yeri İl merkezi ve en çok alışveriş yaptığı kategori kişisel bakım olan kişilerin son 3 ayda tercih ettikleri kampanya türünün paket/set indirim olduğu tespit edilmiştir.

% 100 güven seviyesi ile cinsiyeti kadın, sipariş sıklığı 2-3 ayda 1, eğitim durumu İlköğretim-Ortaöğretim ve meslek grubu ev hanımı olan kişilerin son 6 ayda alışveriş yapmadıkları belirlenmiştir.

% 100 güvenle aylık hane geliri 80000 TL ve üzeri olan kişilerin son 6 ay içerisinde online alışveriş yaptıkları tespit edilmiştir.

% 100 güven seviyesi ile en çok alışveriş yaptığı kategori elektronik olan kişilerin cinsiyetlerinin erkek olduğu belirlenmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, tüketicilerin online alışverişte tercih ettikleri kampanya türlerinin belirlenebilmesi amacıyla, birliktelik analizlerinden biri olan FP-Growth algoritması kullanılmıştır. Analiz sonucunda, %70'in üzerinde güvenilirliğe sahip 126 adet birliktelik kuralı elde edilmiştir. Elde edilen bu kurallar sayesinde, çevrim içi satış yapan işletmeler hem kârlılıklarını artırabilir hem de sundukları ürünlerin kalitesini geliştirebilir. Ayrıca, tüketicilere dair daha kapsamlı bilgilere ulaşma imkânı da sağlanabilir. Pazarlama alanında yapılan birliktelik analizi çalışmalarının sayısı oldukça sınırlıdır. Bu alandaki araştırmaların artırılması, firmalar açısından değerli bilgiler sunabilir. Aynı zamanda, gelecekte birliktelik analizi üzerine çalışma yapacak araştırmacılar için de önemli bir kaynak oluşturabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Ngo, T. T. A., Nguyen, H. L. T., Nguyen, H. P., Mai, H. T. A., Mai, T. H. T., Hoang, P. L. A comprehensive study on factors influencing online impulse buying behavior: Evidence from Shopee video platform, *Heliyon*, 10, 15, 2024.
- [2] Khetarpal, M., Singh, S. "Limited Time Offer": Impact of time scarcity messages on consumer's impulse purchase, *Journal of Promotion Management*, 30, 2, 2024.
- [3] Silalahi, A. D. K., Phuong, D. T. T., Tedjakusuma, A. P., Eunike, I. J., Riantama, D. How does time pressure shape impulsive buying behavior? Hedonic vs. utilitarian values emerges as a key driver on E-commerce platforms, *Digital Business*, 5, 2, 2025.
- [4] Tiemessen, J., Schraffenberger, H., Acar, G. The Time is Ticking: The Effect of Limited Time Discounts on Consumers' Buying Behavior and Experience, *CHI EA '23: Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, April, 2023.
- [5] Han, S., Chen, S., Yang, K., Li, H., Yang, F., Luo, Z. Free shipping policy for imported cross-border e-commerce platforms, *Annals of Operations Research*, April, 335, 3, 2024.
- [6] Luo, X., Wang, L., Wu, Q., Moriguchi, T. From Stopping to Shopping: A Field Experiment on Free Return and Free Shipping Retargeting Policies in Online Retail Operations, *Manufacturing & Service Operations Management*, July, 27, 4, 2025.
- [7] Kumar, A., Salo, J., Bezawada, R. The effects of buy now, pay later (BNPL) on customers' online purchase behavior, *Journal of Retailing*, December, 100, 4, 2024.
- [8] Lewis, C. Buy Now, Pay Later loans will soon affect some credit scores, *AP News*, June 26, 2025.
- [9] Wang, J., Jiang, X., He, Y., Guan, B., Deng, C. Exploration of association rule mining between lost-linking features and modes of loan customers using the FP-growth algorithm for risk warning strategies, *PLOS ONE*, September, 20, 9, 2025.
- [10] Mierswa, I., Wurst, M., Klinkenberg, R., Scholz, M., & Euler, T. (2006). YALE: Rapid prototyping for complex data mining tasks. *Proceedings of the 12th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 935–940.

- [11] Kotu, V., & Deshpande, B. (2014). *Predictive analytics and data mining: Concepts and practice with RapidMiner*. Morgan Kaufmann.
- [12] Tan, P. N., Steinbach, M., & Kumar, V. (2018). *Introduction to data mining* (2nd ed.). Pearson.
- [13] Wirth, R., & Hipp, J. (2000). CRISP-DM: Towards a standard process model for data mining. *Proceedings of the 4th International Conference on the Practical Applications of Knowledge Discovery and Data Mining*, 29–39.
- [14] Agrawal, R., & Srikant, R. (1994). Fast algorithms for mining association rules. *Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases*, 487–499.

POMOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF AMASYA APPLE (MALUS DOMESTICA) GENOTYPES GROWN IN NIĞDE-TURKEY

Osman KURUDERE

University of Selçuk, Institute of Science, Konya, Türkiye,
o.kurudere843@gmail.com, 0009-0001-7188-3395

Research Assist. Merve KARAKOYUN MUTLUAY

Bilecik Şeyh Edebali University, Faculty of Agriculture and Natural Sciences, Department of
Horticulture, Bilecik, Türkiye,
merve.karakoyun@bilecik.edu.tr, 0000-0001-7438-4738

Assoc. Prof. Dr. Şeyma ARIKAN

Selcuk University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Konya, Türkiye,
arikan@selcuk.edu.tr, 0000-0002-4328-0263

Prof. Dr. Muzaffer İPEK

Selcuk University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, Konya, Türkiye,
mipek@selcuk.edu.tr, 0000-0002-5773-7236

ABSTRACT

This study was conducted to determine the phenological and pomological characteristics of Amasya apple (*Malus domestica*) genotypes grown under the ecological conditions of the Çamardı district of Niğde province. This study was conducted between 2022 and 2023 on 10 genotypes of the Amasya variety, which has been cultivated in the region for a long time. Morphological, phenological, pomological, and biochemical characteristics of the genotypes were evaluated in the study. The climate data for Niğde province indicate a continental climate characterized by hot, dry summers and cold winters. Phenological observations indicated that bud break occurred between March 19 and 25, and full bloom occurred between April 1 and 16. The first harvest was conducted between October 9 and 12, and the last harvest was conducted between October 18 and 30. Significant differences were identified among the genotypes in terms of fruit weight, length, firmness, and biochemical composition. Fruit weight ranged from 86.18 g (Amasya-05) to 143.40 g (Amasya-01). The highest soluble solids content (13.65%) was found in the Amasya-03 genotype, while the lowest (10.20%) was found in the Amasya-05 genotype. Fruit pH values ranged from 3.98 to 4.37, and acidity ranged from 0.13 to 0.27%. Amasya-01 and Amasya-02 genotypes stood out in terms of fruit length, Amasya-04 in terms of fruit firmness, and Amasya-03 with its high TSS value. The results indicate significant differences among Amasya apple genotypes and suggest that future studies will contribute to the evaluation of these varieties.

Keywords: Apple genotypes, phenology, pomology, selection

INTRODUCTION

Anatolia is considered the origin of numerous horticultural plants (Kaya and Balta, 2013; Doğan et al., 2014; Gundogdu et al., 2014; Eydurán et al., 2015). Turkey contains a multitude of wild and indigenous apple genetic resources. The abundance of species presents various use chances for fruit cultivators (Kaya and Balta, 2013). Apple (*Malus domestica*) is among the most extensively cultivated and varied fruit species globally. Its resilience to both hot and cold climates enable a broad ecological distribution (Ferree et al., 2003; OECD 2022).

Moreover, the extensive utilization of apples in their fresh, dried, and processed forms renders them a strategically significant agricultural commodity at both local and global levels. Critical elements facilitating the global production and consumption of apples encompass their substantial nutritional value, sensory and medicinal attributes, ecological versatility, economic profitability, and technical benefits (Ferree et al., 2003; OECD 2022). Deciduous fruit species exhibit substantial production area and volume, with a considerable fraction consumed fresh; over 9 million tons are traded globally, and over 3 million liters of apple juice are exported (Pereira et al., 2009).

Apple cultivation depends not only on production volume but also on the selection of high-quality, market-appropriate varieties. Varieties in demand in the global market include Fuji, Gala, Granny Smith, Scarlet Spur, Starkspur Golden Delicious, Starkrimson Delicious, Golden Reinders, Pink Lady, and Modi. Export potential can be increased through contract production (Barrit 1992; Küden et al., 1995). However, the abundance of varieties cultivated in Turkey and the lack of standardization limit the availability of products suitable for export. Therefore, identifying apple varieties with high commercial value, productivity, and quality standards plays a critical role in the continuity and development of production. While Turkey offers a remarkable diversity as a hub for apple genealogy, Niğde province is one of the important centers of apple cultivation in Turkey, particularly known for its 'Amasya' apple. Selection and breeding efforts in this region have resulted in the development of varieties with distinct characteristics, contributing to the conservation of genetic resources.

Phenological and pomological characteristics are essential factors for assessing apple cultivars. Phenological traits (blooming and fruit ripening duration) are significant for production and climate adaptability in fruit cultivation, while pomological qualities (fruit form, weight, color, and flavor) define quality and marketability. Consequently, analyzing the phenological and pomological traits of chosen 'Amasya' apple varieties will aid in the conservation of local genotypes and the identification of premium varieties appropriate for the market.

Consequently, selection studies are essential for maximizing the potential of significant local apple types. These selection studies are crucial because of the significant economic worth of apples in developing nations. Selection studies, coupled with the ensuing registration and standardization of varieties, will ascertain the commercial value of these genotypes.

This study aims to determine the phenological and pomological traits of various 'Amasya' apple cultivars identified in the Niğde region. The findings are anticipated to enhance the scientific literature and promote the sustainability of apple agriculture while augmenting its commercial viability.

MATERIAL AND METHOD

The plant material used in this study comprised varieties of Amasya, farmed in the Çamardı region of Niğde province for several years between 2022 and 2023. Analysis of the average meteorological data for Niğde province from 1939 to 2021, based on records from the General Directorate of State Meteorology, revealed that the highest temperatures, surpassing 30°C, occurred in July and August, while the lowest temperatures fell below -1 °C in January and February (Table 1).

During the years specified in Table 1, the maximum temperature recorded in Niğde was 39.7 °C, while the minimum was -25.6°C. In January, February, March, April, and December, over 10 days of precipitation were documented, while in July and August, fewer than 2 days were noted. In terms of long-term precipitation, the peak occurred in May at 48.2 kg/m², and the minimum was recorded in July at 5.5 kg/m². The mean precipitation was calculated to be 342.8 kg/m² (Anonymous 2025).

Table 1. Average meteorological values of Niğde province between 1935-2021

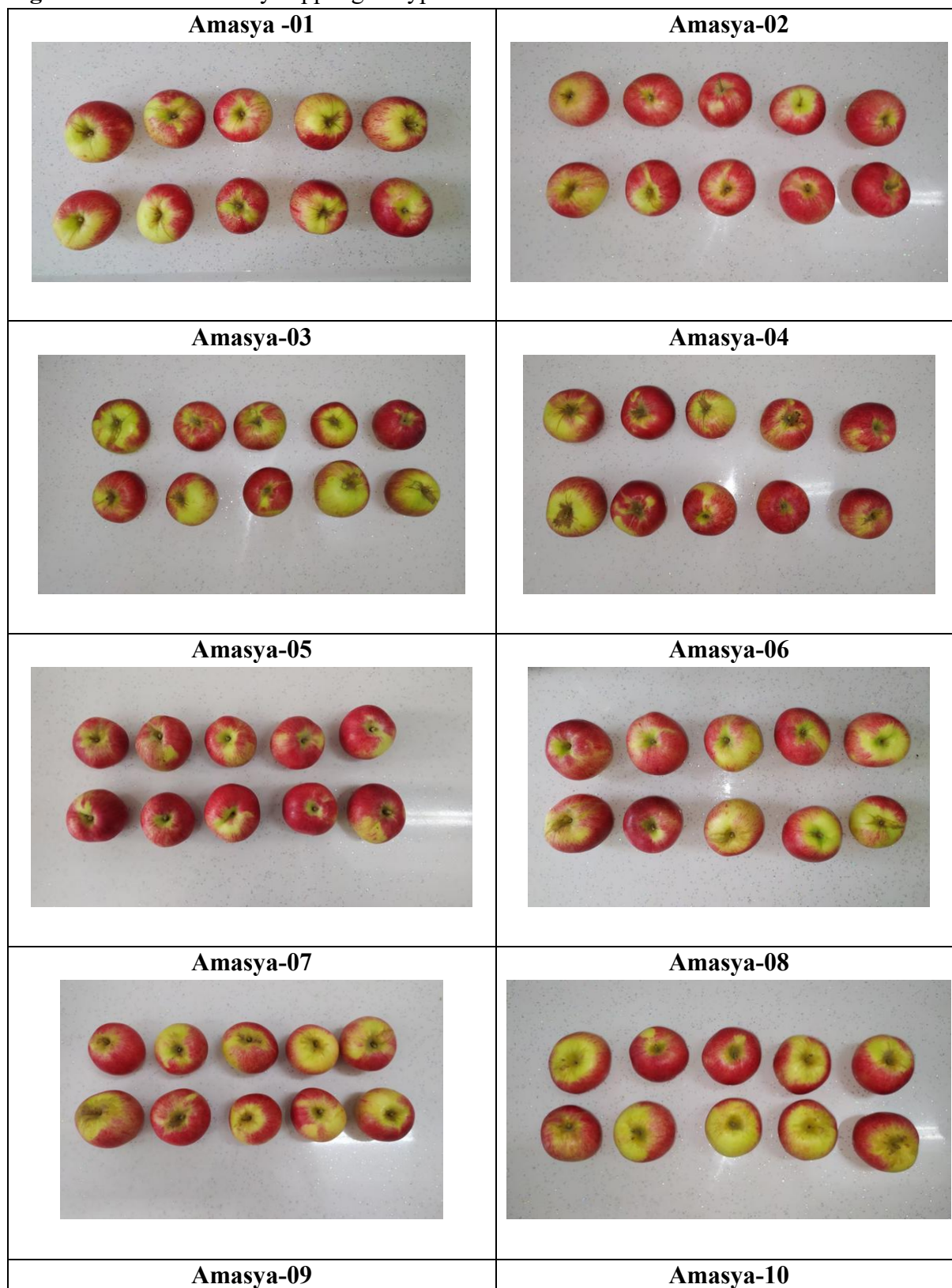
	Average Temperature (°C)	Average Highest Temperature (°C)	Average Lowest Temperature (°C)	Average Number of Rainy Days	Monthly Total Rainfall Average (mm)	Highest Temperature (°C)	Lowest Temperature (°C)
January	-0.2	4,9	-4,5	10,82	35,6	19,9	-25,6
February	1.2	6,5	-3,4	10,22	32,8	20,5	-24,2
March	5.1	11	-0,2	11,39	36,3	26,4	-23,9
April	10,7	16,8	4,5	11,04	41,1	30,8	-6,9
May	15,1	21,5	8,4	11,79	48,2	33	-2,6
June	19,2	25,9	12	6,9	28,5	35,7	3,5
July	22,5	29,5	14,9	1,84	5,5	38,5	6,6
August	22,4	29,7	14,6	1,52	6,7	39,7	6,5
September	18,2	25,7	10,5	2,91	10,6	37,3	-0,7
October	12,6	19,7	6	6,33	25,6	32	-6,2
November	6,6	13	1,2	7,41	31	25	-19,5
December	1,9	7,2	-2,4	10,62	40,9	21,2	-24
Yearly	11,3	17,6	5,1	92,8	342,8	39,7	-25,6

To identify the superior Amasya apple genotypes grown in the Çamardı district, a preliminary study was conducted in 2022 and a genotyping study was conducted in 2023, evaluating 10 promising varieties (Figure 1). Each plant selected in this selection study was considered a genotype.

For each genotype, morphological observations included tree age (years), crown height (m), habitus, developmental status, and alternate bearing status. Pomological analysis was performed on 10 randomly selected fruits from each variety. Average fruit weight (g), fruit diameter and length (cm), fruit flesh firmness (kg/cm²), L*, a*, b*, chroma (c*), and shade angle (h) were measured for fruit color. Total soluble solids content (TSS), titratable acidity, and pH of the juice were determined. Phenological observation dates included bud swelling, first flowering, the period when 70–80% of the flower buds opened, full bloom, the end of flowering, the first harvest, and the final harvest. The obtained data, The Duncan multiple comparison test

was applied at a 5% significance level to compare the obtained data. The SPSS 23.0 program was used for statistical analysis.

Figure 1. Fruits of Amasya apple genotypes





RESULTS AND DISCUSSION

This research was conducted to identify prospective cultivars with enhanced traits within the Amasya apple variety cultivated in the Çamardı region of the Niğde province. Table 2 presents tree age, crown height, morphology, developmental condition, and periodicity. The ages of the genotypes varied from 6 to 15 years, with Amasya-05 being the youngest at 6 years and Amasya-10 being the oldest at 15 years. All genotypes had a spreading morphology, with developmental status ranging from robust to moderate based on the genotype. Periodicity was documented as elevated for all genotypes. These findings indicate substantial variations across genotypes regarding plant age, growth vigor, and phenological development.

Table 2. Comparison of Genotypes in Terms of Age, Crown Height, Crown Spread, Development Status, and Periosity

Genotype	Plant Age	Crown Height	Crown Spread	Development Status	Periosity
Amasya-01	9	2	Spreading	Strong	High
Amasya-02	9	2	Spreading	Strong	High
Amasya-03	11	3	Spreading	Moderate	High
Amasya-04	11	3	Spreading	Moderate	High
Amasya-05	6	2	Spreading	Strong	High
Amasya-06	14	3	Spreading	Moderate	High
Amasya-07	14	3	Spreading	Moderate	High
Amasya-08	13	3	Spreading	Moderate	High
Amasya-09	13	3	Spreading	Moderate	High
Amasya-10	15	3	Spreading	Moderate	High

Table 3 presents the phenological observation dates for the selected Amasya apple varieties. The bud emergence, blooming, and harvesting stages for the 10 Amasya apple genotypes analyzed in this study are illustrated in Figure 2 and Table 3 below. Significant differences have been observed among genotypes for the initiation and conclusion dates of the phenological phases. The initial bud-rise period commenced on March 19 (Amasya-03 and Amasya-09), while the last occurrence was noted on March 25 (Amasya-07). This signifies a disparity of roughly six days between the genotypes. Full flowering often transpired between April 1 and April 16. The earliest complete flowering occurred in the genotypes Amasya-01, Amasya-03, Amasya-08, and Amasya-10 on April 1, whilst the latest was recorded in Amasya-05 and Amasya-07 between April 4 and April 16.

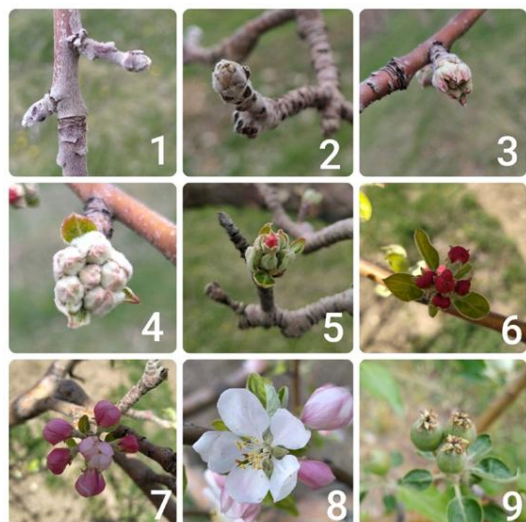
The end of flowering dates among the genotypes varied between 15 and 28 April. The earliest flowering cessation occurred in the genotypes Amasya-03 and Amasya-08 on April 24, whilst the latest was noted in the genotype Amasya-05 on April 28. The earliest first harvest was on October 9 (Amasya-02), while the latest was on October 12 (Amasya-06, Amasya-10). A discrepancy of around 3 days was seen among the genotypes. The last harvest period ranged from October 18 to 30. The earliest final harvest occurred for the Amasya-02 genotypes on October 18, whilst the latest was for the Amasya-05 and Amasya-06 genotypes on October 30. The findings demonstrate that environmental factors and genetic composition significantly influence the phenological development of the examined genotypes. The Amasya-03 genotype demonstrated a preference for early blooming and harvesting, while the Amasya-05 genotype stood out for its late flowering and harvesting characteristics. Moreover, while the phenological observations of the cultivars analyzed in this study differed based on the region's ecological conditions, they were mostly in agreement with findings by prior studies (Seferoğlu et al., 2006; Şen 2008; Çulha 2010; Öztürk and Öztürk, 2016).

Table 3. Phenological Development Stages from Bud Swelling

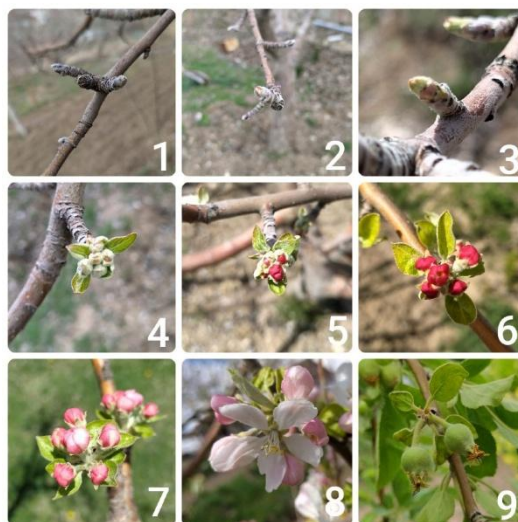
Genotype	Bud Swelling - First Flowering	Full Bloom	End of Bloom	First Harvest	Last Harvest
AMASYA-01	20 March– 01 April	01 -14 April	15- 26 April	10 -18 October	19-28 October
AMASYA-02	21 March– 03 April	02-14 April	15 -26 April	09 - 18 October	18 - 28 October
AMASYA-03	19 March– 02 April	01 -14 April	15 -24 April	10 - 20 October	20 -29 October
AMASYA-04	21 March– 05 April	02–15 April	15 -26 April	10 - 19 October	19 - 28 October
AMASYA-05	22 March– 04 April	03–16 April	16 -28 April	11 - 20 October	21 - 30 October
AMASYA-06	24 March– 03 April	03 -15 April	15 -26 April	12 - 21 October	22 - 30 October
AMASYA-07	25 March– 05 April	04 -16 April	18 -27 April	12 - 20 October	21 - 29 October
AMASYA-08	20 March– 02 April	01 -14 April	18- 24 April	11 - 22 October	20 - 28 October
AMASYA-09	19 March– 02 April	03 -16 April	15 -26 April	10 - 21 October	20 - 29 October
AMASYA-10	22 March– 05 April	01 -14 April	16 -27 April	12 - 20 October	22 - 29 October

Figure 2. Phenological development stages of Amasya apple genotypes

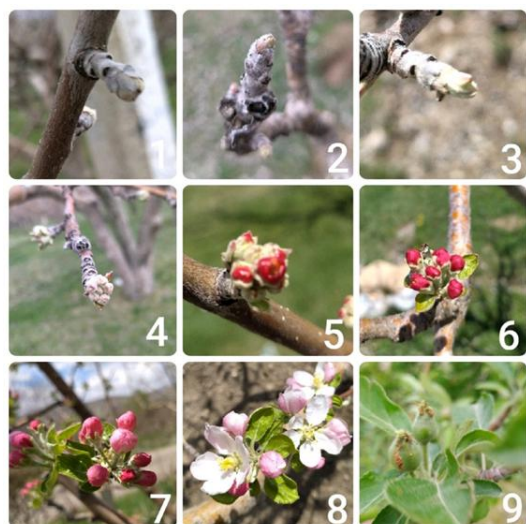
Amasya -01



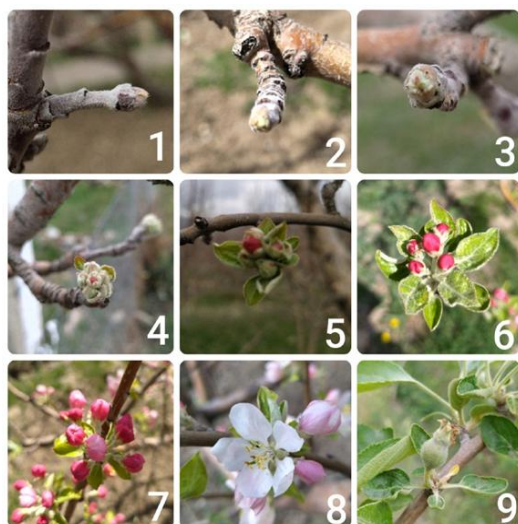
Amasya -02



Amasya-03



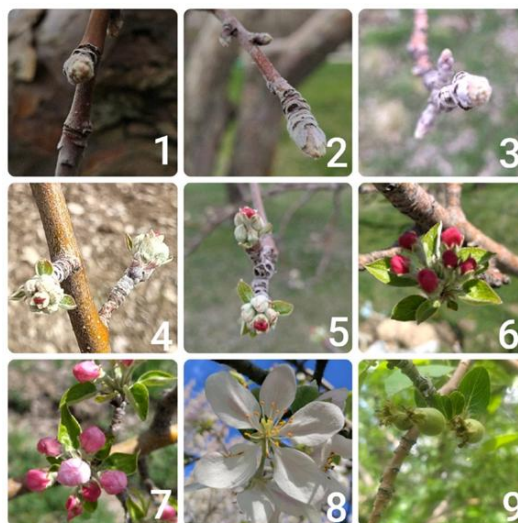
Amasya-04



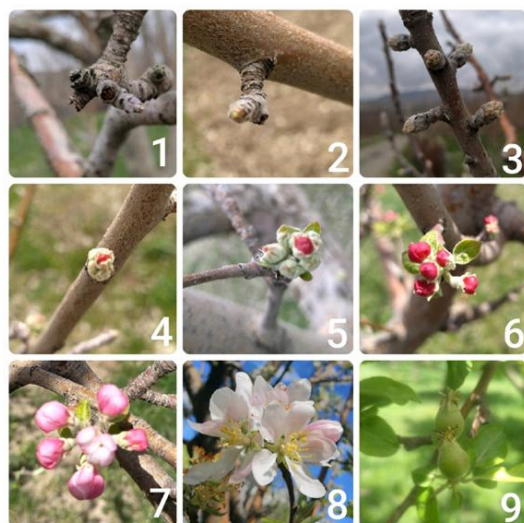
Amasya-05



Amasya-06



Amasya-07



Amasya-08



Amasya -09



Amasya-10



1. Dormant bud 2. Bud swell 3. Silvertip 4. Green tip 5. Mouse ear 6. Pink bud 7. Bloom stage / First bloom 8. Full bloom 9. Fruit set

The results of this study showed that the pomological traits of apples are affected by their yield and age. The trees' morphological, phenological, pomological, and biochemical traits are also affected by the elevation and ecological conditions of the places where the types were chosen (Ruttanaprasertetal.,2014).

The fruit quality traits of the 10 Amasya apple genotypes that were looked at in this study are shown in Table 4. There were big changes in the fruit weights between the genotypes, with Asasya-05 weighing 86.18 g and Asasya-01 weighing 143.40 g. The Amasya-01 genotype had the heaviest fruit (143.40 g), followed by the Amasya-02 genotype (141.40 g) and finally the Amasya-03 genotype (141.40 g). It was found that the Amasya-05 strain had the lightest fruit (86.18 g). As you can see, the Amasya-01 and Amasya-02 genotypes have big fruit structures, while the Amasya-05 genotype has smaller fruit structures. This means that the trees' morphological, phenological, pomological, and biochemical qualities are also affected by the

elevation and ecological conditions of the places where the varieties were chosen. The diameter of the fruits was between 58.64 mm (Amasya-05) and 70.38 mm (Amasya-01). It was found that Amasya-01 (70.38 mm) and Amasya-02 (69.74 mm) lines had the widest fruits. Fruit lengths ranged from 49.13 mm (Amasya-05) to 61.42 mm (Amasya-02). The longest fruits were found in Amasya-02 (61.42 mm), Amasya-01 (60.18 mm), and Amasya-03 (58.90 mm). Based on these results, the Amasya-01 and Amasya-02 lines have better fruit diameter and length.

The fruit firmness values among the genotypes ranged from 3.75 kg/cm² (Amasya-07) to 4.40 kg/cm² (Amasya-04). The maximum firmness value was observed in Amasya-04 at 4.40 kg/cm², and the minimum firmness value was observed in Amasya-07 at 3.75 kg/cm². The Amasya-04 genotype is considered advantageous regarding fruit firmness, which is a critical quality factor for storage duration and transportability. The firmness of fruit in apple genotypes from various locations of Türkiye ranges from 3.0 to 10.5 kg cm⁻². (Edizer and Bekar, 2007; Serdar et al., 2007; Bostan and Acar, 2009).

Elasticity readings varied from 3.75 (Amasya-07) to 7.10 (Amasya-05). The Amasya-05 genotype had the highest elasticity value at 7.10, whereas the Amasya-07 genotype displayed the lowest at 3.75. Increased fruit elasticity signifies a more resilient and flexible composition of the fruit tissue.

In conclusion, the Amasya-01 and Amasya-02 genotypes excel in fruit weight, diameter, and length; the Amasya-04 genotype is distinguished by its fruit hardness; and the Amasya-05 genotype is notable for its high elasticity value. The data reveal substantial morphological and physical disparities across Amasya apple varieties, suggesting that certain genotypes may be suitable for breeding programs targeting specific quality features.

Table 4. Fruit quality traits of Amasya apple genotypes

Genotype	Fruit Weight (g)	Fruit diameter (mm)	Fruit length (mm)	Fruit Firmness (kg cm ⁻²)	Elasticity
Amasya-01	143,40 a	70,38 a	60,18 ab	3,86 abc	4,78 c
Amasya-02	141,40 ab	69,74 a	61,42 a	3,81 bc	6,06 b
Amasya-03	141,40 ab	68,86 ab	58,90 ab	4,28 abc	6,24 b
Amasya-04	110,91 de	63,78 bcd	53,21 bcd	4,40 a	6,46 ab
Amasya-05	86,18 f	58,64 d	49,13 d	4,30 ab	7,1 a
Amasya-06	135,06 abc	68,18 ab	57,10 abc	3,93 abc	3,93 d
Amasya-07	115,73 cde	65,07 abc	54,13 bcd	3,75 c	3,75 d
Amasya-08	122,45 bcd	66,94 ab	55,06 abcd	3,94 abc	3,94 d
Amasya-09	135,46 ab	68,55 ab	53,21 bcd	3,95 abc	3,95 d
Amasya-10	98,59 ef	59,90 cd	50,50 cd	3,95 abc	3,90 d

The chemical and color attributes of the fruit from the 10 Amasya apple genotypes analyzed in this investigation are presented in Table 5. Marked disparities were noted across the genotypes for water-soluble solids (WSD), with values spanning from 10.20 (Amasya-05) to 13.65 (Amasya-03). The Amasya-03 genotype had the highest WSD value at 13.65, succeeded by Amasya-01 at 12.98 and Amasya-10 at 12.21, respectively. The minimum WSD value was identified in the Amasya-05 (10.20) genotype. The results demonstrate that the Amasya-03 and

Amasya-01 genotypes possess elevated dry matter content, whereas the Amasya-05 genotype is distinguished by reduced sugar content.

The acidity values of the fruit varied from 3.98 (Amasya-03) to 4.37 (Amasya-10) throughout the genotypes. The Amasya-03 genotype had the lowest pH value, whereas the Amasya-10 genotype displayed the greatest pH value. Acidity scores varied from 0.13 (Amasya-08) to 0.27 (Amasya-02 and Amasya-03), with Amasya-02 and Amasya-03 exhibiting the greatest acidity levels. These studies indicate that the flavor and taste profiles of fruit vary according to the genotypes. TSS and acidity are recognized as significant taste indicators for fruits (Rezaeirad et al. 2013). Öztürk and Öztürk (2016) reported that the total soluble solids (TSS) values in their investigation on apples ranged from 10.46% to 13.45%. Boyacı (2019) identified the greatest total soluble solids (TSS) value at 15.4% in the Mondial Gala apple variety, while the lowest values were recorded at 11.16% in Granny Smith and 11.53% in Red Chief types. In the research by Karşı and Aslantaş (2016), the TSS content ranged from 7.73% (Hüryemez) to 14.60% (Golden Delicious). Another study observed that the TSS concentration ranged from 10.24% (Granny Smith) to 12.07% (Royal Gala). Balta et al. (2020) conducted a study to ascertain the biochemical composition of apple fruits, finding a pH value of 4.03 in the Red Chief variety and 3.31 in the Granny Smith variety. Gündoğdu et al. (2018) reported that indigenous apple varieties possess abundant biochemical constituents. A study by Hajnajar et al. (2019) assessed the weight and length of summer apples in Iran, revealing fruit weights between 11.47 g to 98.50 g. Comparable investigations have been undertaken by other scholars (Kaya and Balta 2013; Çoşkun and Aşkın 2016). Our findings on fruit length and biochemical features in this study were largely consistent with those of previous research. The varying outcomes are attributed to disparities in ecological conditions, cultural practices, and genetic variables.

Fruit coloration characteristics differed among genotypes. The L value varied from 43.29 (Amasya-10) to 54.33 (Amasya-03), with the maximum L value seen in the Amasya-03 genotype. The c value varied from 35.52 (Amasya-08) to 45.46 (Amasya-02), with the maximum saturation recorded in the Amasya-02 genotype. The h value varied from 29.96 (Amasya-07) to 44.36 (Amasya-08), with the maximum h value identified in the Amasya-08 genotype. The data reveal substantial differences among the genotypes for color tones, saturation, and angle, with certain genotypes exhibiting superior visual quality.

Table 5. Comparison of TSS, pH, Acidity and Color Parameters in Amasya Apple Genotypes

Genotype	TSS (%)	pH	Titrateable Acidity (%)	l	c	h
Amasya-01	12,98 b	4,13	0,17 d	48,27 abc	41,67 ab	33,88 abc
Amasya-02	11,36 e	4,05	0,26 a	53,05 ab	45,46 a	36,40 abc
Amasya-03	13,65 a	3,98	0,27 a	54,33 a	38,26 bc	42,52 ab
Amasya-04	12,01 cd	4,02	0,21 b	48,05 abc	39,05 bc	33,02 abc
Amasya-05	10,20 f	4,09	0,21 bc	48,29 abc	42,40 ab	30,30 c
Amasya-06	11,75 d	4,12	0,15 e	49,20 abc	41,33 abc	36,85 abc
Amasya-07	11,01 e	4,17	0,17 d	51,90 ab	42,68 ab	29,96 c

Amasya-08	11,96 cd	4,15	0,13 e	51,36 ab	35,52 c	44,36 a
Amasya-09	11,95 cd	4,24	0,14 e	46,87 bc	40,95 abc	31,37 bc
Amasya-10	12,21 c	4,37	0,20 c	43,29 c	39,50 bc	31,77 bc

CONCLUSION

This study showed significant differences in the morphological, phenological, pomological, and biochemical characteristics of ten Amasya apple (*Malus domestica*) genotypes grown in the ecological environment of the Çamardı district in Niğde province. The genotypes Amasya-01 and Amasya-02 demonstrate exceptional performance for fruit weight, diameter, and length, but Amasya-04 distinguished itself with elevated fruit hardness, and Amasya-03 had the greatest soluble solid content at 13.65%. The Amasya-05 genotype, albeit yielding smaller fruits, exhibited notable flexibility and delayed phenological progression. Phenological measurements indicated that bud break transpired between March 19 and 25, full bloom happened between April 1 and 16, and harvesting took place between October 9 and 30, demonstrating the resilience of these genotypes to local environmental conditions. The variations in fruit hardness, soluble solids, acidity, and color metrics among the genotypes illustrate the genetic diversity inherent in Amasya apples. These findings illustrate the promise of specific genotypes, Amasya-01, Amasya-02, and Amasya-03, for forthcoming breeding, selection, and standardization initiatives focused on raising fruit quality and increasing the commercial value of Amasya apples grown in the Niğde region.

REFERENCES

- Anonymous (2025). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <https://mgm.gov.tr/>, Access Date: 30.09.2025
- Balta, M. F., Aksoy, B., Karakaya, O., & Uzun, S. (2020). Çarşamba ekolojik koşullarında yetiştirilen bazı standart elma çeşitlerinin verim ve meyve özellikleri. *Akademik Ziraat Dergisi*, 9, 187–192.
- Barritt, B. H., Dilley, M. A., & Konishi, B. J. (1992). Apple rootstock performance. *Good-Fruit-Grower*, 43(11), 6–11.
- Bostan, Z. S., & Acar, Ş. (2009). Ünye (Ordu) ve çevresinde yetiştirilen mahalli elma çeşitlerinin pomolojik özellikleri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(2), 15–24.
- Boyacı, S. (2019). Bazı elma (*Malus domestica* L.) çeşitlerinin fenolojik ve pomolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Turk. J. Agric. Res.*, 6, 73–79.
- Coşkun, S., & Aşkın, M. A. (2016). Bazı yerli elma çeşitlerinin pomolojik ve biyokimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üni. Zir. Fak. Derg.*, 11, 120–131.
- Çulha, A. E., & Pırlak, L. (2010). Çorum ekolojik şartlarında M9 anacına aşılı bazı elma çeşitlerinin fenolojik ve pomolojik özelliklerinin tespiti. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*, 54s.
- Dogan, H., Ercisli, S., Jurikova, T., Temim, E., Leto, A., Hadziabulic, A., Tosun, M., Narmanlioglu, H. K., & Zia-Ul-Haq, M. (2014). Physicochemical and antioxidant characteristics of fruits of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) from Turkey. *Oxid. Commun.*, 37, 1005–1014.
- Edizer, Y., & Bekar, T. (2007). Tokat merkez ilçede yetiştirilen bazı yerel elma (*Malus communis* L.) çeşitlerinin fenolojik ve pomolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 2007(1), 1-8.
- Eyduran, S. P., Akin, M., Ercisli, S., Eyduran, E., & Maghradze, D. (2015). Sugars, organic acids, and phenolic compounds of ancient grape cultivars (*Vitis vinifera* L.) from Iğdir province of Eastern Turkey. *Biological research*, 48(1), 2.
- Ferree, D. C., & Warrington, I. J. (Eds.). (2003). *Apples: botany, production, and uses*. CABI.
- Gundogdu, M., Canan, I., & Okatan, V. (2018). Bioactive contents and some horticultural characteristics of local apple genotypes from Turkey. *The J. Anim. Plant Sci.*, 28, 865–874.
- Gundogdu, M., Ozrenk, K., Ercisli, S., Kan, T., Kodad, O., & Hegedus, A. (2014). Organic acids, sugars, vitamin C content and some pomological characteristics of eleven hawthorn species (*Crataegus* spp.) from Turkey. *Biol. Res.*, 47, 21.
- Hajnajari, H., Kohneshine Leily, H., & Bakhshi, D. (2019). Selection of promising early ripening progenies and assessment of earliness heritability in the breeding program of apple. *Agric. Conspec. Sci.*, 84, 245–256.
- Karşı, T., & Aslantaş, R. (2016). Erzurum’da yetiştirilen bazı elma (*Malus communis* L.) çeşitlerinin fenolojik, pomolojik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *Atatürk Üniv. J. Agric. Fac.*, 47, 11–21.
- Kaya, T., & Balta, F. (2013). Van ilinde elma seçimi. *Tarım Bilimi Dergisi*, 2, 91–98.
- Küden, A., & Kaşka, N. (1995). Elma çeşit denemeleri. *İçinde Türkiye II. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi Bildirileri (Cilt I, ss. 16–20)*.

- OECD. (2022). Biology of apple (*Malus domestica*). İçinde Safety assessment of transgenic organisms in the environment (Cilt 9, OECD Consensus Documents on the Biology of Crops: Apple, Safflower, Rice). OECD Publishing.
- Öztürk, A., & Öztürk, B. (2016). Samsun ekolojisinde yetiştirilen standart bazı elma çeşitlerinin fenolojik ve pomolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Derg.*, 31, 1–8.
- Pereira-Lorenzo, S., Ramos-Cabrer, A. M., & Fischer, M. (2008). Breeding apple (*Malus x domestica* Borkh). In *Breeding plantation tree crops: temperate species* (pp. 33-81). New York, NY: Springer New York.
- Rezaeirad, D., Bakhshi, D., Ghasemnezhad, M., & Lahiji, H. S. (2013). Evaluation of some quantitative and qualitative characteristics of local pears (*Pyrus* sp.) in the north of Iran.
- Ruttanaprasert, R., Banterng, P., Jogloy, S., Vorasoot, N., Kesmala, T., Kanwar, R. S., ... & Patanothai, A. (2014). Genotypic variability for tuber yield, biomass, and drought tolerance in Jerusalem artichoke germplasm. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(4), 570–580.
- Seferoğlu, H. G., Kankaya, A., Ertan, E., & Tekintaş, F. E. (2006). Aydın ve yöresinde MM.106 anacı üzerine aşılı bazı elma çeşitlerinin fenolojik ve pomolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(2), 31–34.
- Serdar, Ü., Ersoy, B., Öztürk, A., & Demirsoy, H. (2007). Saklı Cennet Camili’de yetiştirilen yerel elma çeşitleri. İçinde Türkiye V. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi (ss. 575–579).
- Şen, F. A. (2008). Ankara ili Gölbaşı ilçesinde M.9 anacı üzerine aşılı Golden Delicious, Mondial Gala ve Fuji elma çeşitlerinin yıllık, gelişimi, meyve verim ve kalitesi üzerine araştırmalar (Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Açık Erişim Sistemi*).

FRUIT CHARACTERISTICS OF SOME HIGH-POTENTIAL PARENTAL TOMATO LINES

Res. Asst. Dr. Ünal KAL

Horticulture Department of Selcuk University

unal.kal@selcuk.edu.tr - 0000-0002-3447-316X

Prof. Dr. Önder TÜRKMEN

Horticulture Department of Selcuk University

turkmen@selcuk.edu.tr - 0000-0003-3218-6551

ABSTRACT

The objective of this study was to identify superior lines that could be considered as parents in tomato breeding programs. In the present study, the fruit characteristics of 94 tomato genotypes selected from the gene pool of a private seed company were evaluated. Basic quality parameters such as fruit length, width, pericarp thickness, number of carpels, seed cavity dimensions, soluble solids content (SSC), and color (Hue value) were examined. The results indicated significant variation among the genotypes with respect to all characteristics. The mean fruit length was established as 54.01 mm, the mean fruit width as 43.63 mm, the mean pericarp thickness as 5.85 mm, the mean number of carpels as 2.94, and the mean SSC as 5.46%. The highest fruit size was measured in the ST13 genotype (81.82 mm), while the highest SSC ratio was measured in the ST63 genotype (9.4%). The hue values ranged from 35.46° to 106.46°, and the majority of genotypes were found to be red in color. The results obtained demonstrated that the tomato lines evaluated exhibited a substantial genetic reservoir in terms of morphological diversity. It is evident that these lines, which are characterized by elevated dry matter content and optimal fruit morphology, possess the potential to serve as parents in the development of novel industrial hybrid varieties.²

Keywords: Tomato, fruit characteristics, parental selection

² This study is derived from Ünal KAL's master's thesis.

1. INTRODUCTION

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is a highly nutritious vegetable widely cultivated and consumed worldwide. Tomatoes are distinguished by their morphological diversity, rich nutritional content, and various quality parameters. It is a rich source of nutrients, particularly vitamin C, vitamin A, lycopene, β -carotene, and phenolic compounds (Quinet et al. 2019). Thanks to its high antioxidant capacity, it has protective properties against cardiovascular diseases and certain types of cancer (Amr and Raie, 2022). In addition to fresh consumption, tomatoes are a very important vegetable in industrial production. Tomatoes are the raw material for many value-added products such as tomato paste, ketchup, and sauces. These products occupy an important place both in the domestic market and in exports and make a significant contribution to national economies (de Paula Viera et al. 2020).

In agricultural production, factors such as quality, yield, and resilience are crucial for food safety and sustainability. To meet the growing global demand for food driven by population growth, it is essential to increase yields and produce high-quality products (Beres et al 2020; Kayışoğlu and Türksoy, 2023). In addition to these characteristics, varieties that are resistant/tolerant to stress factors eliminate production difficulties and enable healthier cultivation (Chab et al 2024). These newly developed varieties play an important role in agricultural production.

In tomato breeding, high yield, quality, disease resistance, and adaptation to abiotic conditions are key focal points. Fruit number per plant, fruit weight, and fruit diameter are primary selection targets as they directly affect yield and the commercial value of tomatoes (Bojarian et al 2018). Among quality parameters, soluble dry matter content, pH, colour, and firmness are other important factors (Londono-Giraldo et al 2021). Similarly, characteristics such as fruit yield, pericarp thickness, fruit length and fruit diameter, and soluble dry matter content are among the most important selection criteria for industrial tomatoes (Kumar et al. 2013; Fadhilah et al. 2022; Lafrance et al. 2023). In the development of tomatoes suitable for fresh consumption, characteristics such as taste, aroma, and fruit structure are also important, and both sensory tests and molecular-assisted selections are carried out to develop these characteristics (Zhu et al. 2018; Londono-Giraldo et al. 2021). Tomato processing companies prefer varieties with high yield per unit area and high brix and lycopene content (Türk et al. 2019). Characteristics such as pericarp thickness and soluble dry matter (Brix) ensure that the tomato retains its high colour, taste, and nutritional value without quality loss during processing (De Sio et al 2021).

The superior traits possessed by parents are highly valuable in the development of hybrid varieties frequently preferred by growers in tomato production. It is evident that parent lines provide the genetic basis for important agricultural traits, including yield, fruit quality, disease resistance, and adaptability. The selection of parents with superior traits has been demonstrated to directly influence the potential of hybrids for these traits (Jin et al., 2019; Al-Khayri et al., 2023). Basic traits such as fruit weight, pericarp thickness, brix, colour, and shape demonstrate strong inheritance and are transferred to hybrid varieties at a high rate after crossbreeding (Pavan et al. 2021; Avkidos et al. 2021).

The present study was conducted using 94 different tomato genotypes in order to identify those that could be evaluated as parents in tomato breeding programs. The study examined the

different pomological characteristics of the genotypes. The potential of the lines that exhibited these fruit characteristics to be used as parents was determined.

2. MATERIAL AND METHODS

In the study, 94 tomato lines from the tomato gene pool belonging to Nadide Tarım Seed Production Food Import Export Construction Landscape Trade and Industry Ltd. Co. were used as plant material. The seedlings were grown in greenhouses located at the company's research station in the Aksu district of Antalya. After the greenhouse soil was prepared, it was ready for seedling planting. Trays were prepared for sowing the seeds, and the seeds were sown. Once the seedlings were ready for planting, 20 plants from each genotype were planted in the greenhouse. When planting the seedlings, a distance of 2 m between rows and 40 cm between plants within a row was maintained (Figure 1).



Figure 1. A view of the soil preparation and seedlings in the greenhouse

Cultural practices (irrigation, hoeing, fertilization, etc.) were carried out appropriately during the cultivation period. Harvesting was performed once the fruits reached harvest maturity, and measurements were taken. The following characteristics of the fruits were examined: fruit size, fruit pericarp thickness, number of carpels, seed cavity dimensions, soluble solid content, and fruit color.

The measurement data were statistically analysed; the mean, minimum, and maximum values for each parameter were calculated, and the differences between genotypes were visually interpreted through graphical distributions.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Ninety-four tomato genotypes with parental potential were evaluated for certain fruit characteristics. Significant differences were observed between genotypes for all traits examined, indicating the presence of a wide genetic variation that could be utilised in future breeding programs.

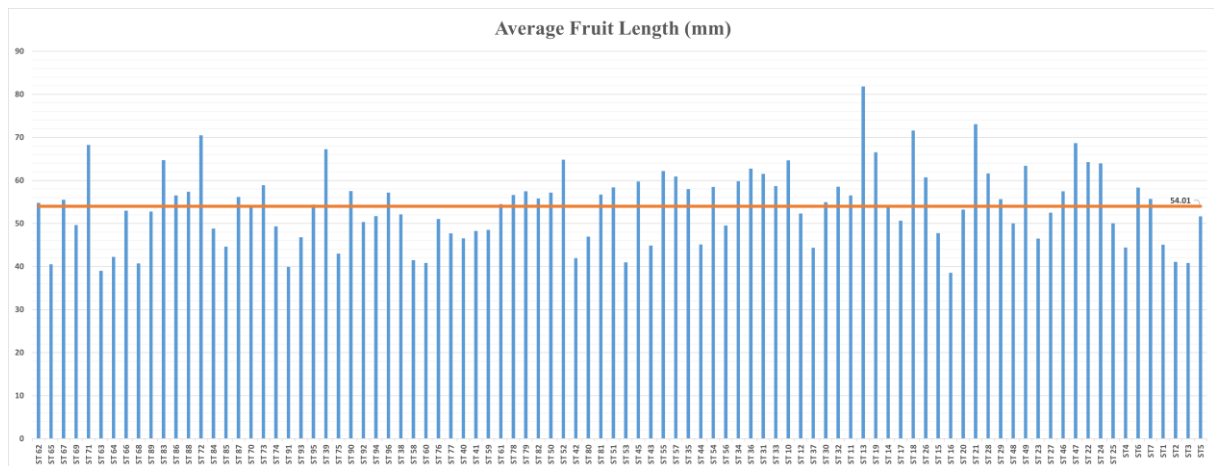


Figure 2. Average fruit length

The results obtained show that the average fruit size of the genotypes was 54.01 mm. Among the parents, genotype ST13 had the highest fruit size (81.82 mm), while genotype ST16 had the lowest (38.58 mm). Upon examination of the graph, it was observed that 52.63% of the genotypes had an average fruit length above the mean value (Figure 2).

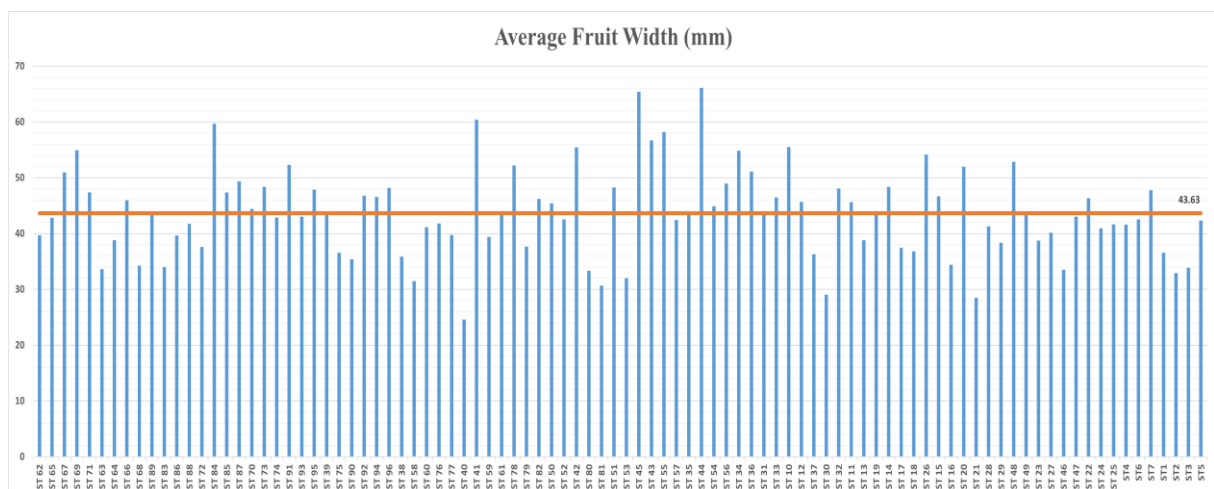


Figure 3. Average fruit width

The mean fruit width of tomato genotypes was found to be 43.63 mm, with the highest value recorded in genotype ST44 (66.13 mm) and the lowest in genotype ST40 (24.62 mm) (Figure 3). The graph demonstrates that 45% of the genotypes exhibited a fruit width that exceeded the mean value.

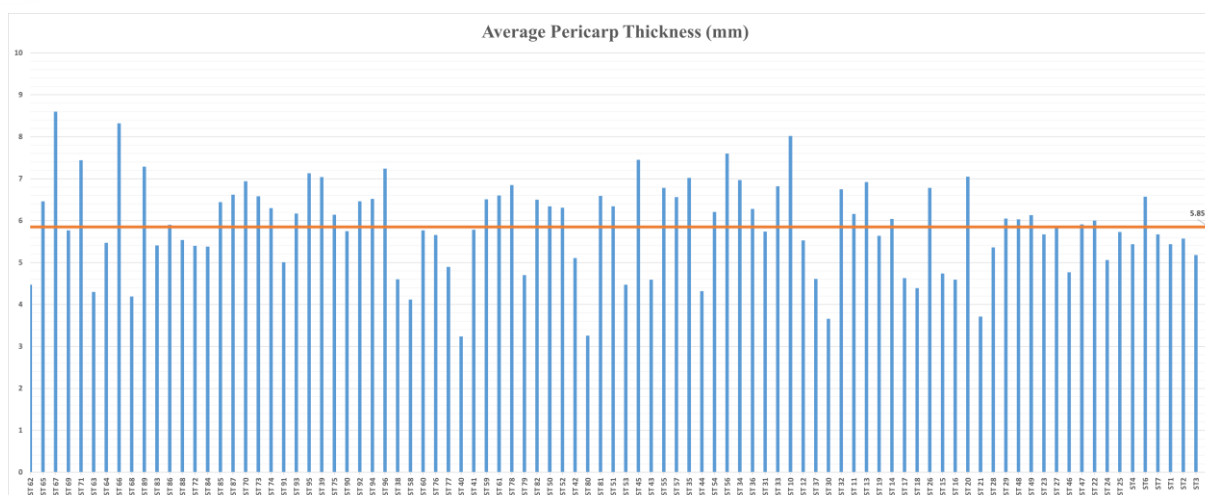


Figure 4. Average pericarp thickness

The mean pericarp thickness of the genotypes was found to be 5.85 mm. The highest pericarp thickness value was measured in genotype ST67 (8.60 mm), while the lowest value was measured in genotype ST40 (3.24 mm) (Figure 4). With regard to pericarp thickness, 50.53% of the genotypes were found to be above the average.

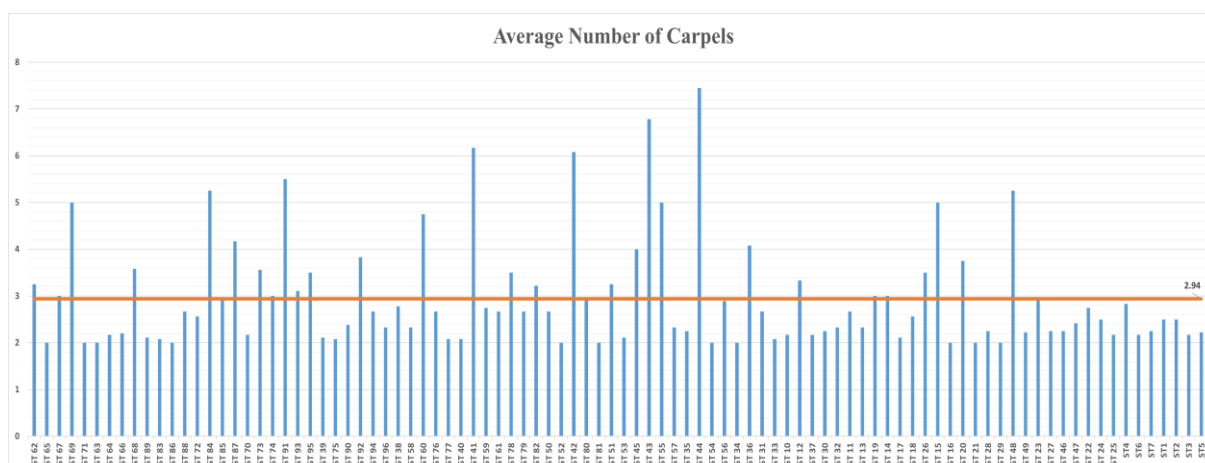


Figure 5. Average number of carpels

The mean number of carpels in the fruits was 2.94 across all genotypes, with genotype ST44 (7.45 carpels) exhibiting the highest number of carpels. The lowest number of carpels was observed in genotypes ST29, ST16, ST54, ST81, and ST65 (2 carpels) (Figure 5). A total of 31.58% of the genotypes exhibited a carpels number that exceeded the mean value.

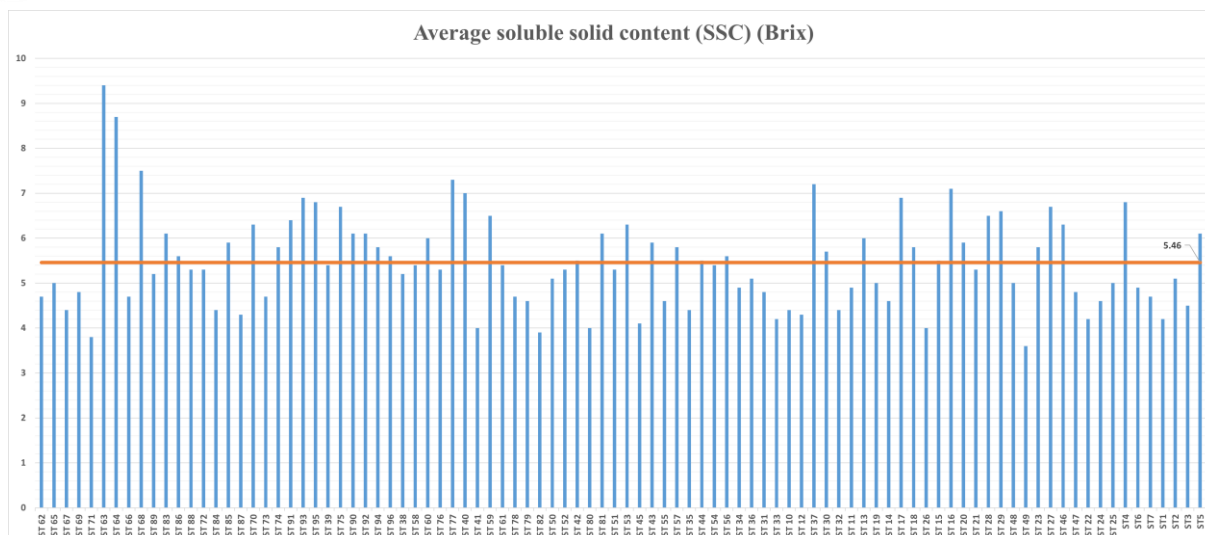


Figure 8. Average SSC

When the genotypes were examined in terms of soluble solid content, the average genotype value was found to be 5.46% Brix. Among the genotypes, genotype ST63 (9.4% Brix) exhibited the highest value. The lowest value in terms of soluble solid content was measured in genotype ST49 (3.6% Brix). With regard to soluble solid content (SSC), 44.21% of the genotypes were found to be above the average value (Figure 8).

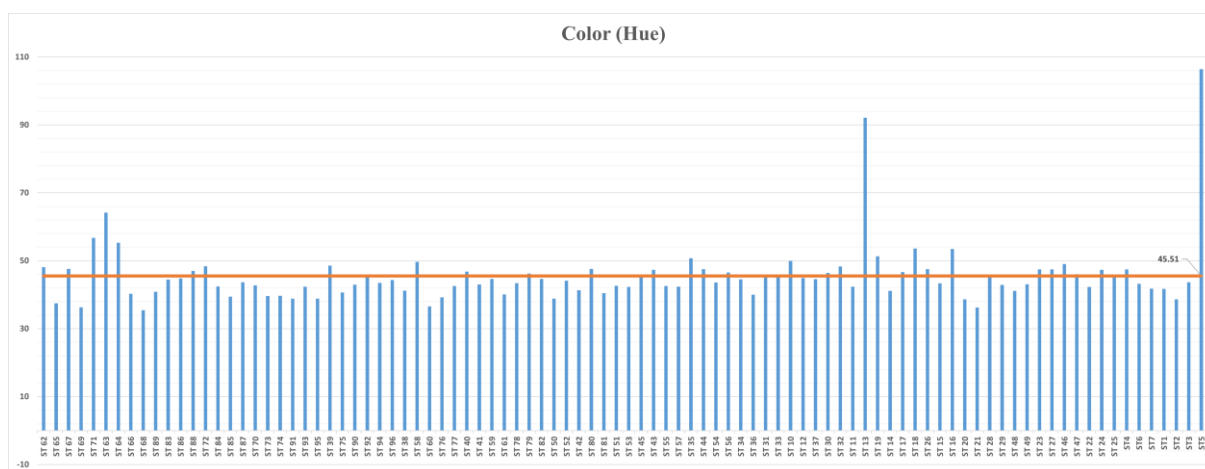


Figure 9. Fruit color

In the context of color measurement, the hue angle values were obtained from two distinct regions of five fruits from each genotype. The hue angle values ranged from 35.46° to 106.46°. According to Voss (1992), hue angle values between 0° and 90° represent red and its shades. Fourteen of the parent lines fell between 30-40°; 72 fell between 40-50°; and 6 fell between 50-70°. The mean color (Hu value) was measured as 45.51 (Fig. 9). This value indicates that the vast majority of genotypes exhibit red-orange color tones in the mature stage. The variation in hue angle is indicative of differences in lycopene accumulation levels between genotypes and is a significant parameter with regard to both visual quality and nutritional content (Nour et al., 2015; Abdelhamid et al., 2020).

Kıymacı et al (2024) screened 240 tomato genotypes at the S2 stage and examined fruit characteristics. The study revealed significant variation in fruit pericarp thickness, carpel number, and SSC. Following PCA analysis in the same study, a relationship was found between carpel number, fruit length, and fruit weight parameters.

A further study ascertained that fruit length ranged from 31 millimeters to 76 millimeters among genotypes, while fruit width ranged from 34 millimeters to 104 millimeters. In relation to the carpel number, it was established that the minimum recorded value was 3, with a maximum of 13 being observed. Furthermore, an analysis of fruit pericarp thickness revealed a range from 2.8 to 8.3 millimeters (Çukadar, 2011).

In the study conducted by Mutlu et al. (2007), measurements taken from fruits belonging to tomato genotypes showed that fruit length ranged from 22 to 67 mm, fruit width ranged from 26 to 91 mm, fruit pericarp thickness ranged from 2 to 8.8 mm, and the number of carpels ranged from 2 to 16. When comparing the fruit sizes measured in the genotypes in both studies, it was observed that the fruit length of the tomatoes in our study was longer, while the fruit width was smaller. While there were differences in the number of carpels, the flesh thicknesses were found to be similar to those in our study.

In another study conducted on industrial tomatoes, when examining the findings for the Standard Rio Grande variety, it was noted that the highest SSC value was obtained from the control group (5.30) among the tested applications, while the results obtained from other applications were statistically insignificant. In the same study, the SSC was measured as 4.80 at its highest and 4.10 at its lowest in the F1 hybrid variety named H-9663 (Dadaş, 2010).

Another study examined the number of carpels in industrial tomato genotypes and found that the number generally ranged between 2 and 3. The highest value measured for this parameter was 3.8. In these genotypes, fruit widths ranged between 62 and 45 mm, while fruit lengths ranged between 61 and 45 mm. Measurements taken on the same tomatoes revealed that fruit flesh thickness varied between 4.2 and 7.2 mm, while the SSC content ranged from 5.9% to 4.8% (Sönmez, 2011).

4. CONCLUSION

The present study has revealed significant variation among tomato genotypes with regard to certain fruit characteristics. It is evident that disparities in parameters such as fruit length, width and pericarp thickness are indicative of the presence of diversity among genotypes with regard to fruit size and structural characteristics. Genotypes exhibiting high fruit flesh thickness offer advantages in terms of processability and durability, while lines with high SSC ratios are distinguished by their superior taste and quality. In this respect, genotypes such as ST13 (fruit length), ST63 (SSC) and ST67 (pericarp thickness) are worthy of particular note as potential sources that can be evaluated as parents in subsequent breeding studies. The predominance of red values in the Hue values determined in the color analysis suggests that the genotypes possess the desirable color quality for industrial application. In conclusion, the findings provide important data that could contribute to both industrial and table tomato breeding by identifying lines with high parental potential.

REFERENCES

- Abdelhamid, M., Sudnik, Y., Alshinayyin, H., & Shaaban, F. (2020). A non-destructive method for monitoring the ripening of tomatoes based on their induction of chlorophyll fluorescence. *Journal of Agricultural Engineering*. <https://doi.org/10.4081/jae.2020.1098>.
- Al-Khayri, J., Alshamrani, S., Rezk, A., Shehata, W., Almaghasla, M., Shalaby, T., Saad, A., Safhi, F., Sattar, M., Latef, A., Sitohy, M., & Hassanin, A. (2023). Pre-Breeding Genetic Diversity Assessment of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Cultivars Based on Molecular, Morphological and Physicochemical Parameters. *Phyton*. <https://doi.org/10.32604/phyton.2023.027375>.
- Amr, A., & Raie, W. (2022). Tomato Components and Quality Parameters. A Review. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.35516/jjas.v18i3.444>.
- Avdikos, I., Tagiakas, R., Tsouvaltzis, P., Mylonas, I., Xynias, I., & Mavromatis, A. (2021). Comparative Evaluation of Tomato Hybrids and Inbred Lines for Fruit Quality Traits. *Agronomy*, 11, 609. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11030609>.
- Beres, B., Rahmani, E., Clarke, J., Grassini, P., Pozniak, C., Geddes, C., Porker, K., May, W., & Ransom, J. (2020). A Systematic Review of Durum Wheat: Enhancing Production Systems by Exploring Genotype, Environment, and Management ($G \times E \times M$) Synergies. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.568657>.
- Bojarian, M., Asadi-Gharneh, H., & Golabadi, M. (2018). Factor analysis, stepwise regression and path coefficient analyses of yield, yield-associated traits, and fruit quality in tomato. *International Journal of Vegetable Science*, 25, 542 - 553. <https://doi.org/10.1080/19315260.2018.1551260>.
- Chab, L., Biagini, L., & Severini, S. (2024). Towards an Effective Risk Management in Durum Wheat Production: A Systematic Review and Bibliometric Analysis of Factors Influencing Quality and Yield. *Agriculture*. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122266>.
- De Paula Vieira, D., Caliar, M., Souza, E., & Júnior, M. (2020). Methods for and pigments extration and determination of color in tomato for processing cultivars. *Food Science and Technology International*, 40, 11-17. <https://doi.org/10.1590/FST.42217>.
- De Sio, F., Rapacciuolo, M., De Giorgi, A., Sandei, L., Giuliano, B., Tallarita, A., Golubkina, N., Sękara, A., Stoleru, V., Cuciniello, A., Morano, G., & Caruso, G. (2021). Industrial Processing Affects Product Yield and Quality of Diced Tomato. *Agriculture*. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE11030230>.

Fadhilah, A., Farid, M., Ridwan, I., Anshori, M., & Yassi, A. (2022). Genetic Parameters And Selection Index Of High-Yielding Tomato F2 Populations. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*. <https://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.5.6>.

Jin, L., Zhao, L., Wang, Y., Zhou, R., Song, L., Xu, L., Cui, X., Li, R., Yu, W., & Zhao, T. (2019). Genetic diversity of 324 cultivated tomato germplasm resources using agronomic traits and InDel markers. *Euphytica*, 215, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2391-8>.

Kayıoğlu, Ç., & Türksoy, S. (2023). Tarımda Sürdürülebilirlik ve gıda güvenliği. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(1), 289-303.

Kıymacı, G., Uncu, A. Ö., & Türkmen, Ö. (2024). Description of The Phenotypic Characteristics of Some Tomato Genotypes. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 38(1), 9-26.

Kumar, D., Kumar, R., Kumar, S., Bhardwaj, M., Thakur, M., Kumar, R., Thakur, K., Dogra, B., Vikram, A., Thakur, A., & Kumar, P. (2013). Genetic Variability, Correlation and Path Coefficient Analysis in Tomato. *International Journal of Vegetable Science*, 19, 313 - 323. <https://doi.org/10.1080/19315260.2012.726701>.

Lafrance, R., Villicaña, C., Valdéz-Torres, J., García-Estrada, R., Sañudo, M., Esparza-Araiza, M., & León-Félix, J. (2024). Selection of Tomato (*Solanum lycopersicum*) Hybrids Resistant to Fol, TYLCV, and TSWV with Early Maturity and Good Fruit Quality. *Horticulturae*. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10080839>.

Londoño-Giraldo, L., Baena-Pedroza, A., Martinez-Seidel, F., Corpas-Iguarán, E., & Taborda-Ocampo, G. (2021). Gone wild: Integration of antioxidative, physicochemical, volatilomic and sensorial profiles ratify rustic relatives of cherry tomato as ideal mating partners. *Scientia Horticulturae*, 277, 109814. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109814>.

Nour, V., Ionica, M., & Trandafir, I. (2015). Bioactive Compounds, Antioxidant Activity and Color of Hydroponic Tomato Fruits at Different Stages of Ripening. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj- napoca*, 43, 404-412. <https://doi.org/10.15835/NBHA43210081>.

Pavan, M., Gangaprasad, S., Dushyanthakumar, B., Adivappar, N., & Shashikumara, P. (2021). Heterosis and combining ability studies by line $\times$ tester analysis for fruit biochemical, morpho-physiological, and yield traits governing shelf life in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Euphytica*, 218. <https://doi.org/10.1007/s10681-022-03038-4>.

Quinet, M., Angosto, T., Yuste-Lisbona, F., Blanchard-Gros, R., Bigot, S., Martínez, J., & Lutts, S. (2019). Tomato Fruit Development and Metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01554>.

Türk, B., Nas, Y., Duman, İ., Şen, F., & Tuncay, Ö. (2019). Sanayi domatesi üretiminde toprak tipi ve çeşit seçiminin verim ve meyve kalite özelliklerine etkisi. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 56(3), 337-343.

Zhu, G., Wang, S., Huang, Z., Zhang, S., Liao, Q., Zhang, C., Lin, T., Qin, M., Peng, M., Yang, C., Cao, X., Han, X., Wang, X., Knaap, E., Zhang, Z., Cui, X., Klee, H., Fernie, A., Luo, J., & Huang, S. (2018). Rewiring of the Fruit Metabolome in Tomato Breeding. *Cell*, 172, 249-261.e12. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.12.019>.

ECOSYSTEM-BASED PLANTING DESIGN AND EXAMPLES FROM THE WORLD

Res. Asst., İlknur Yazıcı

Bingöl University,

iyazici@bingol.edu.tr - 0009-0003-9134-2654

Prof. Dr., Engin Eroğlu

Düzce University,

engineroglu@duzce.edu.tr - 0000-0002-1777-8375

ABSTRACT

Ecosystem-based planting design is an approach in landscape architecture that emphasises sustainability and ecological integrity. This approach utilises plant taxa that can adapt to local and environmental conditions, increases biodiversity in urban and rural areas, supports natural processes, and enhances environmental functions. In recent years, problems such as climate change, urbanisation and loss of natural habitats have increased the importance of ecosystem-based design. This study addresses the basic principles, implementation approaches and strategies of ecosystem-based design through international examples and evaluates the ecological, aesthetic and social benefits obtained from these practices. The findings reveal the importance and applicability of ecosystem-oriented approaches in sustainable landscape planning.

Keywords: Ecosystem-based planting, biodiversity, sustainable landscape

1. INTRODUCTION

An ecosystem is an energy-operating system in which organisms such as plants, animal communities, and fungi have co-evolved over long periods of time, developing interdependent relationships of varying types and degrees among their components (Yeang, 2012). Purification, recycling, and renewal of biological resources are among the services provided by ecosystems. These services also regulate and support natural and human systems. They are vital for the sustainability of human development from an economic, social, cultural and ecological perspective (Alexander et al., 1997).

Landscape is a dynamic system in which physical, biological and social relationships are in a state of constant transformation and interaction. Ecological design, on the other hand, determines these natural processes, reveals the relationships between site conditions and landscape processes, and enables these dynamic relationships to become productive (Rottle & Yocom, 2011). The discipline of landscape architecture conducts harmonious work in ecological design applications by placing nature and people at the centre of design and planning practices. While supporting user needs, landscape architects contribute to the preservation and maintenance of ecological balance through natural and environmental processes. In this context,

ecological landscape design should integrate design and planning by considering the relationships between environmental processes and human needs (Ak, 2024).

The pioneers of sustainable design, Sim van der Ryn and Stewart Cowan, defined ecological design in their 1996 book *Ecological Design* as ‘any design that integrates with living processes to minimise environmentally destructive impacts’ (Kallipoliti, 2018). Ecological design aims to create living space for local species and habitats, ensure the sustainable use of resources in human activities, and effectively integrate the legitimate needs of other species and natural ecosystems into the design (Shu-Yang et al., 2004).

Ecological landscape design aims to create sustainable, environmentally sensitive open spaces (Ak, 2024).

Ecosystem-based landscaping design aims to create ecological, aesthetic and functional plant designs based on the functioning of natural systems. This approach first looks at natural ecosystems. These include the area's existing flora, fauna, soil and climate conditions. Using natural plant species for the region preserves the local vegetation and creates harmonious plant communities. This increases biodiversity and supports the ecosystem, ensuring environmental sustainability. During the botanical design process, succession and competition are taken into account to create botanical compositions that can renew themselves over time. The interaction between nature and humans is at the heart of the design. Liveable green spaces are created where users can integrate with nature and become part of the ecosystem.

Planting design in line with ecological objectives; protects ecosystems, restores degraded ecosystems, rehabilitates degraded areas such as former mining sites, restores waterways, improves and supports biodiversity, creates habitats and biotic communities for wildlife, and provides wildlife corridors (Sarı & Karaşah, 2018; Steiner, 2001; Thomas et al., 2001).

Various principles regarding the fundamentals of ecological landscape design have been defined by different researchers in the literature. In this study, the fundamental principles compiled from the works of Shu-Yang, Freedman and Cote (2004), Ryn and Cowan (2013) and Ak (2024) are presented in Table 1.

Table 1. The fundamentals of ecological landscape design

Principle / Criterion	Description	Reference
1. User and Economy Orientation	The necessity for humans and economic systems to meet their needs within natural limits	Shu-Yang et al., (2004)
2. Ecosystem Integrity	Preservation of the structural and functional integrity of natural and managed ecosystems.	Shu-Yang et al., (2004)
3. Nature-Mimicking Design	Taking inspiration from nature’s own design principles in anthropogenic systems.	Shu-Yang et al., (2004); Ryn & Cowan (2013)
4. Use of Renewable Resources	Transition toward renewable energy sources, recycling, reuse, and resource efficiency.	Shu-Yang et al., (2004)
5. Ecological Economics Approach	Conservation of natural capital and inclusion of resource depletion and environmental damage in economic assessment.	Shu-Yang et al., (2004)

6. Conservation of Biodiversity	Sustainable conservation of natural ecosystems and native species.	Shu-Yang et al., (2004)
7. Environmental Literacy	Enhancing public awareness of sustainability and environmental sensitivity.	Shu-Yang et al., (2004)
8. Place-Specific Design	Ensuring that every design is based on the cultural and physical characteristics of its location.	Ryn & Cowan (2013)
9. Ecological Accounting	Holistic evaluation of environmental, social, and economic parameters throughout the design process.	Ryn & Cowan (2013)
10. Design in Harmony with Nature	Integration of abiotic factors such as water, wind, and sunlight into design.	Ryn & Cowan (2013)
11. Participatory Design	Ensuring the participation of all stakeholders in the ecological design process.	Ryn & Cowan (2013)
12. Making Natural Processes Visible	Making natural cycles and processes perceptible to users.	Ryn & Cowan (2013)
13. Sustainability and Resource Conservation	Creating designs based on energy, water, and material efficiency that do not harm the environment.	Shu-Yang et al., (2004); Ryn & Cowan (2013)
14. Viewing the Ecosystem as a Whole	Considering the ecosystem as a whole, with all its living and non-living components.	(Ak, 2024).
15. Habitat Restoration and Conservation of Landscape Patterns	Enhancing biodiversity, restoring degraded habitats, and maintaining landscape integrity.	(Ak, 2024).

Ecosystem-based planting design aims to create sustainable and functional landscapes, and does so by drawing on natural processes and local ecosystems. This approach supports ecological balance when applied in different areas. It provides solutions to environmental problems. Below are the areas where ecosystem-based planting design is applied:

1. Natural Meadows and Pastures

Natural meadow and pasture areas provide numerous ecological services as vital ecosystems and support the conservation of biological diversity (Dey et al., 2024).

2. Forest Gardens (Urban Forests)

Urban forests reduce air pollution and greenhouse gas emissions within cities, sequester carbon, regulate air temperature, reduce stormwater runoff, reduce noise, and provide recreational, social, psychological, and aesthetic benefits (Roeland et al., 2019).

3. Wetland/Riparian Area Restoration

Coastal areas, which are transition zones adjacent to wetlands and riparian areas, are important for buffering the effects of surrounding land uses and supporting the health of river ecosystems. Ecosystem services include water quality protection, flood mitigation, carbon sequestration, and the conservation of biodiversity and wetlands (Allan et al., 1997, Brauman et al., 2007).

4. Permaculture/Edible Gardens

The concept of permaculture comes from combining the words ‘permanent’ and ‘agriculture’. It focuses on creating and designing agricultural ecosystems that are sustainable and resilient. Co-founder David Holmgren defines permaculture as ‘consciously designed landscapes that mimic the patterns and relationships found in nature, producing abundant food, fibre and energy to meet local needs.’

5. Green Roof Gardens

The ecosystem services provided by green roofs include improving rainwater management in urban areas, regulating building temperatures, reducing urban heat island effects, and increasing wildlife habitats (Oberndorfer et al., 2007).

6. Rain Gardens

Rain gardens contribute positively to problematic urban water cycles by retaining surface runoff. They are also one of the most functional and applicable approaches among nature friendly solutions used for sustainable rainwater management, adding aesthetic value to urban areas (Müftüoğlu & Perçin, 2015).

7. Coastal Restoration

The restoration of coastal areas, carried out through ecosystem-based planting design, contributes positively to preventing erosion and increasing habitat diversity.

8. Parks

Urban parks provide various ecosystem services that are valuable for the well-being of city dwellers. They are also recognised as a nature based solution that addresses various environmental issues in cities (Mexia et al., 2018).

9. Transformed Landscapes

Transformed landscapes refer to areas that regain their ecological functions through ecosystem-based design and restoration. These areas are transformed into valuable, sustainable spaces for both nature and humans as a result of design and restoration.

The aim of this study is to highlight the importance of sustainable landscape planning by examining the fundamental principles of ecological landscape design, its application areas, and examples from around the world. The study aims to demonstrate the applicability of ecosystem-based approaches and the value of their adoption in the discipline of landscape architecture through literature and application examples.

2. MATERIAL AND METHODS

The material for this study consists of national and international literature data related to ecosystem-based landscaping design. Within the scope of the study, books, articles published in peer reviewed journals, symposium papers, master's and doctoral theses, and current online sources related to the subject were examined.

Literature review, one of the qualitative research techniques, was selected as the method. In this context, the theoretical foundations of ecosystem-based design were first determined. Subsequently, the findings obtained from the sources were classified to identify the application areas of ecosystem-based landscaping design. Finally, successful examples implemented worldwide were examined and evaluated in terms of their ecological functions and application results.

3. FINDINGS

Examples of ecosystem-based landscaping design applications from around the world include projects such as High Line Park (New York, USA), Queen Elizabeth Olympic Park (London, UK), Jardins de Métis (Québec, Canada), Millennium Park (Chicago, USA), The Eden Project (Cornwall, UK), Duisburg-Nord Landschaftspark (Duisburg, Germany), Changi Airport Jewel (Singapore) and Houtan Park (Shanghai, China). These applications have been designed using ecosystem-based landscaping design.

High Line Park (New York, USA)

New York City's High Line Park was established as a linear green space on a disused railway line in Manhattan. The park, whose history dates back to 1847, opened to the public in 2009 (Millington, 2015). At that time, a railway line was built through the city centre to enable the free movement of goods. However, this led to numerous fatal accidents. Therefore, in 1929, it was decided to elevate the railway and move it onto a viaduct. Thus, the route of the line was changed. The rich vegetation seen today on this viaduct, located at a height of approximately 10 metres, the walking paths integrated with the railway tracks, water features, drinking fountains, portable deckchairs and seating areas, are the brainchild of the volunteer group Friends of the High Line, which prevented the structure from being demolished in 1999 (Figure 1) (Huebner, 2019).



Figure 1. High Line Park (Url-1, Url-2).

Queen Elizabeth Olympic Park (London, England)

Queen Elizabeth Olympic Park, designed as part of the 2012 London Olympics, is a striking example of sustainable urban regeneration and modern landscape architecture. The park's creation involved extensive engineering processes, including protecting over 5,000 homes from flood risk, carrying out remediation work in seven separate soil treatment areas, establishing a large-scale drainage and infrastructure system, and reshaping the topography from scratch. The design included the creation of the largest wildflower meadow planted in the United Kingdom at that time, and all excavated materials from the site were reused. Located in the festival area to the south, the London 2012 Gardens consist of themed gardens illustrating Britain's tradition

of collecting plants from around the world. The park serves as a lasting legacy of the Olympic Games, offering over 45 hectares of new wildlife habitat, kilometres of footpaths and cycle paths, playgrounds, gardens, cafés, and world-class sports and cultural facilities (Figure 2) (Url-3).



Figure 2. Queen Elizabeth Olympic Park (Hopkins & Neal, 2013, Url-4).

Jardins de Métis (Reford Gardens) (Quebec, Canada)

Known as the Jardins de Métis or Reford Gardens, these gardens have been open to the public since 1962. Elsie Reford transformed the area, which was initially just a forest covered with spruce trees, into a garden boasting one of the largest plant collections of its time. To achieve this, she excavated, built stone walls, moved trees, and brought large rocks from nearby fields. She obtained the special compost needed to grow exotic plants by trading leaves with local farmers. Where experienced gardeners had failed, he successfully cultivated rare species. Elsie Reford trained local people to become expert gardeners (Figure 3) (Reford & Tanguay, 2001).



Figure 3. Jardins de Métis (Url-5, Url-6).

Millennium Park (Chicago, USA)

Chicago Millennium Park was established on 16 July 2004 and created in collaboration with the Chicago History Museum. Millennium Park is a public space that serves as an open-air art museum, cultural centre and performance venue. Bringing together different functions, this area combines unique architecture, monumental sculpture and innovative landscape design elements. This project involved converting a disused railway line in the centre into a public space (Gilfoyle, 2006). The three-acre Lurie Garden is one of the park's most important components. An ecosystem-based approach has been adopted in this garden. This garden, which

features a combination of perennial plants originating from meadows, serves as a laboratory for nature based learning and observation (Figure 4) (Kingsbury, 2020).

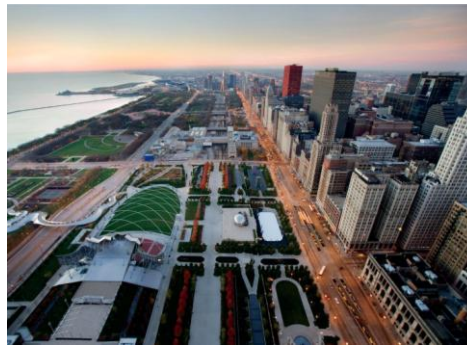


Figure 4. Millennium Park (Kent, 2011).

The Eden Project (Cornwall, England)

The project opened to the public in 2001 in Cornwall, at the southwestern tip of England (Knebel, 2002). The aim of this project is to demonstrate the importance of plants for humans and to promote the sustainable use of plant resources. Planting has focused particularly on plants that are economically and ethnobotanically useful (Figure 5). The Eden Project has developed a dynamic educational programme extending from school to doctoral level and for adults. It received two million visitors in its first year (Prance, 2002). As an example of ensuring sustainability in natural areas, targeting ecosystem restoration, and strengthening ecological transformation through environmental education, the Eden Project focuses on post mining rehabilitation and nature restoration efforts (Emir & Yıldırım, 2024).



Figure 5. Eden Project (Url-7).

Duisburg-Nord Landschaftspark (Duisburg, Germany)

It is part of the Emscher Park project. Seven green corridors have been proposed along the north-south axis connecting 17 cities, utilising the waterways and open green spaces within the project. The regions are connected by parks, gardens, footpaths and cycle paths that wind through the cities and cover an area of approximately 300 km². Various industrial landscape

parks have been created along the green corridor, one of which is the Nord Landschaftspark in Duisburg (Figure 6). The Nord Landschaftspark, designed by Peter Latz, also emphasises ecological design. Particular attention has been paid to the use of sustainable and recyclable materials (Yurtseven, 2021). The restoration of biologically degraded areas has been achieved through botanical design, and special species brought from different countries have been reintroduced to the area (Demiroğlu & Onur, 2016).

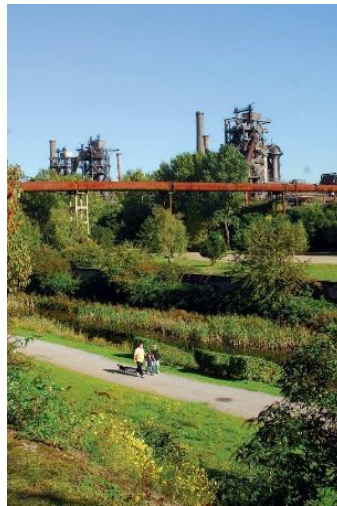


Figure 6. Duisburg-Nord Landschaftspark (Url-8).

Changi Airport Jewel (Singapore)

Singapore Airport is proof that landscape architecture and architecture work in a complementary manner and that landscape architecture has the potential to serve more in the global world. Green areas at the airport, such as the Shiseido forest valley, Petal Garden, hedge maze, butterfly garden, orchid garden, etc., make positive contributions from an ecological perspective. The selection and placement of plant species at Jewel Singapore Changi Airport took into account various criteria such as aesthetic appearance, light levels, temperature, and humidity conditions (Figure 7) (Demirci et al., 2023).



Figure 7. Changi Airport Jewel (Url-9).

Houtan Park (Shanghai, China)

The design strategies employed to transform the site in Shanghai into a vibrant and sustainable system providing comprehensive ecological services have brought together the functions of food production, flood control, water purification and habitat creation in an educational and aesthetic manner. It was designed as an innovative example of ecological design for the 2010 Expo (Figure 8) (Asla, 2010).



Figure 8. Houtan Park (Url-10).

4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

In landscape architecture, ecosystem-based planting design is an important approach aimed at creating environments that are in harmony with nature, sustainable, and resilient. The examples examined in this study from around the world demonstrate that integrating natural processes and local ecosystems into the design process yields successful results both ecologically and aesthetically. Applications carried out in different climatic conditions and cultural environments have demonstrated that plant species selections compatible with natural flora and fauna increase biological diversity and strengthen environmental resilience.

Looking at examples from around the world, projects such as High Line Park, Millennium Park, and Queen Elizabeth Olympic Park prove that industrial or abandoned areas can be repurposed into green corridors within cities through ecosystem-based designs. Examples such as the Eden Project and Duisburg-Nord Landschaftspark demonstrate that ecological design, when combined with education and social awareness, yields long-term environmental gains.

Such applications strengthen human nature interaction, increase biodiversity, and positively contribute to the functionality of urban ecosystems

In conclusion, ecosystem-based landscaping design is not merely an aesthetic application, but a comprehensive approach that offers solutions to global environmental issues such as combating climate change, ecological restoration, water management, and biodiversity conservation.

Recommendations:

The use of native species in landscape design should be encouraged, and analyses of local flora and fauna should be mandatory prior to project implementation.

Ecosystem-based approaches should be integrated into urban planning and green infrastructure policies.

Monitoring and evaluation systems that consider ecosystem services should be established in public and private sector landscape projects.

Education and awareness campaigns should encourage public awareness and participation in nature based solutions.

In this regard, considering ecosystem-based planting design as a fundamental component of sustainable landscape design is important for the conservation of natural resources and the improvement of quality of life.

REFERENCE

- Ak, B. (2024). Principles and Applications of Ecological Landscape Design. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 2013-229.
- Alexander, S., Ehrlich, P. R., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P. A., Mooney, H. A., & Woodwell, G. M. (1997). *Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems*, Vol. 2. Washington, DC: Ecological Society of America.
- Allan, D., Erickson, D., & Fay, J. (1997). The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Freshwater biology*, 37(1), 149-161.
- Asla, (2010). Shanghai Houtan Park: Landscape as a Living System <https://www.asla.org/2010awards/006.html> (Access date: 17.10.2025).
- Brauman, K. A., Daily, G. C., Duarte, T. K. E., & Mooney, H. A. (2007). The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 32(1), 67-98.
- Demirci, S., Doğan, T. G., & Eroğlu, E. (2023). Havalimanlarında Sürdürülebilirlik: Singapur Changi Havalimanı. *Düzce Üniversitesi Süs ve Tıbbi Bitkiler Botanik Bahçesi Dergisi*, 2(1), 14-26.
- Demiroğlu, D., ve Onur, B. (2016). Kentsel sürdürülebilir mekânlar: Ekolojik parklar. *Journal of the Faculty of Forestry*, 66(1), 340-355.
- Dey, R., Sharma, S. B., & Thakkar, M. G. (2024). Maximising ecological value and assessing land suitability for sustainable grassland management in Asia's largest tropical grassland, Western India. *Scientific Reports*, 14(1), 13658.
- Emir, H. N. S., & Yıldırım, E. (2024). Bozulan Peyzajların İyileştirilmesi ve Öğrenme Ortamı Olarak Değerlendirilmesi "The Eden Project". *Peyzaj*, 6(1), 15-30.
- Gilfoyle, T. J. (2006). *Millennium Park: creating a Chicago landmark*. University of Chicago Press.
- Holmgren, D. (2002). *Permaculture: Principles and pathways beyond sustainability*. Holmgren Design Services.
- Hopkins, J. C., & Neal, P. (2013). *The Making of the Queen Elizabeth Olympic Park*. John Wiley & Sons.

- Huebner, J. (2019, February). High line in New York—an unusual park in the centre of manhattan. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 471, No. 9, p. 092085). IOP Publishing.
- Kallipoliti, L. (2018). History of Ecological Design. Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science, pp. 1-60. doi:10.1093/acrefore/9780199389414.013.144
- Kent, C. (2011). Millennium Park Chicago. Northwestern University Press.
- Kingsbury, N. (2020). Gardening with Perennials: Lessons from Chicago's Lurie Garden. University of Chicago Press.
- Knebel, K., Sanchez-Alvarez, J., & Zimmermann, S. (2002). The structural making of the Eden Domes. Space structures, 5(1), 245-254.
- Mexia, T., Vieira, J., Príncipe, A., Anjos, A., Silva, P., Lopes, N., ... & Pinho, P. (2018). Ecosystem services: Urban parks under a magnifying glass. Environmental research, 160, 469-478.
- Millington, N. (2015). From urban scar to 'park in the sky': terrain vague, urban design, and the remaking of New York City's High Line Park. Environment and Planning a, 47(11), 2324-2338.
- Müftüoğlu, V., & Perçin, H. (2015). Sürdürülebilir Kentsel Yağmur Suyu Yönetimi Kapsamında Yağmur Bahçesi. İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 5(11), 27-37.
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., ... & Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. BioScience, 57(10), 823-833.
- Prance, G. T. (2002). A paradise for economic botanists: The Eden Project. Economic Botany, 56(3), 226-230.
- Reford, A., & Tanguay, L. (2001). Jardins de Métis. Fides.
- Roeland, S., Moretti, M., Amorim, J. H., Branquinho, C., Fares, S., Morelli, F., ... & Calfapietra, C. (2019). Towards an integrative approach to evaluate the environmental ecosystem services provided by urban forest. Journal of Forestry Research, 30(6), 1981-1996.
- Rottle, N., & Yocom, K. (2011). Basics Landscape Architecture 02: Ecological Design. Washington: A&C Black.
- Ryn, S. V., & Cowan, S. (1996). Ecological design. Washington, DC: Island Press.
- Sarı, D., & Karaşah, B. (2018). Bitkilendirme Tasarımı Öğeleri, İlkeleri ve Yaklaşımlarının Peyzaj Tasarımı Uygulamalarında Tercih Edilirliği Üzerine Bir Araştırma. Megaron, 13(3).
- Shu-Yang, F., Freedman, B., & Cote, R. (2004). Principles and practice of ecological design. Environmental Reviews(12), 97-112.
- Steiner B., (2001), "Planting Design, from Planting strategies for toxic sites: expressed as environmental art", Unpublished QUT Thesis (Masters by Research), Chapter 3, Brisbane, Queensland University of Technology

Thomas, G.S., Sim, J.C., ve Poulton, D.V., (2001) Planting Design: An Exploration of Emerging Theoretical Frameworks to Support Sustainable Landscape Design. Australia, Queensland University of Technology, s. 105.

URL-1, (2025). <https://arquitecturaviva.com/works/paseo-urbano-high-line-nueva-york-4> (Access date: 16.10.2025).

URL- 2, (2025). <https://www.concordehotelnewyork.com/blog/explore-nature-in-the-sky-by-walking-the-high-line> (Access date: 16.10.2025).

URL-3, (2025). <https://www.lda-design.co.uk/kindling/long-read/the-making-of-the-olympic-park/> (Access date: 16.10.2025).

URL-4, (2025). <https://choosewhere.com/london-queen-elizabeth-olympic-park-visitor-guide> (Access date: 16.10.2025).

URL-5, (2025). <https://www.cbc.ca/artsprojects/destinationart/destination/reford-gardens-jardins-de-metis> (Access date: 16.10.2025).

URL-6, (2025). <https://moool.com/en/2011-international-garden-festival-by-reford-gardens.html> (Access date: 16.10.2025).

URL-7, (2025). <https://www.edenproject.com/visit/planning-your-visit/tips-for-visiting-in-all-weather> (Access date: 16.10.2025).

URL-8, (2025). <https://www.internationale-bauausstellungen.de/en/history/1989-1999-iba-emscher-park-a-future-for-an-industrial-region/duisburg-nord-landscape-park-duisburg-a-new-type-of-park-and-a-part-of-the-emscher-landscape-park/> (Access Date: 16.10.2025).

URL-9, (2025). <https://www.klook.com/en-AU/activity/25872-jewel-changi-airport-attractions-ticket-singapore/> (Access date: 16.10.2025).

URL-10, (2025). <https://www.tclf.org/landscapes/shanghai-houtan-park> (Access date: 16.10.2025).

Yeang, K. (2012). Ekotasarım. YEM Yayın, İstanbul.

Yurtseven, B. (2021). Kentsel Yenileme Sürecinde Endüstri Alanlarının Ekolojik Yaklaşım ile Değerlendirilmesi: Emscher Park Örneği. Kent Akademisi, 14(1), 260-277.

TOXICOLOGICAL EFFECTS OF SELECTED FOOD ADDITIVES ON BRAIN AND OVARY: A BIOCHEMICAL PERSPECTIVE

Assist. Prof. Dr. Serpil AYGÖRMEZ

Department of Biochemistry, Faculty of Veterinary Medicine, Kafkas University, Kars,
Türkiye, serpilaygormez@hotmail.com - ORCID ID: 0000-0002-5675-5096

Prof. Dr. Mushap KURU

Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Veterinary Medicine, Kafkas
University, Kars, Türkiye, mushapkuru@hotmail.com - ORCID ID: 0000-0003-4409-251X

Prof. Dr. Fatih Mehmet KANDEMİR

Department of Medical Biochemistry, Faculty of Medicine, Aksaray University, Aksaray,
Türkiye, fmkandemir@aksaray.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-8490-2479

ABSTRACT

With the increasing world population, nutrition has become an increasingly important issue. With increasing nutrition, food is expected to be not only affordable but also of high quality. Food additives are widely used today to enhance the appearance or flavor of foods or to extend their shelf life. These additives are classified as antioxidants, stabilizers, preservatives, sweeteners, and colorants. They are synthetic or natural substances that can be added to foods in small amounts. In this era of increased food awareness and interest, natural food additives have attracted considerable attention among consumers. However, synthetic food additives are increasingly used, and many problems arise as a result of synthetic food additives replacing natural food additives. While some of these substances are harmless when used in permitted amounts, others pose a risk to human health. Common side effects include itching, skin rash, gastrointestinal discomfort, or difficulty breathing. This review summarizes the classification of food additives and their toxic effects on brain and ovary tissues. Therefore, it is recommended that the toxic effects of food additives be supported by scientific studies.

Keywords: Food additive, brain, ovary

1. INTRODUCTION

In recent years, changes in industrial and agricultural activities, along with increased diversity and productivity, have boosted the world's food supply capacity. Meanwhile, rising consumption has been facilitated by factors such as the food industry and urbanization (Lerner et al., 2015). Additives used to improve food safety, shelf life, and nutritional profile are widely used in the food industry. These additives are chemically and naturally synthesized components (Moradi et al., 2022). Due to the limited availability of natural resources to meet the demand for additives, new alternatives are being sought (Faustino et al., 2019). Food additives are classified according to their functions as antioxidants, stabilizers, sweeteners, preservatives, and colorants (Thomas and Adegoke 2015; Ahmed 2016). The proper use of food additives plays an important role in the modern food industry (Wu et al., 2022).

Food additives must undergo safety testing according to the World Health Organization (WHO) before being used in any product (Khan et al., 2020). Although food additives are used to prevent nutrient loss during food processing, their misuse can harm human health (Wu et al., 2022). The threat to human health stems not only from dietary habits and consumption methods but also from food additives (Xia et al., 2025). For example, with the spread of sugar-related diseases due to increased sugar consumption, sweeteners used in foods have economic and health implications (Carocho et al., 2017).



Figure 1: General classification of food additives (Wu et al., 2022).

1.1. Antioxidants

Oxidation is a cause of food spoilage, and therefore antioxidants are the main family of food additives. Antioxidants protect food substances affected by oxidation, thereby increasing their shelf life (Silva and Lidon 2016). Antioxidants in radical form maintain their chemical stability and are distinguished from other radicals by this property, protecting foods from deterioration

caused by color changes. There are many different types of antioxidants used as food additives in the food industry (Witkowski et al., 2022). Generally, there are natural and synthetic food additives. Due to their easy availability and low cost, synthetic antioxidants have adverse effects on the nervous system and cancer (Hassanpour and Doroudi 2023). Antioxidants used as food additives cause side effects on human health depending on the dose (Silva and Lidon 2016). However, these substances do not pose any health risks at approved/recommended concentrations (Franco et al., 2019).

1.2. Stabilizers

Stabilizers, which are food additives used to alter the mouthfeel and overall structure of food, modify or enhance the structure of food by changing its texture, consistency, viscosity, and creaminess (Zang et al., 2023). They are also food additives that preserve, intensify, and stabilize the existing color of food (Liao et al., 2021). These substances, which ensure the homogeneity of food components, are found in salts such as potassium, sodium, and calcium (Wu et al., 2022). Stabilizers are widely used in dairy products, puddings, frozen desserts, cakes, sauces, and jams (Zang et al., 2023).

1.3. Sweeteners

Sugar-free or reduced-calorie sweeteners are food additives commonly used in foods and food products as substitutes for sugar (Onaolapo and Onaolapo 2018; Bellanco et al., 2024). Due to the negative effects of sugar consumption on humans, sweeteners have been used for many years (Carocho et al., 2017). The consumption of sweeteners is increasing in many countries to normalize blood sugar or reduce calories (de Souza Lopes et al., 2023). Despite this increasing consumption, these substances added to foods to make them sweet are unreliable molecules (Carocho et al., 2017). These substances harm beneficial microorganisms by coming into contact with the gut microbiota as they pass through the gastrointestinal system (de Souza Lopes et al., 2023). Due to the consumption of these substances, diabetes, obesity, and metabolic disorders associated with sugar consumption are on the rise (Carocho et al., 2017). As with other food additives, sweeteners are subject to safe intake levels in safety assessments before being approved for use (Bellanco et al., 2024). Monosodium glutamate (MSG), commonly used as a flavor enhancer and generally considered safe, increases body weight by enhancing the flavor of foods (Ahmed 2016).

1.4. Preservatives

Food products are susceptible to deterioration due to enzymatic, chemical, physical, or microbiological processes that can cause unwanted changes in their nutritional value, quality, and food safety. Food additives such as food preservatives are used for processes such as extending the shelf life of foods (Novais et al., 2022). Preservatives used to prevent unwanted chemical changes and microbial activity prevent food spoilage (Hrncirova et al., 2019). Preservatives that prevent mold, bacteria, and yeast growth in foods are used to control product

quality, pH value, preserve taste and healthiness, maintain or increase nutritional value, preserve consistency, add color, promote fermentation, and enhance flavor. However, despite these effects, there are concerns about the use of these additives due to their harmful effects (Awuchi et al., 2020). Natural preservatives are attracting great interest as alternatives to synthetic and chemical preservatives (Bashir et al., 2017). It is believed that these food additives are safe when used carefully and in accordance with approved regulations (Franco et al., 2019).

1.5.Colorants

Food colorants, which are food additives that influence consumers perception of food, positively affect consumers purchasing decisions, sensory appeal, appetite, and purchasing decisions (Gebhardt et al., 2020; Albuquerque et al., 2021). These additives are added to foods to enhance their flavor perception, restore lost colors, and make them look appealing (Wu et al., 2022). Colorants are found in plant-based, artificial, animal-based, and natural forms (Gebhardt et al., 2020; Wu et al., 2022). Interest in colorants is increasing due to their low cost (Zhou et al., 2023). However, these substances have been linked to health problems such as hyperactivity and allergies (Faustino et al., 2019; Albuquerque et al., 2021). Nevertheless, the use of colorants is permitted in limited doses (Zhou et al., 2023).

2. EFFECTS OF FOOD ADDITIVES ON BRAIN AND OVARY TISSUE

2.1. Effects of Food Additives on Brain Tissue

Studies have reported that various food additives cause damage to brain tissue. A study conducted on mice reported that doses of 0.56, 1.125, and 2.25 mg/mL of the food additive sodium benzoate decreased glutathione (GSH) levels in brain tissue in a dose-dependent manner and caused damage by increasing malondialdehyde (MDA) levels in a dose-dependent manner (Khoshnoud et al., 2018). It has been stated that the administration of 7.5 mg/kg tartrazine in rats triggers oxidative stress, causing damage to brain tissue (Bhatt et al., 2018). It has been reported that titanium dioxide doses of 50, 100, and 200 mg/kg reduce acetylcholinesterase activity in rat brain tissue, causing damage by increasing interleukin-6 (IL-6) and glial fibrillary acidic protein (GFAP) levels (Grissa et al., 2016). Dose of 62 mg/kg potassium bromate has been reported to cause damage in rat brain tissue by triggering oxidative stress, inflammation, apoptosis, and endoplasmic reticulum stress (Aygörmez et al., 2025).

2.2. Effect of Food Additives on Ovary Tissue

It has been stated that potassium sorbate, a food additive, causes damage by increasing MDA levels and decreasing catalase (CAT) activity in the ovary tissue of female rats (Hasson Al-Husseini 2020). It has been reported that 400 mg/kg MSG causes damage by reducing estrogen levels in ovary tissue (El-Beltagy and Elghaweet 2016). Dose of 1200 mg/kg MSG has been reported to cause damage by reducing estrogen, CAT, superoxide dismutase (SOD), and

glutathione reductase parameters in rat ovary tissue (Abdel-Aziem et al., 2018). Studies have reported that various food additives cause damage to ovary tissue.

3. CONCLUSION

Today, many consumers prefer natural food additives over synthetic ones. This is because synthetic food additives have negative effects. However, the toxicity of natural food additives must also always be taken into account. Whether synthetic or natural food additives, even when used at recommended doses, carcinogenic, toxicological, and other safety studies must be conducted. For this reason, it is advisable that the toxic effects of food additives be supported by scientific studies.

4. REFERENCES

- Abdel-Aziem, S. H., Abd El-Kader, H. A., Ibrahim, F. M., Sharaf, H. A. Evaluation of the alleviative role of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* extract against ovarian dysfunctions induced by monosodium glutamate in mice, *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 16(2), 653-660, 2018.
- Ahmed, M. Effect of some food additives consumption on the body weight and toxicity and the possible ameliorative role of green tea extract, *Middle East Journal of Applied Sciences*, 6(4), 716-730, 2016.
- Albuquerque, B. R., Oliveira, M. B. P., Barros, L., Ferreira, I. C. Could fruits be a reliable source of food colorants? Pros and cons of these natural additives, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(5), 805-835, 2021.
- Aygörmez, S., Küçükler, S., Gür, C., Akaras, N., Maraşlı, Ş., Kandemir, F. M. Investigation of the effects of morin on potassium bromate-induced brain damage in rats via different pathways with biochemical and histopathological methods, *Food and Chemical Toxicology*, 201, 115466, 2025.
- Awuchi, C. G., Twinomuhwezi, H., Igwe, V. S., Amagwula, I. O. Food additives and food preservatives for domestic and industrial food applications, *Journal of Animal Health*, 2(1), 1-16, 2020.
- Bashir, K. M. I., Kim, J. S., An, J. H., Sohn, J. H., Choi, J. S. Natural food additives and preservatives for fish-paste products: A review of the past, present, and future states of research, *Journal of Food Quality*, 2017(1), 9675469, 2017.
- Bellanco, A., Celcar, Š., Martinez-Cuesta, M. C., Requena, T. The food additive xylitol enhances the butyrate formation by the child gut microbiota developed in a dynamic colonic simulator, *Food and Chemical Toxicology*, 187, 114605, 2024.
- Bhatt, D., Vyas, K., Singh, S., John, P. J., Soni, I. Tartrazine induced neurobiochemical alterations in rat brain sub-regions, *Food and Chemical Toxicology*, 113, 322-327, 2018.
- Carocho, M., Morales, P., Ferreira, I. C. Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come, *Food and Chemical Toxicology*, 107, 302-317, 2017.
- de Souza Lopes, A., Elisabete Costa Antunes, A., Idelça Aires Machado, K., Sartoratto, A., Cristina Teixeira Duarte, M. (2023). The impact of antimicrobial food additives and sweeteners

on the growth and metabolite production of gut bacteria, *Folia Microbiologica*, 68(5), 813-821, 2023.

El-Beltagy, A. E. F., and Elghaweet, H. A. Adverse effects of monosodium glutamate on the reproductive organs of adult Female albino rats and the possible ameliorated role of carob (*Ceratonia Siliqua*), *Journal of Bioscience and Applied Research*, 2(3), 170-184, 2016.

Faustino, M., Veiga, M., Sousa, P., Costa, E. M., Silva, S., Pintado, M. Agro-food byproducts as a new source of natural food additives, *Molecules*, 24(6), 1056, 2019.

Franco, R., Navarro, G., Martínez-Pinilla, E. Antioxidants versus food antioxidant additives and food preservatives, *Antioxidants*, 8(11), 542, 2019.

Gebhardt, B., Sperl, R., Carle, R., Müller-Maatsch, J. Assessing the sustainability of natural and artificial food colorants, *Journal of Cleaner Production*, 260, 120884, 2020.

Grissa, I., Guezguez, S., Ezzi, L., Chakroun, S., Sallem, A., Kerkeni, E., Elghoul, J., Mir, L. E., Mehdi, M., Cheikh, H., Haouas, Z. The effect of titanium dioxide nanoparticles on neuroinflammation response in rat brain, *Environmental Science and Pollution Research*, 23(20), 20205-20213, 2016.

Hassanpour, S. H., and Doroudi, A. Review of the antioxidant potential of flavonoids as a subgroup of polyphenols and partial substitute for synthetic antioxidants, *Avicenna journal of phytomedicine*, 13(4), 354, 2023.

Hasson Al-Husseini, A. M. The effect of induced oxidative stress by Short and long-terms Exposure to potassium sorbate (E202) as a food additive on the Female Reproductive System of Wistar Rats, *International Journal of Pharmaceutical Research* (09752366), 2020.

Hrnčirova, L., Machova, V., Trckova, E., Krejsek, J., Hrnčíř, T. Food preservatives induce proteobacteria dysbiosis in human-microbiota associated Nod2-deficient mice, *Microorganisms*, 7(10), 383, 2019.

Khan, H. U., Aamir, K., Sisinthy, S. P., Nagojappa, N. B. S., Arya, A. Food additive “lauric acid” possess non-toxic profile on biochemical, haematological and histopathological studies in female Sprague Dawley (SD) rats, *PeerJ*, 8, e8805, 2020.

Khoshnoud, M. J., Siavashpour, A., Bakhshizadeh, M., Rashedinia, M. Effects of sodium benzoate, a commonly used food preservative, on learning, memory, and oxidative stress in brain of mice, *Journal of biochemical and molecular toxicology*, 32(2), e22022, 2018.

Lerner, A., and Matthias, T. Changes in intestinal tight junction permeability associated with industrial food additives explain the rising incidence of autoimmune disease, *Autoimmunity reviews*, 14(6), 479-489, 2015.

Liao, Y. C., Chang, C. C., Nagarajan, D., Chen, C. Y., Chang, J. S. Algae-derived hydrocolloids in foods: applications and health-related issues, *Bioengineered*, 12(1), 3787-3801, 2021.

Moradi, M., Razavi, R., Omer, A. K., Farhangfar, A., McClements, D. J. Interactions between nanoparticle-based food additives and other food ingredients: A review of current knowledge, *Trends in food science & technology*, 120, 75-87, 2022.

Novais, C., Molina, A. K., Abreu, R. M., Santo-Buelga, C., Ferreira, I. C., Pereira, C., Barros, L. Natural food colorants and preservatives: A review, a demand, and a challenge, *Journal of agricultural and food chemistry*, 70(9), 2789-2805, 2022.

Onaolapo, A. Y., and Onaolapo, O. J. Food additives, food and the concept of ‘food addiction’: Is stimulation of the brain reward circuit by food sufficient to trigger addiction?, *Pathophysiology*, 25(4), 263-276, 2018.

- Silva, M. M., and Lidon, F. C. An overview on applications and side effects of antioxidant food additives, *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(12), 823-832, 2016.
- Thomas, O. E., and Adegoke, O. A. Toxicity of food colours and additives: A review, *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 9(36), 900-914, 2015.
- Zang, E., Jiang, L., Cui, H., Li, X., Yan, Y., Liu, Q., Chen, Z., Li, M. Only plant-based food additives: An overview on application, safety, and key challenges in the food industry, *Food Reviews International*, 39(8), 5132-5163, 2023.
- Zhou, X., Qiao, K., Wu, H., Zhang, Y. The impact of food additives on the abundance and composition of gut microbiota, *Molecules*, 28(2), 631, 2023.
- Witkowski, M., Grajeta, H., Gomułka, K. Hypersensitivity reactions to food additives-Preservatives, antioxidants, flavor enhancers, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11493, 2022.
- Wu, L., Zhang, C., Long, Y., Chen, Q., Zhang, W., Liu, G. Food additives: From functions to analytical methods, *Critical reviews in food science and nutrition*, 62(30), 8497-8517, 2022.
- Xia, B., Zainal Abidin, M. R., Wong, J. X., Dong, H., Ab Karim, S. Are food additives utilized judiciously? Novel insights into health risks, benefits, and ethical boundaries, *Food Reviews International*, 1-26, 2025.

HERHANGİ BİR AHŞAP MALZEMEDE YAPILAN 200 DERECEDEKİ ISIL İŞLEM UYGULAMASI İLE AHŞABA AİT OLAN SHORE D SERTLİK ÖZELLİĞİ DEĞİŞİR Mİ?

Doç. Dr. Osman ÇAMLİBEL¹, Doç. Dr. Abdi ATILGAN² ve Doç. Dr. Ümit AYATA³

¹Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, İç Mekan Tasarımı Pr., Kırıkkale, Türkiye

osmancamlibel@kku.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-8766-1316

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, İç Mekân Tasarımı Programı, Afyon, Türkiye

atilgan03@aku.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-5893-2113

^{3*}Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, Türkiye

Sorumlu yazar: umitayata@yandex.com, ORCID ID: 0000-0002-6787-7822

Özet

Herhangi bir ahşap malzeme üzerinde yapılan 200 derecedeki ısıtma işlemi uygulaması ile ahşaba ait olan mekanik, fiziksel, biyolojik, kimyasal, vb. özelliklerinin değiştiği bilinmektedir. Bu çalışmada, gonfalo, gele kabbes, kotibé, lacewood, longhi, rubber, pyinkado, quaruba, durian ve tulip ahşap türlerinde ısıtma işlemi sonrası shore D sertlik özellikleri araştırılmıştır. Varyans analizleri anlamlı olarak tespit edilmiştir. Yapılan ısıtma işlemi ile bütün ahşap türlerinde shore D sertlik değerleri için azalmaların (gonfalo için %13.51, pyinkado için %43.71, quaruba için %12.17, durian için %11.90, gele kabbes için %12.46, kotibé için %7.44, lacewood için %10.74, tulipwood için %8.10, longhi için %13.99, rubber için %14.90) elde edildikleri görülmektedir. Elde edilen sonuçların gerek ısıtma işlemi uygulamaları gerekse ahşap türleri açısından önemli bilgiler verdiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Shore D sertlik değeri, ısıtma işlemi, ahşap malzeme

Does the Shore D hardness property of wood change with the heat treatment applied to any wooden material at 200 degrees?

Abstract

It is known that heat treatment at 200 degrees on any wood material changes the mechanical, physical, biological, chemical, etc. properties of wood. In this study, shore D hardness properties of gonfalo, gele kabbes, kotibé, lacewood, longhi, rubber, pyinkado, quaruba, durian, and tulip wood species were investigated after heat treatment. Variance analyses were determined to be significant. It was observed that reductions in shore D hardness values were obtained for all wood species with heat treatment (13.51% for gonfalo, 43.71% for pyinkado, 12.17% for quaruba, 11.90% for durian, 12.46% for gele kabbes, 7.44% for kotibé, 10.74% for lacewood, 8.10% for tulipwood, 13.99% for longhi, and 14.90% for rubber). It was determined that the results obtained provided important information in terms of both heat treatment applications and wood species.

Keywords: Shore D hardness value, heat treatment, wood material

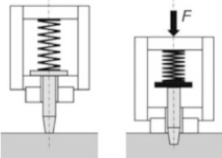
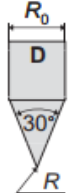
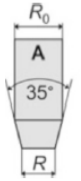
1. Giriş

Sertlik terimi “girintiye direnç ve aşınma veya çizilmeye direnç” şeklinde olmak üzere iki farklı anlamda kullanılmaktadır: Girintiye direnç, çoğunlukla ahşabın yoğunluğuna bağlı olmakla birlikte, aşınma nitelikleri, sertlik ve liflerin boyutu, kohezyonu ve düzeni gibi diğer faktörler tarafından yönetilebilir. Zeminler için kullanımda, bazı ahşaplar sıkışma ve pürüzsüz aşınma eğilimi gösterirken, diğerleri kıymık ve pürüzlü hale gelmektedir. İkinci anlamda, tokluk ile birleştirilmiş sertlik, ahşabın aşınma kabiliyetinin bir ölçüsüdür ve kaldırım taşları, ahşap zeminler, mil yatakları ve silindirler için kullanımında önemli bir husustur (Record, 1914).

Odununda shore D sertlik değeri ASTM D 2240 (2010)’a göre shore meter sertlik cihazında 5 kg’lık yük kullanılarak yapılmaktadır.

Shore sertlik ile ilgili bazı tanımlamalar (Grellmann ve Seidler, 2014) Çizelge 1’de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Shore sertlik ile ilgili bazı tanımlamalar (Grellmann ve Seidler, 2014)

Türleri	Test Kuvveti / Girinti Derinliği	Görünüş	Girinti Geometrisi
Shore	100 sayısı ile kuvvet altındaki penetrasyon derinliği [mm olarak] arasındaki farkın 0.025 mm ölçek değerine bölünmesiyle elde edilir.		Güçlendirilmiş çelik
Shore D	$0 \text{ mm} \leq h \leq 2.5 \text{ mm}$ $0 \text{ N} \leq F \leq 44.5 \text{ N}$		Küresel kapaklı Kesik koni $R = 0.1 \text{ mm}$ $R_0 = 1.25 \text{ mm}$
Shore AM	$0 \text{ mm} \leq h \leq 2.5 \text{ mm}$ $0.32 \text{ N} \leq F \leq 0.76 \text{ N}$		Küresel başlıklı kesik koni $R = 0.1 \text{ mm}$ $R_0 = 0.79 \text{ mm}$
Shore AO	$0 \text{ mm} \leq h \leq 2.5 \text{ mm}$ $0.55 \text{ N} \leq F \leq 8.05 \text{ N}$		Küresel $R = 2.5 \text{ mm}$
Shore A	$0 \text{ mm} \leq h \leq 2.5 \text{ mm}$ $0 \text{ N} \leq F \leq 44.5 \text{ N}$		Kesik koni $R = 0.79 \text{ mm}$ $R_0 = 1.25 \text{ mm}$

Ahşap ısıtma işlemi, 160°C’nin üzerindeki sıcaklıklarda inert atmosferde gerçekleştirilen ve ahşabın boyutsal kararlılığını, biyolojik dayanıklılığını ve titreşim özelliklerini önemli ölçüde iyileştirebilen bir ahşap modifikasyon teknolojisidir. Ayrıca, ahşabın rengini ayarlayabilmektedir ve ahşabı çevre dostu hale getirebilmektedir. Ancak, ahşabın mekanik özellikleri, özellikle eğilme dayanımı ve darbe dayanımı, yüksek sıcaklık nedeniyle zayıflar.

Hemiselülozların bozunması, ısıtma işlemi görmüş ahşabın özelliklerini belirleyen faktördür. Bu da ahşabın hidrofilik gruplarını ve besin maddelerini azaltmaktadır. Ahşabın tokluğunu düşürmektedir ve parlaklık indeksini etkilemektedir (Gu ve ark., 2019).

Bu çalışmada, gonfalo, gele kabbes, kotibé, lacewood, longhi, rubber, pyinkado, quaruba, durian ve tulip ahşap türlerinde ısıtma işlemi sonrası shore D sertlik özellikleri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

100 mm x 100 mm x 15 mm ölçülerine sahip gonfalo (*Qualea albiflora*), gele kabbes (*Vatairea guianensis*), kotibé (*Nesogordonia papaverifera*), lacewood (*Panopsis rubellens*), longhi (*Gambeya africana*), rubber (*Hevea brasiliensis*), pyinkado (*Xylia xylocarpa*), quaruba (*Vochysia tomentosa*), durian (*Durio spp.*) ve tulipwood (*Dalbergia decipularis*) odun türleri kullanılmıştır. İklimlendirme uygulamaları gerçekleştirilmiştir (ISO 554, 1976).

Yabancı ağaç türlerine ait odun örnekleri, 200°C sıcaklıktaki ısıtma işlemi fırınında 3 saat süreyle ısıtma işlemine tabi tutulmuştur.

Shore D sertlik değerleri shore meter cihazında 5 kg'lık yük uygulamalı olacak şekilde yapılmıştır (ASTM D 2240, 2010) (Şekil 1). 10 ölçüm ile deneyler tamamlanmıştır.



Şekil 1. Shore meter D ölçüm cihazı

Bir istatistik programı tarafından standart sapmaları, maksimum ve minimum değerleri, homojenlik grupları, ortalamalar, varyans analizleri ve % değişimleri hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çizelge 2'de gösterilmiş olan shore D sertlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları incelendiğinde ağaç türü (A), ısıtma işlem uygulaması (B) ve etkileşim (AB) açısından bakıldığında anlamlı şekilde belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Shore D sertlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$ (*: Anlamlı)
Ağaç Türü (A)	9	13934.225	1548.247	385.829	0.000*
Isıtma İşlem Uygulaması (B)	1	3638.045	3638.045	906.615	0.000*
Etkileşim (AB)	9	1212.305	134.701	33.568	0.000*
Hata	180	722.300	4.013		
Toplam	200	619567.000			
Düzeltilmiş Toplam	199	19506.875			

Çizelge 3'de shore D sertlik değerlerine ait sonuçları sunulmaktadır. Yapılan ısıtma işlemi ile bütün ahşap türlerinde shore D sertlik değerleri için azalmaların elde edildikleri

görülmektedir. Bu oranlar şu şekilde hesaplanmıştır: gonfalo için %13.51, gele kabbes için %12.46, kotibé için %7.44, lacewood için %10.74, longhi için %13.99, rubber için %14.90, pyinkado için %43.71, quaruba için %12.17, durian için %11.90 ve tulipwood için %8.10 (Çizelge 3).

Çizelge 3. Shore D sertlik değerlerin için elde edilen sonuçlar

Ağaç Türü	Isıl İşlem Uygulaması	Mini- mum	Maksi- mum	Orta- lama (HD)	Değişim (%)	Homojenlik Grubu *: En yüksek sonuç, **: En düşük sonuç	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı
Durian	Yok	53.00	55.00	53.80	↓11.90	H	0.63	1.18
	Var	46.00	50.00	47.40		L	1.43	3.02
Gele Kabbes	Yok	68.00	70.00	69.00	↓12.46	A	0.67	0.97
	Var	56.00	64.00	60.40		E	3.20	5.30
Gonfolo	Yok	65.00	68.00	66.60	↓13.51	C	1.35	2.03
	Var	55.00	59.00	57.60		G	1.65	2.86
Kotibé	Yok	55.00	60.00	57.80	↓7.44	FG	1.48	2.55
	Var	52.00	56.00	53.50		HI	1.72	3.21
Lacewood	Yok	56.00	62.00	59.60	↓10.74	EF	2.50	4.20
	Var	52.00	54.00	53.20		HI	1.03	1.94
Longhi	Yok	54.00	61.00	58.60	↓13.99	G	3.13	5.35
	Var	49.00	53.00	50.40		JK	1.58	3.13
Pyinkado	Yok	49.00	56.00	51.70	↓43.71	IJ	2.67	5.16
	Var	25.00	33.00	29.10		O**	3.00	10.30
Quaruba	Yok	41.00	49.00	45.20	↓12.17	M	3.01	6.66
	Var	39.00	40.00	39.70		N	0.48	1.22
Rubber	Yok	55.00	61.00	57.70	↓14.90	FG	2.87	4.97
	Var	48.00	51.00	49.10		KL	1.20	2.44
Tulip	Yok	69.00	72.00	70.40	↓8.10	A*	1.07	1.53
	Var	63.00	66.00	64.70		D	1.25	1.93
Ölçüm Sayısı: 10								

Mukavemet kaybında yaşanan durumun nedeni olarak, selüloz ve lignine kıyasla ısıya daha az dayanıklı olan hemiselülozun parçalanmasıdır. Hemiselülozdaki değişikliklerin, yüksek sıcaklıklarda ısıtılan ahşabın mukavemet özelliklerine önemli ölçüde katkıda bulunduğu bildirilmiştir (Hillis, 1984).

4. Sonuçlar

Yapılan 200 derecede 3 saatlik ısıtım uygulaması ile bütün ahşap türlerinde shore D sertlik değerleri için azalmalar tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- ASTM D 2240, (2010). Standard test method for rubber property-durometer hardness, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, United States.
- Grellmann, W., and Seidler, S., (2014). Part 3: Mechanical and Thermomechanical Properties of Polymers: Subvolume A: Polymer Solids and Polymer Melts (Landolt-Börnstein: Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology - New Series) 2014th Edition, Karl-Friedrich Arndt (Editor), Manfred Dieter Lechner (Editor), Christian Bierögel (Contributor), Ines Kotter (Contributor), Ralf Lach (Contributor), Beate Langer (Contributor), Katrin Reincke (Contributor), Vasiliki-Maria Archodoulaki (Contributor). DOI 10.1007/978-3-642-55166-6.

- Gu, L. B., Ding, T., and Jiang, N., (2019). Development of wood heat treatment research and industrialization, *Journal of Forestry Engineering*, 4(4): 1-11. DOI: 10.13360/j.issn.2096-1359.2019.04.001.
- Hillis, W.E., (1984). High temperature and chemical effects on wood stability, *Wood Science and Technology*, 18(4): 281-293. DOI: 10.1007/BF00353364.
- ISO 554, (1976). Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- Record, S.J., (1914). The mechanical properties of wood: Including a duscussion of the factors affecting the mechanical properties, and methods of timber testing, Chapman & Hall; 1st edition, 165 pages.

EBİARA ODUNUNDA FARKLI ÖZELLİKLERDE HAZIRLANMIŞ AHŞAP KORUYUCU KİMYASALLARININ UYGULANMASI

Doç. Dr. Osman ÇAMLİBEL¹, Doç. Dr. Göksel ULAY² ve Doç. Dr. Ümit AYATA³

¹Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, İç Mekan Tasarımı
Pr., Kırıkkale, Türkiye

osmancamlibel@kku.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-8766-1316

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Van Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme
Teknolojisi Bölümü, Mobilya Dekorasyon Programı, Van, Türkiye
g.ulay@yyu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4080-8816,

^{3*}Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü,
Bayburt, Türkiye

Sorumlu yazar: umitayata@yandex.com, ORCID ID: 0000-0002-6787-7822

Özet

Bu çalışmada, ebiara (*Berlinia bracteosa* Benth.) odununda farklı özelliklerde hazırlanmış ahşap koruyucu kimyasallarının [mat koruyucu verniği, yarı mat koruyucu verniği, tik yağı, vişne ağacı reçinesi ve arı balmumu + Hindistan cevizli yağ] uygulanması sonrasında meydana gelen bazı optik özelliklerinde değişimler incelenmiştir. *b** parametresinde arı balmumu + Hindistan cevizli yağ, ahşap mat koruyucu verniği, ahşap yarı mat koruyucu verniği ve tik yağı ile yapılan uygulamalar sonrasında azalışlar bulunurken, vişne ağacı reçinesi ile artış belirlenmiştir. Ahşap mat koruyucu verniği, ahşap yarı mat koruyucu verniği, tik yağı, vişne ağacı reçinesi ve arı balmumu + Hindistan cevizli yağ kimyasallarının ahşap malzeme yüzeylerine uygulanması ile *h^o* ve *L** değerlerinde azalışlar, *a** ve *C** değerlerinde artışlar elde edilmiştir. ΔE^* değerleri ahşap mat koruyucu verniği ile 6.91 olarak, vişne ağacı reçinesi ile 9.21 olarak ve ahşap yarı mat koruyucu verniği ile 11.42 olarak tik yağı ile 14.67 olarak ve arı balmumu + Hindistan cevizli yağ ile olarak 15.50 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Ebiara, mat koruyucu verniği, yarı mat koruyucu verniği, tik yağı, vişne ağacı reçinesi, arı balmumu, Hindistan cevizli yağ

Application of Wood Preservative Chemicals Prepared with Different Properties on Ebiara Wood

Abstract

In this study, changes in some optical properties of ebiara (*Berlinia bracteosa* Benth.) wood after the application of wood preservative chemicals prepared with different properties [matte protective varnish, semi-matte protective varnish, teak oil, sour cherry resin and beeswax + coconut oil] were investigated. While decreases were found in the *b** parameter after applications with beeswax + coconut oil, wood matte protective varnish, wood semi-matte protective varnish and teak oil, an increase was determined with sour cherry resin. Decreases in *h_o* and *L** values, and increases in *a** and *C** values were obtained with the application of wood matte protective varnish, wood semi-matte protective varnish, teak oil, sour cherry resin and beeswax + coconut oil chemicals to the wood material surfaces. ΔE^* values were calculated as 6.91 with matt wood protective varnish, 9.21 with cherry resin, 11.42 with semi-matte wood protective varnish, 14.67 with teak oil, and 15.50 with beeswax + coconut oil.

Keywords: Ebiara, matt protective varnish, semi-matte protective varnish, teak oil, cherry resin, beeswax, coconut oil

1. Giriş

Ahşap, bina yapılarından oyuncaklara, kâğıttan diğer günlük nesnelere kadar yaşamın birçok alanında kullanılmaktadır. Yaygın kullanımı, dünya çapındaki üniversitelerde yürütülen birçok çalışmanın konusu haline getirmiş ve sonuçları, ağaç işleme süreçlerinin verimliliği üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Ahşabın anizotropik ve heterojen bir malzeme olması, en iyi şekilde kullanılabilmesi için özelliklerinin ayrıntılı olarak bilinmesini gerektirmektedir (Sierant ve Antczak, 2020).

Ahşabın kullanımı uzun bir geleneğe dayanmaktadır ve insanlığın en eski yapı malzemelerinden biridir. İnsanların ahşapla sıcaklık, doğallık ve güvenlik gibi hisleri ilişkilendirmesi şaşırtıcı değildir (Rice ve ark., 2006; Schnabel, 2009).

Ahşap koruma, ahşap veya ahşap esaslı malzemelerin bozulmasını veya tahribatını önleyen veya yavaşlatan tüm önlemleri ifade etmektedir (Prieto ve Kiene, 2019).

Dekoratif amaçlı kullanımlar (parke, panel, mobilya vb.) ve şeffaf kaplamalarla korunan dış cephe doğramaları için doğal ahşap yüzeylerin renk stabilizasyonu gereklidir. Ahşap yüzey rengini stabilize eden yeni işlemlerin bulunması, endüstride (örneğin doğramacılıkta) kolayca uygulama alanı bulacaktır. Son zamanlarda Almanya, İsviçre ve Fransa'daki bazı şirketler, daha verimli çalıştığı görülen yeni nesil UV emiciler üzerinde çalışmaktadır. (Ayadi ve ark., 2003). Balmumu, üretiminde veya kullanımında herhangi bir sorun yaratmayan yenilenebilir bir kaynaktır. Organik çözücüler uygulama sırasında sağlık riski oluşturur ve hatta uygulamadan kısa bir süre sonra iç mekân ortamında sorunlara neden olabilir. İşlenmiş malzemelerin yeniden kullanımı, geri dönüşümü, enerji geri dönüşümü ve kompostlama veya atık bertarafı herhangi bir sorun yaratmaz (Berge, 2009).

Leguminosae, yaklaşık 730 cins ve yaklaşık 19.300 tür içeren dünyanın üçüncü büyük bitki ailesidir. Tür sayısı göz önüne alındığında, yaklaşık 170 cinsten yaklaşık 2.250-3.000 tür içeren *Caesalpinioideae*, baklagil ailesinin genellikle alt bölümlere ayrıldığı üç alt ailenin ikinci en büyüğüdür. *Caesalpinioideae* özellikle Güney Amerika, tropikal Afrika ve Güneydoğu Asya'da bol miktarda bulunmaktadır (Heywood, 1978; Polhill ve Raven, 1981; De la Estrella ve ark., 2006).

Berlinia, kapalı tohumlular familyası *Leguminosae*'nin bir üyesidir. İlk olarak 1849 yılında Hooker ve Benth tarafından üç farklı koleksiyondan (Smeathmann s.n., Ansell s.n. ve Heudelot 1886) tanımlanmıştır ve bu koleksiyonlar tek bir türe (*B. acuminata* Sol. ex Hook.f. & Benth.) atfedilmiştir. *Berlinia*'nın günümüzde kabul edilen dar sınırları, Leonard (1957) tarafından Harms'ın *Euberlinia* ve *Macroberlinia* kesitlerine dayanarak oluşturulmuştur. Cins, *Caesalpinioideae*'nin Detarieae sensu lato kabilesine aittir ve Batı Afrika'da 10 türden oluşmaktadır, sekizi Nijerya'da bulunmuştur (Hutchinson ve Dalziel, 1958; Keay, 1989; Soladoye ve Lewis, 2003; Ayodele ve Yang, 2012; Chukwuma ve ark., 2016).

Bu ağaç türüne ait odunu dayanıklılık, yoğunluk ve kullanışlılık açısından genel olarak beyaz meşeye (*Quercus alba*) benzemektedir. Zarif iç mekan doğramalarında kullanılabilen, çekici ve dekoratif bir sert ağaçtır. Kabuktaki yaralardan beyaz reçine sızdığı bildirilmiştir (Allen ve Allen, 1981).

Bu çalışmada, ebiara odununda farklı özelliklerde hazırlanmış ahşap koruyucu kimyasallarının uygulanması sonrasında meydana gelen bazı optik özelliklerinde değişimler araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, ebiara (*Berlinia bracteosa* Benth.) odunu kullanılmıştır. 100 mm x 100 mm x 20 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Örnekler üzerinde iklimlendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir (ISO 554, 1976).

Deneyisel tasarım aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur:

Kontrol grubu: Herhangi bir uygulama yapılmamış örneklerden oluşmaktadır.

Vişne ağacı reçinesine ait koruyucu sıvı: Vişne ağacı reçinesi sıcak suda kaynatılarak elde edilmiş ve fırça yardımıyla ahşap yüzeylere tek kat olarak uygulanmıştır. Uygulamanın ardından örnekler, oda koşullarında 24 saat süreyle kurutulmuştur.

Mat ahşap verniği: Alkid esaslı ve şeffaf yapıdadır. 24 saat arayla iki kat olarak uygulanmış, tek katta 1 litre ile 10-28 m² alan kaplanmıştır.

Yarı mat ahşap verniği: Alkid esaslı ve şeffaftır. 24 saat arayla iki kat uygulanmış, tek katta 1 litre ile 12-18 m² alan kaplanmıştır.

Tık yağı: Tek bileşenli, şeffaf ve sentetik reçine esaslıdır. Tek katta 1 litre ile 16-88 m² alan kaplanmıştır.

Vernikleme işlemleri, ASTM D3023-98 (2017) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Uygulama öncesi ve sonralarına ait yüzeyler üzerinde yapılan renk değişimleri CS-10 cihazında (ASTM D 2244-3, 2007) belirlenmiştir. Aşağıdaki formüller ile toplam renk farklılıkları hesaplanmıştır.

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (1)$$

$$\Delta a^* = (a^* \text{ yüzey koruyucu ile kaplanmış ahşap deney örneği}) - (a^* \text{ işlem görmemiş}) \quad (2)$$

$$\Delta L^* = (L^* \text{ yüzey koruyucu ile kaplanmış ahşap deney örneği}) - (L^* \text{ işlem görmemiş}) \quad (3)$$

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (4)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (5)$$

$$\Delta C^* = (C^* \text{ yüzey koruyucu ile kaplanmış ahşap deney örneği}) - (C^* \text{ işlem görmemiş}) \quad (6)$$

$$h^0 = \arctan (b^*/a^*) \quad (7)$$

$$\Delta b^* = (b^* \text{ yüzey koruyucu ile kaplanmış ahşap deney örneği}) - (b^* \text{ işlem görmemiş}) \quad (8)$$

ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* değerlerine ait tanımlamalar (Lange, 1999) Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* değerlerine ait tanımlamalar (Lange, 1999)

Parametre	Pozitif durumda	Negatif durumda
ΔC^*	Referansa göre, daha net ve daha parlak	Mat, referansa göre daha bulanık
Δa^*	Referansa göre daha kırmızı	Referansa göre daha yeşil
Δb^*	Referansa göre daha sarı	Referansa göre daha mavi
ΔL^*	Referansa göre daha açık	Referansa göre daha koyu

ΔE^* kıyaslama kriterleri (DIN 5033, 1979) Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. ΔE^* için kriterler (DIN 5033, 1979)

ΔE^* değeri	Görsel fark	ΔE^* değeri	Görsel fark
<0.20	Algılanamaz	3.00 ila 6.00	Çok belirgin
0.20 ila 0.50	Çok zayıf	6.00 ila 12.00	Güçlü
0.50 ila 1.50	Zayıf	> 12.00	Çok güçlü
1.50 ila 3.00	Belirgin		

Bir istatistik programı ile en düşük ve en yüksek ölçümlere ait veriler, varyans analizleri, ortalamalar, standart sapma, % değişim oranları ve homojenlik grupları hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Renk parametrelerine ait belirlenmiş ölçüm sonuçları Çizelge 3’de sunulmaktadır. b^* parametresinde arı balmumu + Hindistan cevizli yağ ile %23.31, ahşap mat koruyucu verniği ile %3.30, ahşap yarı mat koruyucu verniği ile %14.10 ve tik yağı ile %22.91 oranlarında azalışlar bulunurken, vişne ağacı reçinesi ile %0.97 oranında artış elde edilmiştir. Ahşap mat koruyucu verniği, ahşap yarı mat koruyucu verniği, tik yağı, vişne ağacı reçinesi ve arı balmumu + Hindistan cevizli yağ kimyasallarının ahşap malzeme yüzeylerine uygulanması ile h^o değerlerinde (sırası ile %9.10, %22.57, %35.78, %12.97 ve %34.00) ve L^* değerlerinde (sırası ile %13.34, %20.98, %24.94, %16.89 ve %27.70) azalışlar, a^* değerlerinde (sırası ile %13.22, %27.18, %45.65, %26.38 ve %40.07) ve C^* değerlerinde (sırası ile %4.02, %5.27, %10.45, %12.44 ve %8.12) artışlar tespit edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Renk parametrelerine ait belirlenmiş ölçüm sonuçları

Test	Ahşap Koruyucu Kimyasal Türü	Minimum	Maksimum	Ortalama	Değişim (%)	Homojenlik Grubu En yüksek sonuç, En düşük sonuç	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı
L^*	W1	49.24	49.54	49.39	-	A*	0.08	0.17
	W2	42.21	43.07	42.80	↓13.34	B	0.30	0.71
	W3	37.83	39.64	39.03	↓20.98	D	0.51	1.32
	W4	36.84	37.62	37.07	↓24.94	E	0.22	0.59
	W5	40.22	41.87	41.05	↓16.89	C	0.70	1.71
	W6	35.13	36.24	35.71	↓27.70	F**	0.42	1.17
a^*	W1	14.87	15.38	15.05	-	E**	0.15	0.98
	W2	16.26	17.68	17.04	↑13.22	D	0.42	2.45
	W3	18.79	19.39	19.14	↑27.18	C	0.21	1.10
	W4	21.45	22.24	21.92	↑45.65	A*	0.22	1.01
	W5	18.72	19.35	19.02	↑26.38	C	0.20	1.04
	W6	20.06	21.91	21.08	↑40.07	B	0.64	3.02
b^*	W1	17.30	17.93	17.59	-	A	0.19	1.09
	W2	16.16	17.61	17.01	↓3.30	B	0.47	2.75
	W3	13.89	15.93	15.11	↓14.10	C	0.55	3.67
	W4	13.39	13.80	13.56	↓22.91	D	0.16	1.21
	W5	17.47	18.13	17.76	↑0.97	A*	0.22	1.25
	W6	12.92	14.41	13.49	↓23.31	D**	0.48	3.57
C^*	W1	22.88	23.48	23.15	-	E**	0.21	0.91
	W2	22.93	24.66	24.08	↑4.02	D	0.51	2.13
	W3	23.85	24.93	24.37	↑5.27	D	0.37	1.52
	W4	23.93	26.04	25.57	↑10.45	B	0.62	2.41
	W5	25.61	26.29	26.03	↑12.44	A*	0.21	0.80
	W6	23.86	26.22	25.03	↑8.12	C	0.78	3.13
h^o	W1	49.04	49.85	49.44	-	A*	0.29	0.59
	W2	43.57	46.46	44.94	↓9.10	B	0.85	1.90
	W3	35.61	39.83	38.28	↓22.57	D	1.14	2.97
	W4	31.33	32.16	31.75	↓35.78	F**	0.32	1.00
	W5	42.19	43.61	43.03	↓12.97	C	0.47	1.10
	W6	32.20	33.33	32.63	↓34.00	E	0.32	0.97
W1: Kontrol (verniksiz), W2: Ahşap mat koruyucu verniği, W3: Ahşap yarı mat koruyucu verniği, W4: Tik yağı, W5: Vişne ağacı reçinesi, W6: Arı balmumu + Hindistan cevizli yağ, Ölçüm Sayısı: 10								

Renk parametrelerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir. Bütün renk parametreleri üzerinde ahşap koruyucu kimyasal türü anlamlı olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Renk parametrelerine ait varyans analizi sonuçları

Test	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$p \leq 0.05$ (*: Anlamlı)
L^*	Koruyucu Kimyasal Türü	1208.835	5	241.767	1346.186	0.000*
	Hata	9.698	54	0.180		
	Toplam	101302.671	60			
	Düzeltilmiş Toplam	1218.533	59			

a^*	Koruyucu Kimyasal Türü	321.795	5	64.359	525.878	0.000*
	Hata	6.609	54	0.122		
	Toplam	21705.851	60			
	Düzeltilmiş Toplam	328.403	59			
b^*	Koruyucu Kimyasal Türü	192.850	5	38.570	265.709	0.000*
	Hata	7.839	54	0.145		
	Toplam	15091.054	60			
	Düzeltilmiş Toplam	200.689	59			
C^*	Koruyucu Kimyasal Türü	55.106	5	11.021	44.569	0.000*
	Hata	13.353	54	0.247		
	Toplam	36683.246	60			
	Düzeltilmiş Toplam	68.460	59			
h^o	Koruyucu Kimyasal Türü	2481.784	5	496.357	1177.209	0.000*
	Hata	22.768	54	0.422		
	Toplam	98556.559	60			
	Düzeltilmiş Toplam	2504.552	59			

Toplam renk farklılıklarına ait sonuçları Çizelge 5’de sunulmuştur. ΔE^* değerleri ahşap mat koruyucu verniği ile 6.91 olarak, vişne ağacı reçinesi ile 9.21 olarak ve ahşap yarı mat koruyucu verniği ile 11.42 olarak bulunmuştur. Bu değerler ile “güçlü (6.00 ila 12.00)” kriteri elde edilmiştir. Buna ek olarak, ΔE^* değerleri tik yağı ile 14.67 olarak ve arı balmumu + Hindistan cevizli yağ ile olarak 15.50 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar neticesinde “çok güçlü (> 12.00)” şeklinde kriterin elde edildiği görülmüştür (Çizelge 5).

Çizelge 5. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçları

Ahşap Koruyucu Kimyasal Türü	ΔL^* ▼	Δa^* ▼	Δb^* ▼	ΔC^* ▼	ΔH^* ▼	ΔE^* ▼	Renk Kriteri (DIN 5033, 1979)
Ahşap mat koruyucu verniği	-6.59	1.99	-0.58	0.93	1.85	6.91	Güçlü (6.00 ila 12.00)
	Referansa göre daha koyu	Referansa göre daha kırmızı	Referansa göre daha mavi	Referansa göre, daha net ve daha parlak			
Vişne ağacı reçinesi	-8.34	3.97	0.17	2.88	2.75	9.24	
	Referansa göre daha koyu	Referansa göre daha kırmızı	Referansa göre daha sarı	Referansa göre, daha net ve daha parlak			
Ahşap yarı mat koruyucu verniği	-10.37	4.09	-2.47	1.22	4.62	11.42	
	Referansa göre daha koyu	Referansa göre daha kırmızı	Referansa göre daha mavi	Referansa göre, daha net ve daha parlak			
Tik yağı	-12.33	6.87	-4.03	2.42	7.58	14.67	Çok güçlü (> 12.00)
	Referansa göre daha koyu	Referansa göre daha kırmızı	Referansa göre daha mavi	Referansa göre, daha net ve daha parlak			
Arı balmumu + Hindistan cevizli yağ	-13.68	6.03	-4.09	1.88	7.04	15.50	
	Referansa göre daha koyu	Referansa göre daha kırmızı	Referansa göre daha mavi	Referansa göre, daha net ve daha parlak			

4. Sonuçlar

Çalışmada kullanılan ahşap mat koruyucu verniği, ahşap yarı mat koruyucu verniği, tik yağı, vişne ağacı reçinesi, arı balmumu + Hindistan cevizli yağ kimyasallarının ahşap malzeme üzerinde renk değiştirici etkide bulundukları görülmüştür.

Kaynaklar

- Allen, O.N., and Allen, E.K., (1981). The Leguminosae: A source book of characteristics, uses and nodulation, University of Wisconsin. ISBN: 0-333-32221-5.
- ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 3023-98, (2017). Standard practice for determination of resistance of factory-applied coatings on wood products to stains and reagents, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Ayadi, N., Lejeune, F., Charrier, F., Charrier, B., and Merlin, A., (2003). Color stability of heat-treated wood during artificial weathering, Holz als Roh-und Werkstoff, 61: 221-226. DOI: 10.1007/s00107-003-0389-2.
- Ayodele, A.E., and Yang, Y., (2012). Diversity and distribution of vascular plants in Nigeria. Qingdao Publishing House, China, 350 pp.
- Berge, B., (2009). The ecology of building materials/Translated by C. Butters and F. Henley. ISBN: 978-1-85617-537-1.
- Chukwuma, E.C., Ayodele, A.E., Soladoye, M.O., and Adewumi, D.M., (2016). Numerical taxonomy of *Berlinia* species (Caesalpinioideae: Leguminosae) and their distribution in Nigeria, Journal of Threatened Taxa, 8(2): 8443-8451. DOI: 10.11609/jott.1979.8.2.8443-8451.
- De la Estrella, M., Cabezas, F. J., Aedo, C., and Velayos, M., (2006). Checklist of the *Caesalpinioideae* (Leguminosae) of Equatorial Guinea (Annobón, Bioko and Río Muni). Botanical Journal of the Linnean Society, 151(4): 541-562.
- DIN 5033, (1979). Deutsche Normen, Farbmessung, Normenausschuß Farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung eV. Beuth. Berlin März.
- Heywood, V.H., (1978). Flowering plants of the World. London: Oxford University Press.
- Hutchinson, J., and Dalziel, J.M., (1958). Flora of West Tropical Africa (Vol. 1 Part 2). Crown Agents for Oversea Governments and Administrations, Millbank, London, 469-471pp.
- ISO 554, (1976). Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- Keay, R.W.J., (1989). Trees of Nigeria, Oxford University Press, New York. 476 pp.
- Lange, D.R., (1999). Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e. DR Lange: New York, NY, USA.
- Polhill, R.M., and Raven, P.H., (1981). Advances in legume systematics. Part 1. Kew: Royal Botanic Gardens/ London: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
- Prieto, J., and Kiene, J., (2019). Holzbeschichtung. Farbe Und Lack. ISBN: 3-7486-0171-9.
- Rice, J., Kozak, R.A., Meitner, M.J., and Cohen, D.H., (2006). Appearance wood products and psychological well-being. Wood Fiber Sci 38(4): 644-659.
- Schnabel, T., (2009). Holzoberflächen-Klassifizierung, Modellbildung und Umweltsimulation von optischen Eigenschaften (Doctoral dissertation, Technische Universität München).
- Sierant, D., and Antczak, A., (2020). Comparison of the chemical composition of domestic common hornbeam (*Carpinus betulus* L.) wood and exotic yakal (*Shorea astylosa* Foxw.) wood. Annals of Warsaw University of Life Sciences SGGW (Forestry and Wood Technology), 212, 5-10.
- Soladoye, M.O., and Lewis, G.P., (2003). A Checklist of Nigerian Legumes. CENRAD Natural Resources Research Assessment and Conservation Series 03. Ibadan, Nigeria, West Africa, 141 pp.

KORİNA ODUNUNDA RENK DEĞİŞTİRME AMAÇLI FARKLI UYGULAMALARIN YAPILMASI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Doç. Dr. Abdi ATILGAN¹, Prof. Dr. Hüseyin PEKER² ve Doç. Dr. Ümit AYATA³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, İç Mekân Tasarımı Programı, Afyon, Türkiye

atilgan03@aku.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-5893-2113

²Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye

peker100@artvin.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7771-6993

³*Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, Türkiye

Sorumlu yazar: umitayata@yandex.com, ORCID ID: 0000-0002-6787-7822

Özet

Bu çalışmada, 212 derecede 2 saat süre ile ısıtıl işlem görmüş ve görmemiş korina odununda renk değiştirme amaçlı hazırlanmış 2 farklı çözeltinin (kahve + sirke ve gomalak + ispirto) uygulanması sonrasında meydana gelen renk parametrelerindeki değişimler araştırılmıştır. Isıtıl işlemsiz örneklerde hazırlanan çözeltilerle L^* değerlerinde azalışlar bulunurken, b^* , C^* ve a^* değerlerinde artışlar belirlenmiştir. Buna ek olarak bu örnek grubunda h^0 parametresinde kahve + sirke karışımına ait çözelti ile artış görülürken, gomalak + ispirto karışımına ait çözelti ile azalış tespit edilmiştir. Isıtıl işlemli örnekler üzerinde ise a^* , b^* , C^* ve L^* değerlerinde kahve + sirke karışımına ait çözelti ile azalış bulunurken, gomalak + ispirto karışımına ait çözelti ile artış tespit edilmiştir. Buna ek olarak bu örnek grubunda h^0 parametresinde her iki çözelti ile artışlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sirke, gomalak cilası, atık kahve tozu, karbonat, renk değişimi, korina odunu.

A Study on Different Applications for Color Changing in Korina Wood

Abstract

This study investigated the changes in color parameters following the application of two different solutions (coffee + vinegar and shellac + spirit) prepared for color change on both heat-treated and untreated korina wood for 2 h at 212 degrees Celsius. While L^* values decreased with the prepared solutions in non-heat-treated samples, b^* , C^* , and a^* values increased. Additionally, in this sample group, the h^0 parameter increased with the coffee + vinegar solution, while a decrease was observed with the shellac + spirit solution. In the heat-treated samples, a^* , b^* , C^* , and L^* values decreased with the coffee + vinegar solution, while an increase was observed with the shellac + spirit solution. Additionally, increases in the h^0 parameter were observed with both solutions in this sample group.

Keywords: Vinegar, shellac polish, waste coffee powder, baking soda, color change, korina wood.

1. Giriş

Ahşap, antik çağlardan beri insanlığın en yaygın kullandığı yenilenebilir kaynaklardan biridir. Ahşabın fiziksel ve mekanik özelliklerinin bilinmesi, endüstriyel süreçleri optimize etmek ve pazar taleplerini karşılayacak giderek daha iyi ahşap bazlı malzemeler elde etmek için gereklidir (Simón ve ark., 2016).

Terminalia Superba, *Combretaceae* familyasından büyük bir ağaçtır ve Batı Tropikal Afrika'ya özgüdür (Burkill, 1985; Olayode, 2016).

Batı Afrika'da Benin, Gana, Fildişi Sahili, Gine-Bissau, Liberya, Gine, Nijerya ve Sierra Leone'de bulunmaktadır. Doğal dağılım alanının dışında, Tanzanya, Zimbabve, Madagaskar, Malezya, Filipinler, Fiji, Avustralya ve Arjantin gibi birçok tropikal ülkede umut vadeden bir kereste plantasyonu türü olarak dikildiği bildirilmiştir (Kimpouni, 2009; Asomaning, 2020).

Genellikle kara korina olarak adlandırılırken, Nijerya'daki yerel isimleri afara (yoruba) ve baushe'dir (hausa). Nispeten geniş bir yelpazede kâğıt hamuru üretme kabiliyeti sunarak kâğıt yapımında potansiyel bir öneme sahip olduğu söylenmiştir (Dupuy ve Mille, 1993; Olayode, 2016).

Bu ağaç, yıllık ortalama yağış 1500 mm'yi aşan ve dört aydan az bir kurak mevsimde ikincil tropik yarı yaprağını döken ormanları temsil etmektedir (Orwa ve ark., 2009).

Bu ağaca ait odununda genellikle hem öz odun hem de diri odun, açık meşe ağacına benzer şekilde açık gri-beyazdan soluk krem-kahverengiye kadar değişen bir renktedir. Ancak bazen öz odun, neredeyse siyah olabilen çizgilerle düzensiz grimsi lekeler içermektedir. Bu odun ekstra bir fiyat getirebilmektedir. Bu lekelerin nedeninin tam olarak anlaşılamadığı bildirilmiştir (Record, 1929; Normand, 1947; Gerry, 1950).

Ahşabı iç doğramacılık, kapı direkleri ve panelleri, kalıplar, mobilyalar, ofis donanımları, kasalar, kibritler ve özellikle kaplama ve kontrplakta değerlidir. Hafif inşaat, hafif döşeme, gemi yapımı, müzik aletleri, sunta, sunta ve kâğıt hamuru için uygun olduğu bildirilmiştir (Groulez ve Wood, 1985; Asomaning, 2020).

Bu ağacın odununun kullanım alanlarına bakıldığında; çok amaçlı kontrplak üretiminde, iç ve dış mekânlarda evlerin yapımında, parke zeminlerde (Jansen, 1974) değerlendirildiği bildirilirken, başka bir literatür bilgisine göre ise mobilya ve dolap işleri iç doğrama, çerçeve ve kaplamalar, paneller, kaplamalar ve pervazlar, döner ve dekoratif kaplama ve kontrplak (Oteng-Amoako, 2006) alanlarında kullanıldığı bildirilmiştir.

Bu ağaç türü, Afrika'da geleneksel şifacılar tarafından diyabet hastalığı için tedavi olarak kullanılan bir bitkidir. Güney Senegal'deki Sotho halkı, bu bitkinin toz haline getirilmiş gövde kabuğunu diyabete karşı kullandığı bildirilmiştir. Nijer ve Mali'de bu bitki hepatit tedavisinde kullanıldığı da söylenmiştir (Ajanohoun ve ark., 1979; 1980; Wansi ve ark., 2007).

Bu ağaç türüne ait odununda, radyal yönde daralma %4.40 ve teğet yönde daralma %5.40 (Kukachka, 1970), shore D sertlik değeri 35.30 HD (Esteves ve ark., 2021), ekstraksiyon suda %4.80, pentozan %15.50, lignin %29.00, selüloz %43.00, kül miktarı %0.87, silika %0.009 ve ekstraksiyon etanolde %2.61 (Gérard ve ark., 2019), selülozu %44.20, etanol - benzen çözünürlüğünü %3.40, pentozanı %16.40, kül miktarını %3.10, sıcak su çözünürlüğünü %3.40, lignini %29.20 (Savard ve ark., 1960), eğilme direnci 60.215 N/mm², elastikiyet modülü 28205 N/mm² ve liflere paralel çekme direnci 33.036 N/mm² (Keskin ve Çolakoğlu, 2006), T/R anizotropi oranı 1.40, ısı iletkenlik değeri 0.19 W/(m.K) (Guibal ve ark., 2017), deniz suyunda 1 yıl süre ile bekletildikten sonra meydana gelen ağırlık kaybı %33.12 (Şen ve Yalçın, 2010) olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada, ısıl işlem görmüş ve görmemiş korina odununda renk değiştirme amaçlı farklı uygulamalar (hazırlanmış 2 farklı çözelti: kahve + sirke ve gomalak + ispirto) yapılmış sonrasında ise meydana gelen renk parametrelerindeki değişimler incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, korina (*Terminalia superba* Engl. et Diels) odununa ait olan ısıtıl işlemli ve işlemsiz deney örnekleri 100 mm x 100 mm x 20 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Örnekler üzerinde iklimlendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir (ISO 554, 1976).

Deneysel tasarım şu şekilde oluşturulmuştur:

A1: Kontrol deney örneği (herhangi bir yüzey işlemi yok).

A2: Kontrol deney örneği yüzeylerine çözelti [su (250 ml) + atık kahve tozunun (100 g) + nar sirkesi (50 ml) karışımının 10 dakika süre ile kaynatılması ile hazırlanmış] uygulanmış hali.

A3: Kontrol deney örneği yüzeylerine 5 defa gomalak (100 ml gomalak + 100 ml ispirto karışımı) cılası uygulanmış deney örneği.

A4: 200°C'de 2 saat süre ile ısıtıl işlemli olan deney örneği (herhangi bir yüzey işlemi yok).

A5: 200°C'de 2 saat süre ile ısıtıl işlemli deney örneği yüzeylerine çözelti [su (250 ml) + atık kahve tozunun (100 g) + nar sirkesi (50 ml) karışımının 10 dakika süre ile kaynatılması ile hazırlanmış] uygulanmış hali.

A6: 200°C'de 2 saat süre ile ısıtıl işlem görmüş deney örneği yüzeylerine 5 defa gomalak (100 ml gomalak + 100 ml ispirto karışımı) cılası uygulanmış hali.

Uygulama öncesi ve sonrası yüzey renk değişimleri, bir renk cihazı ve ASTM D 2244-3 (2007) standardı ile belirlenmiştir. ΔC^* parametresi renk doygunluğundaki farkı, ΔH^* ise ton veya gölge farklılığını ifade etmektedir (Lange, 1999). Toplam renk farkları aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır.

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{işlem görmüş}}) - (C^*_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (1)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (2)$$

$$h^0 = \arctan (b^*/a^*) \quad (3)$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (4)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{işlem görmüş}}) - (a^*_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (5)$$

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (6)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{işlem görmüş}}) - (L^*_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (7)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{işlem görmüş}}) - (b^*_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (8)$$

Çizelge 1'de Jirouš ve Ljuljka, (1999)'ya göre renk değişim aralığı hakkında ve Δa^* , ΔL^* , Δb^* ve ΔC^* değerleri için (Lange, 1999) bazı önemli bilgiler verilmiştir.

Çizelge 1. Renk parametreleri ile ilgili önemli bilgiler

ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* (Lange, 1999)	Parametre	Pozitif durumda		Negatif durumda
	Δb^*	Referansa göre daha sarı		Referansa göre daha mavi
	Δa^*	Referansa göre daha kırmızı		Referansa göre daha yeşil
	ΔC^*	Referansa göre, daha net ve daha parlak		Mat, referansa göre daha bulanık
	ΔL^*	Referansa göre daha açık		Referansa göre daha koyu
Jirouš ve Ljuljka, (1999) renk aralığı	ΔE^* aralığı	Renk değişim tahmini	ΔE^* aralığı	Renk değişim tahmini
	< 0.20	Anlaşılamaz	3.00 - 6.00	Çok belirgin
	0.20 - 0.50	Çok hafif	6.00 - 12.00	Yoğun
	0.50 - 1.50	Hafif	> 12.00	Çok yoğun
	1.50 - 3.00	Belirgin		

Bir istatistik programının kullanılması tarafından standart sapma, en düşük ve en yüksek ölçümlere ait veriler, varyans analizleri, % değişim oranları ortalamalar, ve homojenlik grupları belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Renk parametrelerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 2’de gösterilmiştir. Bütün renk parametrelerinde ısıtma işlem uygulaması (A), kimyasal uygulaması (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak elde edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Renk parametrelerine ait varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Test	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	p≤0.05 (*: Anlamlı)
Isıl İşlem Uygulaması (A)	<i>L</i> *	8430.802	1	8430.802	77887.360	0.000*
	<i>a</i> *	0.473	1	0.473	6.350	0.015*
	<i>b</i> *	3407.628	1	3407.628	24762.842	0.000*
	<i>c</i> *	2999.660	1	2999.660	24003.180	0.000*
	<i>h</i> ^o	2275.258	1	2275.258	3192.309	0.000*
Çözeltili Türü (B)	<i>L</i> *	3755.684	2	1877.842	17348.308	0.000*
	<i>a</i> *	71.082	2	35.541	476.619	0.000*
	<i>b</i> *	72.524	2	36.262	263.513	0.000*
	<i>c</i> *	73.255	2	36.627	293.092	0.000*
	<i>h</i> ^o	302.926	2	151.463	212.510	0.000*
Etkileşim (AB)	<i>L</i> *	944.779	2	472.390	4364.138	0.000*
	<i>a</i> *	38.515	2	19.258	258.251	0.000*
	<i>b</i> *	198.276	2	99.138	720.423	0.000*
	<i>c</i> *	254.491	2	127.246	1018.216	0.000*
	<i>h</i> ^o	109.186	2	54.593	76.597	0.000*
Hata	<i>L</i> *	5.845	54	0.108		
	<i>a</i> *	4.027	54	0.075		
	<i>b</i> *	7.431	54	0.138		
	<i>c</i> *	6.748	54	0.125		
	<i>h</i> ^o	38.487	54	0.713		
Toplam	<i>L</i> *	148986.575	60			
	<i>a</i> *	3775.270	60			
	<i>b</i> *	35916.723	60			
	<i>c</i> *	39678.202	60			
	<i>h</i> ^o	293977.112	60			
Düzeltilmiş Toplam	<i>L</i> *	13137.110	59			
	<i>a</i> *	114.098	59			
	<i>b</i> *	3685.859	59			
	<i>c</i> *	3334.154	59			
	<i>h</i> ^o	2725.857	59			

*L** parametresine ait ölçüm sonuçları Çizelge 3’de verilmektedir. Isıl işlemsiz örnekte kahve + sirke kullanarak hazırlanan çözeltinin ve gomalak cılası kimyasalının uygulanması ile *L** parametresinde azalışlar görülmüştür. 212°C’de 2 saat süre ile ısıtma işlem görmüş korina odununa ait örneklerde ise, *L** parametresinde kahve + sirke kullanarak hazırlanan çözelti uygulaması ile azalışlar (%20.16) belirlenirken, gomalak cılası kimyasalının uygulanması ile artışlar (%4.86) görülmüştür (Çizelge 3).

Çizelge 3. *L** parametresine ait ölçüm sonuçları

Isıl İşlem	Çözeltili Türü	Ortalama	Değişim (%)	Homojenlik Grubu	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
Kontrol	Yok	68.61	-	A*	0.18	68.36	68.92	0.26
	Kahve + sirke	42.73	↓37.72	C	0.26	42.28	43.09	0.61
	Gomalak + ispirto	66.98	↓2.38	B	0.58	66.55	67.91	0.86
212°C’de	Yok	37.65	-	E	0.19	37.46	38.02	0.51

2 saat	Kahve + sirke	30.06	↓20.16	D**	0.38	29.55	30.65	1.25
	Gomalak + ispirto	39.48	↑4.86	D	0.20	39.11	39.76	0.50
Yok: Ahşap malzeme yüzeyine herhangi bir kimyasal sürülmemiştir. Ölçüm Sayısı: 10, Homojenlik grubu sütunu için *: En yüksek sonuç, En düşük sonuç								

a^* parametresine ait ölçüm sonuçları Çizelge 4’de sunulmaktadır. Isıl işlemsiz örnekte kahve + sirke kullanarak hazırlanan çözeltinin ve gomalak cilasası kimyasalının uygulanması ile a^* parametresinde artışlar (sırası ile %3.23 ve %22.64 oranlarında) belirlenmiştir. Buna ek olarak, 212°C’de 2 saat süre ile ısıtılmış korina odununda ise, a^* parametresinde kahve + sirke kullanarak hazırlanan çözelti uygulaması ile azalışlar (%40.31) bulunurken, gomalak cilasası kimyasalının uygulanması ile artışlar (%2.77) elde edilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. a^* parametresine ait ölçüm sonuçları

Isıl İşlem	Çözelti Türü	Orta-lama	Değişim (%)	Homo-jenlik Grubu	Standart Sapma	Mini-mum	Maksi-mum	Varyasyon Katsayısı
Kontrol	Yok	7.11	-	D	0.41	6.22	7.62	5.77
	Kahve + sirke	7.34	↑3.23	D	0.16	7.10	7.65	2.18
	Gomalak + ispirto	8.72	↑22.64	C	0.22	8.39	9.12	2.56
212°C’de 2 saat	Yok	9.03	-	B	0.26	8.67	9.43	2.93
	Kahve + sirke	5.39	↓40.31	E**	0.21	5.12	5.80	3.91
	Gomalak + ispirto	9.28	↑2.77	A*	0.30	8.79	9.71	3.22
Yok: Ahşap malzeme yüzeyine herhangi bir kimyasal sürülmemiştir. Ölçüm Sayısı: 10, Homojenlik grubu sütunu için *: En yüksek sonuç, En düşük sonuç								

b^* parametresine ait ölçüm sonuçları Çizelge 5’de gösterilmiştir. Isıl işlemsiz örnekte kahve + sirke kullanarak hazırlanan çözeltinin ve gomalak cilasası kimyasalının uygulanması ile b^* parametresinde artışlar (sırası ile %20.10 ve %9.44 oranlarında) elde edilmiştir. Buna ek olarak, 212°C’de 2 saat süre ile ısıtılmış korina odununda ise, b^* parametresinde kahve + sirke kullanarak hazırlanan çözelti uygulaması ile azalışlar (%13.52) belirlenirken, gomalak cilasası kimyasalının uygulanması ile artışlar (%17.08) tespit edilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. b^* parametresine ait ölçüm sonuçları

Isıl İşlem	Çözelti Türü	Orta-lama	Değişim (%)	Homo-jenlik Grubu	Standart Sapma	Mini-mum	Maksi-mum	Varyasyon Katsayısı
Kontrol	Yok	27.96	-	C	0.41	27.40	28.85	1.48
	Kahve + sirke	33.58	↑20.10	A*	0.37	33.08	34.26	1.11
	Gomalak + ispirto	30.60	↑9.44	B	0.23	30.26	30.94	0.74
212°C’de 2 saat	Yok	15.46	-	E	0.27	15.16	15.87	1.78
	Kahve + sirke	13.37	↓13.52	F**	0.61	12.49	14.27	4.57
	Gomalak + ispirto	18.10	↑17.08	D	0.12	17.91	18.30	0.67
Yok: Ahşap malzeme yüzeyine herhangi bir kimyasal sürülmemiştir. Ölçüm Sayısı: 10, Homojenlik grubu sütunu için *: En yüksek sonuç, En düşük sonuç								

C^* parametresine ait ölçüm sonuçları Çizelge 6’da verilmiştir. Isıl işlemsiz örnekte kahve + sirke kullanarak hazırlanan çözeltinin ve gomalak cilasası kimyasalının uygulanması ile C^* parametresinde artışlar (sırası ile %19.17 ve %10.29 oranlarında) tespit edilmiştir. 212°C’de 2 saat süre ile ısıtılmış korina odununa ait örneklerinde ise, C^* parametresinde kahve + sirke kullanarak hazırlanan çözelti uygulaması ile azalışlar (%19.44) görülürken, gomalak cilasası kimyasalının uygulanması ile artışlar (%13.41) belirlenmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 6. C* parametresine ait ölçüm sonuçları

Isıl İşlem	Çözelti Türü	Orta-lama	Değişim (%)	Homo-jenlik Grubu	Standart Sapma	Mini-mum	Maksi-mum	Varyasyon Katsayısı
Kontrol	Yok	28.85	-	C	0.44	28.32	29.82	1.53
	Kahve + sirke	34.38	↑19.17	A*	0.35	33.89	35.02	1.03
	Gomalak + ispirto	31.82	↑10.29	B	0.20	31.56	32.13	0.64
212°C'de 2 saat	Yok	17.90	-	E	0.23	17.47	18.16	1.29
	Kahve + sirke	14.42	↓19.44	F**	0.55	13.55	15.22	3.78
	Gomalak + ispirto	20.30	↑13.41	D	0.19	20.05	20.71	0.93
Yok: Ahşap malzeme yüzeyine herhangi bir kimyasal sürülmemiştir. Ölçüm Sayısı: 10, Homojenlik grubu sütunu için *: En yüksek sonuç, En düşük sonuç								

h^0 parametresine ait ölçüm sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir. Kontrol deney örneklerine ait korina odununda ise, h^0 parametresinde kahve + sirke kullanarak hazırlanan çözelti uygulaması ile artışlar (%2.55) belirlenirken, gomalak cılası kimyasalının uygulanması ile azalışlar (%2.15) elde edilmiştir. 212°C'de 2 saat süre ile ısıtılma işlemi görmüş korina odunu örneklerinde kahve + sirke kullanarak hazırlanan çözeltinin ve gomalak cılası kimyasalının uygulanması ile h^0 değerlerinde artışlar (sırası ile %13.85 ve %5.26 oranlarında) elde edilmiştir (Çizelge 7).

Çizelge 7. h^0 parametresine ait ölçüm sonuçları

Isıl İşlem	Çözelti Türü	Orta-lama	Değişim (%)	Homo-jenlik Grubu	Standart Sapma	Mini-mum	Maksi-mum	Varyasyon Katsayısı
Kontrol	Yok	75.73	-	B	0.75	74.79	77.36	0.99
	Kahve + sirke	77.66	↑2.55	A*	0.34	77.06	78.14	0.44
	Gomalak + ispirto	74.10	↓2.15	C	0.44	73.24	74.66	0.59
212°C'de 2 saat	Yok	59.71	-	F**	0.98	58.16	61.21	1.63
	Kahve + sirke	67.98	↑13.85	D	1.37	65.90	69.80	2.02
	Gomalak + ispirto	62.85	↑5.26	E	0.76	62.05	64.15	1.20
Yok: Ahşap malzeme yüzeyine herhangi bir kimyasal sürülmemiştir. Ölçüm Sayısı: 10, Homojenlik grubu sütunu için *: En yüksek sonuç, En düşük sonuç								

Toplam renk farklılıklarına ait sonuçları Çizelge 8'de sunulmuştur.

Çizelge 8. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçları

Isıl İşlem	Çözelti Türü	ΔL^* ▼	Δa^* ▼	Δb^* ▼	ΔC^* ▼	ΔH^* ▼	ΔE^* ▼	Renk Değişirme Kriterleri (Jirouš ve Ljuljka, 1999)
Kontrol	Kahve + Sirke	-25.88	0.24	5.62	5.53	1.06	26.49	Çok yoğun (> 12.00)
		Referansa göre daha koyu	Referansa göre daha kırmızı	Referansa göre daha sarı	Referansa göre, daha net ve daha parlak			
	Gomalak + ispirto	-1.63	1.61	2.64	2.97	0.87	3.50	Çok belirgin (3.00 - 6.00)
		Referansa göre daha koyu	Referansa göre daha kırmızı	Referansa göre daha sarı	Referansa göre, daha net ve daha parlak			
212°C'de 2 saat	Kahve + Sirke	-7.59	-3.63	-2.09	-3.48	2.33	8.67	Yoğun (6.00 - 12.00)
		Referansa göre daha koyu	Referansa göre daha yeşil	Referansa göre daha mavi	Mat, referansa göre daha bulanık			

	Gomalak + ispirto	1.83	0.26	2.64	2.39	1.15	3.22	Çok belirgin (3.00 - 6.00)
		Referansa göre daha açık	Referansa göre daha kırmızı	Referansa göre daha sarı	Referansa göre, daha net ve daha parlak			

Jirouš ve Ljuljka (1999) tarafından belirtilen renk farkı kriterleri dikkate alındığında, kontrol deney örneklerine kahve + sirke çözeltisi ulaması ile muamele edilmesi sonrasında ΔE^* değeri 26.49 olarak hesaplandığı için “çok yoğun (> 12.00)” ve gomalak + ispirto çözeltisi ulaması ile muamele edilmesi sonrasında ΔE^* değeri 3.50 olarak belirlendiği için “çok belirgin (3.00 - 6.00)” kriteri şeklinde sonuçlar bulunurken, ısıtıl işlem görmüş deney örneklerinde ise kahve + sirke çözeltisi ulaması ile muamele edilmesi sonrasında ΔE^* değeri 8.67 olarak hesaplandığı için “yoğun (6.00 - 12.00)” ve gomalak + ispirto çözeltisi ulaması ile muamele edilmesi sonrasında ΔE^* değeri 3.22 olarak belirlendiği için “çok belirgin (3.00 - 6.00)” kriteri şeklinde sonuçlara ulaşılmıştır (Çizelge 8).

Ayata ve Çamlıbel, (2024) tarafından yapılan çalışmada da kullanılan kahve tozu + sirke karışımına ait çözeltilerin ahşaba ait olan renk parametrelerini değiştirdiği rapor edilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, 212 derecede 2 saat süre ile ısıtıl işlem görmüş ve görmemiş korina odununda renk değiştirme amaçlı hazırlanmış olan 2 farklı çözeltinin (kahve + sirke ve gomalak + ispirto) uygulanması sonrasında meydana gelen renk parametrelerindeki değişimler incelenmiş olup, ölçümler sonrasında renk parametrelerinde değişimlerin olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- Adjanohoun, E.J., Technique, A.D.C.C., Ake Assi, L., Floret, J.J., Guinko, S., and Koumare, M. (1979). Medecine traditionnelle et pharmacopée; contribution aux études ethnobotaniques et floristiques au Mali. p. 145-146.
- Ajanohoun, E.J., Ake Assi, E., Floret, T., Guinko, S., Koumare, M., Ahyi, A.M.R., Raynal, J., (1980). Médecine traditionnelle et Pharmacopée, contribution aux études ethnobotaniques et floristique du Mali, pp. 64-65.
- Asomaning, J.M., (2020). Storage of *Terminalia superba* Engl. & Diels. seeds, Journal of Experimental Agriculture International, 42(8): 85-94. DOI: 10.9734/JEAI/2020/v42i830574.
- ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color, differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Ayata, Ü., ve Çamlıbel, O., (2024). Atık kahve tozu, karbonat ve beyaz sirke karışımlarından hazırlanmış olan çözeltilerin karakavak (*Populus nigra* L.) ahşabında renk değiştirici olarak kullanılması, Gıda Bilimi ve Mühendisliği Araştırmaları, 3(2): 114-122. DOI: 10.5281/zenodo.13861979.
- Burkill, H.M., (1985). The Useful Plants of West Tropical Africa. 2nd Edition. Volume 1, Families A-D Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. 960 pp.
- Dupuy, B., and Mille, G., (1993). Timber Plantations in the Humid Tropics of Africa. FAO Forestry Paper. No. 98.
- Esteves, B., Şahin, S., Ayata, Ü., Domingos, I., Ferreira, J., and Gürleyen, L., (2021). Effect of heat treatment on shore-D hardness of some wood species, Bioresources, 16(1): 1482-1495. DOI: 10.15376/biores.16.1.1482-1495.

- Gérard, J., Paradis, S., and Thibaut, B., (2019). Survey on the chemical composition of several tropical wood species, Bois et Forêts des Tropiques - ISSN: L-0006-579X, Volume 342-4e trimestre - novembre 2019 - p. 79-91. DOI: 10.19182/bft2019.342.a31809.
- Gerry, E., (1950). *Foreign woods: Terminalia superba Engl. et Diels (Afara, Fraké, Korina)*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Groulez, J., and Wood, P.J., (1985). *Terminalia superba*: A monograph. Centre Technique Forestier Tropical, France & Commonwealth Forestry Institute, England.
- Guibal, D., Cerre, J.-C., Gérard, J., and Paradis, S., (2017). Tropical Timber Atlas: Technological characteristics and uses: Quae 1002 p.
- ISO 554, (1976). Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- Jansen, J.W.A., (1974). Timber Trees of Liberia, UNDP/SF/FAO College of Agriculture and Forestry Project University of Liberia, Monrovia.
- Jirouš, R.V., and Ljuljka, B., (1999). Boja drva i njezine promjene prilikom izlaganja atmosferskim utjecajima, Drvena Industrija, 50(1): 31-39.
- Keskin, H., and Çolakoğlu, M.H., (2006). Technological properties of limba (*Terminalia superba*) wood impregnated with imersol-aqua, Materials Science: An Indian Journal, 2(6): 208-214.
- Kimpouni, V., (2009). *Terminalia superba* Engl. & Diels. In R. H. M. J. Lemmens, D. Louppe, & A. A. Oteng-Amoako (Eds.), PROTA (Plant Resources of Tropical Africa/Ressources végétales de l'Afrique tropicale). Wageningen, Netherlands.
- Lange, D.R., (1999). Fundamentals of colourimetry - Application Report No. 10e. DR Lange: New York, NY, USA.
- Normand, D., (1947). Limbo (Frake) Revue du bois 2(5): 3-6. Illus. May. (Transl. by E. Gerry)
- Olayode, O.O., (2016). Seedling emergence and growth of *Terminalia superba* Eng. EL. Diels under different light conditions, Journal of Researches in Agricultural Sciences, 4(1 & 2): 1-6.
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R., and Anthony, S., (2009). Agroforestry Database: A tree reference and selection guide, version 4.0. World Agroforestry Centre, Nairobi, Kenya.
- Oteng-Amoako, A.A., (2006). 100 Tropical African Timber Trees From Ghana, Tree Description and Wood Identification with Notes on Distribution, Ecology, Silviculture, Ethnobotany and Wood Uses.
- Record, S.J., (1929). Walnut woods - true and false. (Noyer du Mayombe or Congo walnut) Tropical Woods 18: 4-29 (26-28).
- Savard, J., Nicolle, J., and Andre, A.M., (1960). Analyse chimique des bois tropicaux, Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne.
- Simón, C., Esteban, L. G., de Palacios, P., Fernández, F. G., and García-Iruela, A., (2016). Thermodynamic properties of the water sorption isotherms of wood of limba (*Terminalia superba* Engl. & Diels), obeche (*Triplochiton scleroxylon* K. Schum.), radiata pine (*Pinus radiata* D. Don) and chestnut (*Castanea sativa* Mill.), Industrial Crops and Products, 94: 122-131. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.08.008.
- Şen, S., ve Yalçın, M., (2010). Türkiye denizlerinde bazı tropik ve yerli ağaç türlerinde oluşan tahribatın incelenmesi, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Artvin, Türkiye, Cilt: IV, Sayfa: 1631-1638.
- Wansi, J.D., Lallemand, M.C., Chiozem, D.D., Toze, F.A.A., Mbaze, L.M.A., Naharkhan, S., Iqbal, M.C., Tillequin, F., Wandji, J., and Fomum, Z.T., (2007). α -Glucosidase inhibitory constituents from stem bark of *Terminalia superba* (Combretaceae), Phytochemistry, 68(15): 2096-2100. DOI: 10.1016/j.phytochem.2007.02.020.

BAZI AĞARTICI KİMYASALLARININ PERİCOPSİS ODUNUNDA YÜZEY ÖZELLİKLERİNDEKİ ETKİLERİ

Prof. Dr. Hüseyin PEKER¹, Doç. Dr. Göksel ULAY² ve Doç. Dr. Ümit AYATA³

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü,
Artvin, Türkiye

peker100@artvin.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7771-6993

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Van Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme
Teknolojisi Bölümü, Mobilya Dekorasyon Programı, Van, Türkiye,

g.ulay@yyu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4080-8816

^{3*}Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü,
Bayburt, Türkiye

Sorumlu yazar: umitayata@yandex.com, ORCID ID: 0000-0002-6787-7822

Özet

Bu çalışmada, pericopsis (*Pericopsis mooniana*) odununda tek ve çift komponentli ahşap ağartıcı kimyasallarının bazı yüzey özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan ağartma uygulamaları ile tek komponentli kimyasal tarafından her iki yöndeki WI^* değerleri, L^* ve a^* değerlerinde azalmalar tespit edilirken, h^0 , b^* ve C^* parametrelerinde artışlar belirlenmiştir. Çift komponentli kimyasal tarafından ise her iki yöndeki WI^* değerlerinde, b^* , C^* , h^0 ve L^* değerlerinde artışlar elde edilmiştir. Ayrıca, a^* değerinde azalışlar görülmüştür. Her iki ağartma uygulamalarında kullanılan kimyasalların parlaklık değerleri üzerinde ölçülen $\perp$ yönde 20° parlaklık testi hariç hepsinde azaltıcı etkiler sağladığı tespit edilmiştir. ΔE^* değerleri tek komponentli ağartma kimyasalı tarafından 1.75 ve çift komponentli ağartma kimyasalı tarafından 12.19 olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Pericopsis, *Pericopsis mooniana*, ağartma, renk, parlaklık, beyazlık indeksi

Effects of Some Bleach Chemicals on Surface Properties of Pericopsis Wood Abstract

In this study, the effects of single- and two-component wood bleaching chemicals on some surface properties of pericopsis (*Pericopsis mooniana*) wood were investigated. With the bleaching applications, decreases were detected in the WI^* values, L^* and a^* values in both directions by the single-component chemical, while increases were determined in the h^0 , b^* and C^* parameters. By the two-component chemical, hits were obtained at WI^* values, b^* , C^* , h^0 and L^* values in both directions. Additionally, decreases were observed in the a^* value. It was determined that the chemicals used in both bleaching applications provided reducing effects on the brightness values in all except the 20° brightness test measured in the $\perp$ direction. ΔE^* values were determined as 1.75 by the single-component bleaching chemical and 12.19 by the two-component bleaching chemical.

Key words: Pericopsis, *Pericopsis mooniana*, bleaching, color, brightness, whiteness index

1. Giriş

Bir ağaç hücresinin (veya bir ağaç lifinin) ana bileşenleri selüloz, hemiselüloz ve lignindir. Odun lifi terimi olgun, tam gelişmiş bir ağaç hücresini belirtmek için kullanılmaktadır. Selüloz, glikoz birimlerinden oluşan doğrusal, kristalimsi bir homopolisakkarittir; hemiselülozlar ise ksiloz, mannoz ve glikoz gibi farklı monomerik şekerlerden oluşan dallanmış, amorf heteropolisakkaritlerdir. Sert ağaç hemiselülozlarının yapısı ve monomerik şeker bileşimi yumuşak ağaç hemiselülozlarından farklıdır. Ahşap tipik olarak yaklaşık %40-45 selüloz ve %20-30 hemiselüloz içermektedir. Bu polisakkaritler esas olarak ahşap hücre duvarlarında destekleyici malzeme görevi görmektedir (Widsten, 2002).

Ağartma maddeleri çamaşır yıkama tekniklerinin temel bileşenleridir. Mevcut endüstriyel çamaşır yıkama teknikleri, mikroorganizmaları azaltmaktadır ve fiziksel, kimyasal ve termal işlemler yoluyla temizliğe ulaşarak hijyenik açıdan temiz sağlık tekstilleri üretmektedir (Sehulster, 2015; Kulkarni ve ark., 2024).

Literatürde çeşitli ağaç türlerine ağartma uygulamalarının yapıldığı görülmektedir. Ama *Pericopsis mooniana* ağaç türüne bir ağartma uygulamasının yapılmadığı belirlenmiştir. Bu ağaç türü hakkında kısaca bilgi vermek gerekirse;

Endonezya'da yaklaşık 4000 ağaç türü bulunmaktadır ve türlerin %10'u ticari ahşap olarak sınıflandırılmaktadır. Türlerden biri Güneydoğu Sulawesi'ye özgü kayu kuku'dur (*Pericopsis mooniana* Thwaites). Bu tür, kesilmiş kereste, kaplama, kontrplak, oyma ve mobilya için kullanılan süslü bir ağaç olarak kabul edilmektedir (Kinho ve ark., 2023)

Genellikle nedun ağacı olarak adlandırılan *Pericopsis mooniana* (Thwaites), Leguminosae ailesine aittir ve Sri Lanka'ya özgüdür. Endonezya, Malezya, Palau, Papua Yeni Gine, Filipinler vb. Güney Doğu Asya ülkelerine yayılmıştır. Nedun, istenen yüksek kaliteli mobilya ahşabı nedeniyle ağaç bahçelerinin ova yamaçlarında ve tepelerinde köylüler tarafından yaygın olarak saha dışı olarak ekilmiştir (Ashton ve ark., 1997).

Bu ağaç türü, Sumatra, Kalimantan ve Papua gibi çeşitli bölgelerde, özellikle de Lamedae Doğa Rezervi'nin sınırlı bir bölümünde bulunan Sulawesi'de de bulunmaktadır. Bu ağacın birçok Güneydoğu Asya ülkesinde geniş bir dağılım alanına sahip olduğunu belirtilmiştir (Jansen ve ark., 1993; Alfaizin, 2020).

Diri odun ve öz odunun kolaylıkla ayırt edilebildiği bu çok amaçlı ağaç türü, tik ağacının yerine bile kullanılmaktadır. Ancak kaynağın çoğunlukla doğal ormanlar olması nedeniyle odunun temini oldukça sınırlı olduğu bildirilmiştir (Soerianegara ve Lemmens, 1994; Anoop ve ark., 2016). Ahşabının dekoratif çizgiler şeklinde desenlere sahip, pürüzsüz ve parlak bir ahşap yüzeye sahip olması, bu ahşabı dünya pazarında oldukça pahalı hale getirmektedir (Suhartati, 2015; Husna ve ark., 2020).

Bu çalışmada, pericopsis odununda tek ve çift komponentli ahşap ağartıcı kimyasallarının bazı yüzey özellikleri üzerinde oluşturduğu etkileri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

İklimlendirme uygulamalarına sahip (ISO 554, 1976) 100 mm x 100 mm x 15 mm boyutlarında hazırlanmış pericopsis (*Pericopsis mooniana*) odunu bu çalışmada seçilmiştir. Çift komponentli [hidrojen peroksit (H_2O_2): ve sodyum hidroksit (NaOH), 2:1 oran] ve tek komponentli [oksalik asit: $C_2H_2O_4$] kimyasallar kullanılmıştır. Bu çalışmada, beyazlık indeksi (WI^*) (ASTM E313-15e1, 2015), parlaklık değerleri (ISO 2813, 1994) ve renk değişimleri ölçülmüştür (ASTM D 2244-3, 2007). Toplam renk farklılıkları belirlenmiştir.

$$h^0 = \arctan (b^*/a^*) \quad (1)$$

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (2)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{işlem görmüş}} - a^*_{\text{kontrol}}) \quad (3)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{işlem görmüş}} - b^*_{\text{kontrol}}) \quad (4)$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (5)$$

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{işlem görmüş}} - C^*_{\text{kontrol}}) \quad (6)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (7)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{işlem görmüş}} - L^*_{\text{kontrol}}) \quad (8)$$

Bazı renk parametreleri ile ilgili tanımlamalar Çizelge 1’de sunulmuştur (Lange, 1999).

Çizelge 1. Bazı renk parametreleri ile ilgili tanımlamalar (Lange, 1999)

Parametre (referansa kıyasla) →	Pozitif durumda	Negatif durumda
ΔL^*	Daha açık	Daha koyu
Δa^*	Daha kırmızı	Daha yeşil
Δb^*	Daha sarı	Daha mavi
ΔC^*	Daha net, daha parlak	Mat, daha bulanık

ΔE^* için kıyaslama kriterleri (DIN 5033, 1979) Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. ΔE^* için kıyaslama kriterleri (DIN 5033, 1979)

Renk farkı (ΔE^*)	Görsel fark	Renk farkı (ΔE^*)	Görsel fark
<0.2	Algılanamaz	3.0 ila 6.0	Çok belirgin
0.2 ila 0.5	Çok zayıf	6.0 ila 12.0	Güçlü
0.5 ila 1.5	Zayıf	> 12.0	Çok güçlü
1.5 ila 3.0	Belirgin		

Bir istatistik programı ile yüzde (%) değişim oranları, homojenlik grupları, standart sapmaları, maksimum ve minimum değerleri, ortalama değerleri, varyans analizleri belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Varyans analizi sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir. $\perp 20^\circ$ ’de parlaklık testi hariç bütün testler için ağartma kimyasalı türü anlamlı olarak elde edildiği görülmüştür (Çizelge 3).

Çizelge 3. Varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Test	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$ (*: Anlamlı)
Ağartma Kimyasalı Türü	Işıklılık (L^*)	921.837	2	460.918	357.543	0.000*
	Kırmızı (a^*) renk tonu	71.771	2	35.885	193.131	0.000*
	Sarı (b^*) renk tonu	74.345	2	37.173	107.042	0.000*
	Kroma (C^*)	31.446	2	15.723	43.868	0.000*
	Ton (h°) açısı	1258.061	2	629.030	303.877	0.000*
	$\perp 20^\circ$ parlaklık	0.000	2	0.000		
	$\perp 60^\circ$ parlaklık	3.149	2	1.574	234.845	0.000*
	$\perp 85^\circ$ parlaklık	0.131	2	0.065	4.594	0.019*
	$\parallel 20^\circ$ parlaklık	0.043	2	0.021	4.235	0.025*
	$\parallel 60^\circ$ parlaklık	1.064	2	0.532	24.938	0.000*
	$\parallel 85^\circ$ parlaklık	3.795	2	1.897	68.122	0.000*
	Beyazlık indeksi ($\perp$)	131.552	2	65.776	93.787	0.000*
	Beyazlık indeksi ($\parallel$)	269.864	2	134.932	579.384	0.000*

Ölçüm sonuçları Çizelge 4’de gösterilmektedir. Yapılan ağartma uygulamaları ile tek komponentli kimyasal tarafından her iki yöndeki WI^* değerleri, L^* ve a^* değerlerinde azalmalar elde edilirken, h° , b^* ve C^* parametrelerinde artışlar görülmüştür. Her iki ağartma uygulamalarında kullanılan kimyasalların parlaklık değerleri üzerinde ölçülen $\perp$ yönde 20° parlaklık testi hariç hepsinde azaltıcı etkiler sağladığı belirlenmiştir. Çift komponentli kimyasal

tarafından ise her iki yöndeki WT^* değerlerinde, b^* , C^* , h^0 ve L^* değerlerinde atışlar görülmüştür. Buna ek olarak, a^* değerinde azalışlar belirlenmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Ölçüm sonuçları

Test	Uygulama	Minimum	Maksimum	Ortalama	Değişim (%)	HG	SS	COV
L^*	Kontrol	43.15	44.44	43.75	-	B	0.48	1.09
	Tek komponentli	41.41	43.39	42.49	↓2.88	C**	0.54	1.27
	Çift komponentli	51.48	57.51	54.83	↑25.33	A*	1.83	3.34
a^*	Kontrol	6.36	7.57	6.88	-	A*	0.35	5.12
	Tek komponentli	6.31	6.98	6.62	↓3.78	A	0.27	4.12
	Çift komponentli	2.34	4.31	3.48	↓49.42	B**	0.60	17.23
b^*	Kontrol	13.95	14.66	14.22	-	C**	0.30	2.13
	Tek komponentli	14.71	16.29	15.40	↑8.30	B	0.43	2.79
	Çift komponentli	16.84	19.23	17.99	↑26.51	A*	0.87	4.86
C^*	Kontrol	15.38	16.60	15.86	-	C**	0.42	2.65
	Tek komponentli	16.01	17.72	16.77	↑5.74	B	0.47	2.82
	Çift komponentli	17.30	19.51	18.34	↑15.64	A*	0.82	4.48
h^0	Kontrol	61.64	65.71	64.18	-	C**	1.14	1.78
	Tek komponentli	65.96	67.74	66.75	↑4.00	B	0.62	0.93
	Çift komponentli	76.07	82.23	79.02	↑23.12	A*	2.13	2.69
$\perp 20^\circ$	Kontrol	0.10	0.10	0.10	-	A	0.00	0.00
	Tek komponentli	0.10	0.10	0.10	0.00	A	0.00	0.00
	Çift komponentli	0.10	0.10	0.10	0.00	A	0.00	0.00
$\perp 60^\circ$	Kontrol	0.90	1.20	1.02	-	A*	0.10	10.13
	Tek komponentli	0.20	0.30	0.23	↓77.45	C**	0.05	21.00
	Çift komponentli	0.50	0.70	0.56	↓45.10	B	0.08	15.06
$\perp 85^\circ$	Kontrol	0.10	0.60	0.24	-	A*	0.21	86.07
	Tek komponentli	0.10	0.10	0.10	↓58.33	B**	0.00	0.00
	Çift komponentli	0.10	0.10	0.10	↓58.33	B**	0.00	0.00
$\parallel 20^\circ$	Kontrol	0.10	0.40	0.18	-	A*	0.12	68.29
	Tek komponentli	0.10	0.10	0.10	↓44.44	B**	0.00	0.00
	Çift komponentli	0.10	0.10	0.10	↓44.44	B**	0.00	0.00
$\parallel 60^\circ$	Kontrol	1.00	1.60	1.36	-	A*	0.22	15.96
	Tek komponentli	0.80	1.00	0.92	↓32.35	B	0.08	8.57
	Çift komponentli	0.90	1.20	1.02	↓25.00	B**	0.10	10.13
$\parallel 85^\circ$	Kontrol	0.80	1.30	1.02	-	A*	0.21	21.08
	Tek komponentli	0.10	0.40	0.18	↓82.35	C**	0.12	68.29
	Çift komponentli	0.20	0.60	0.40	↓60.78	B	0.15	37.27
WT^* ($\perp$)	Kontrol	8.00	8.30	8.12	-	B	0.12	1.51
	Tek komponentli	7.70	8.70	7.96	↓1.97	B**	0.40	5.00
	Çift komponentli	11.10	14.30	12.48	↑53.69	A*	1.39	11.13
WT^* ($\parallel$)	Kontrol	4.80	6.00	5.40	-	B	0.49	9.07
	Tek komponentli	4.00	5.30	4.66	↓13.70	C**	0.59	12.68
	Çift komponentli	11.00	11.80	11.36	↑110.37	A*	0.33	2.91
COV: Varyasyon Katsayısı, HG: Homojenlik Grubu, SS: Standart Sapma, Ölçüm Sayısı: 10, Homojenlik Sütunu için *: En yüksek değer, **: En düşük değer								

Çizelge 5’de toplam renk farklılıkları için hesaplanmış sonuçlar verilmiştir. ΔE^* değerleri tek komponentli ağartma kimyasalı ile 1.75 ve çift komponentli ağartma kimyasalı ile 12.19 olarak bulunmuştur. Renk kriteri (DIN 5033, 1979) ile çizelge kıyaslandığında, tek komponentli “belirgin (1.5 ila 3.0)” kriteri şeklinde bulunurken, çift komponentli kimyasal tarafından çok güçlü (> 12.0)” kriteri şeklinde belirlendiği görülmüştür (Çizelge 5).

Çizelge 5. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar

Ağartma Kimyasalı Türü	Δa^*	ΔL^*	ΔC^*	Δb^*	ΔH^*	ΔE^*	Renk kriteri (DIN 5033, 1979)
Tek komponentli	-0.27	-1.26	0.90	1.18	0.80	1.75	Belirgin (1.5 ila 3.0)
	Referansa göre daha yeşil	Referansa göre daha koyu	Referansa göre daha net, daha parlak	Referansa göre daha sarı			
Çift komponentli	-3.41	11.08	2.48	3.77	4.43	12.19	Çok güçlü (> 12.0)
	Referansa göre daha yeşil	Referansa göre daha açık	Referansa göre daha net, daha parlak	Referansa göre daha sarı			

4. Sonuçlar

Çalışmada kullanılan ağartma kimyasallarının ahşap malzemeye ait optik özelliklerini değiştirdiği görülmüştür.

Kaynaklar

- Alfaizin, D., (2020). Cultivation of *Pericopsis mooniana* Thw Case Study: KHDTK Malili, Luwu Timur Regency. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 486, No. 1, p. 012106). IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/486/1/012106.
- Anoop, E.V., Sindhumathi, C.R., Jijeesh, C.M., and Jayasree, C.E., (2016). Radial variation in wood properties of Nedun (*Pericopsis mooniana*), an introduced species to South India, Journal of Tropical Agriculture, 54(1): 27-27.
- ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color, differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM E313-15e1, (2015). Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- DIN 5033, (1979). Deutsche Normen, Farbmessung. Normenausschuß Farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung eV, Beuth, Berlin März.
- Husna, Mahmud, A., Tuheteru, F.D., Arif, A., Albasri, B., Basrudin, W.R.N., and Karepesina, S., (2020). Pengaruh skarifikasi dan lama penyimpanan benih terhadap viabilitas benih kayu kuku (*Pericopsis mooniana* [Thw] Thw.). Jurnal Celebica: Jurnal Kehutanan Indonesia.
- ISO 2813, (1994). Paints and varnishes - determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 554, (1976). Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- Jansen, P.C.M., Westphal, E., Sosef, M.S.M., Soerianegara, I., and Lemmens, R., (1993). Plant Resources of South-East Asia 5-1. Timber trees: major commercial timbers.
- Kinho, J., Suhartati, S., Husna, H., Tuheteru, F.D., Arini, D.I.D., Lawasi, M.A., Ura', R., Prayudyarningsih, R., Yulianti, Y., Subarudi, S., et al., (2023). Conserving Potential and Endangered Species of *Pericopsis mooniana* Thwaites in Indonesia, Forests, 14(2): 437. DOI: 10.3390/f14020437.
- Kulkarni, D., Jaspal, D., Itankar, N., Petrounias, P., Rogkala, A., and Lampropoulou, P., (2024). Bleaching agents: A review of their utilization and management, Sustainability, 16(20): 9084. DOI: 10.3390/su16209084.

- Lange, D.R., (1999). Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e. DR Lange: New York, NY, USA.
- Sehulster, L.M., (2015). Healthcare laundry and textiles in the United States: review and commentary on contemporary infection prevention issues. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 36(9): 1073-1088.
- Soerianegara, I., and Lemmens, R.H.M.J., (1993). Plant resources of South-East Asia No. 5(1) Timber trees: major commercial timbers.
- Suhartati, Nursyamsi dan D. Alfaizin. (2015). Mengenal Morfologi, Tipe Buah dan Biji Pada Pohon Kayu Kuku (*Pericopsis mooniana* THW). *Info Teknis Eboni*. 12(2): 87-96.
- Widsten, P. (2002). Oxidative activation of wood fibers for the manufacture of medium-density fiberboard (MDF). Helsinki University of Technology.

YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ BAĞLANTILARDA BİNDİRME BÖLGESİNDE TAKVİYE METAL KULLANIMININ BAĞLANTI DAYANIMINA ETKİLERİNİN ANALİZİ

Makine Müh. Rumeysa ÇELİK

Fırat Üniversitesi

rumeyscelk@gmail.com – 0009-0002-4232-5922

Prof. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ

Fırat Üniversitesi

mysolmaz@firat.edu.tr - 0000-0001-6394-0313

ÖZET

Yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantıların mekanik davranışları, bağlantıyı oluşturan yapışan yüzeyler ile yapıştırıcı malzemenin özelliklerine ve geometrik şekillerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada, yapıştırıcı malzeme olarak Neoxil CE 92 N8, yapışan ve takviye elemanı olarak ise yapı çeliği kullanılmıştır. Analizlerde, sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan ANSYS Workbench yazılımı tercih edilmiştir.

Yapılan analizlerde; bindirme mesafesi (a), yapıştırıcı kalınlığı (n), yapışan malzeme kalınlığı (t) ve takviye uzunluğu (d) gibi parametrelerin bağlantı dayanımına etkileri incelenmiş, elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basit bindirmeli bağlantı, Yapıştırıcı bağlantı, Bindirme mesafesi, Takviye uzunluğu,

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF REINFORCEMENT METAL USAGE IN THE OVERLAP REGION ON THE STRENGTH OF ADHESIVE-BONDED JOINTS

ABSTRACT

The mechanical behavior of adhesively bonded joints varies depending on the properties and geometrical configurations of the adherend surfaces and the adhesive material. In this study, Neoxil CE 92 N8 was used as the adhesive material, while structural steel was employed as both the adherend and reinforcement material. The analyses were conducted using the ANSYS Workbench software, which is based on the finite element method.

In the analyses, the effects of parameters such as overlap length (a), adhesive thickness (n), adherend thickness (t), and reinforcement length (d) on the joint strength were examined, and the results obtained were comparatively evaluated.

Keywords: Single lap joint, Adhesive joint, Overlap length, Reinforcement length

1. GİRİŞ

Yapıştırıcı bağlama, yüzeyler arasında katılarak kimyasal bir bağ oluşturan yapıştırıcı bir malzeme kullanılarak iki yüzeyi bir arada tutma, bir bütün oluşturma işlemidir.

Yapıştırıcıların makine ve yapı elemanlarının bağlantılarında kullanımı giderek artmaktadır. Özellikle uzun zaman periyotlarında bağlantı güvenilirliğinin gerektirdiği havacılık, uzay, otomotiv, altyapı sistemi, tıp, elektronik paketleme, spor, inşaat ve deniz endüstrilerinde yapıştırıcılar, gün geçtikçe geleneksel bağlantı yöntemleri olan civata, perçin, lehim ve kaynağın yerini almaktadır (Adin,2007).

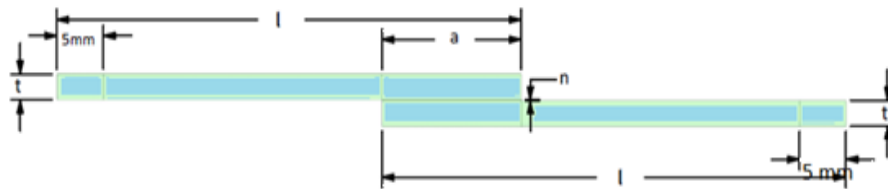
Malzemelerin birleştirilmesinde yapıştırıcı kullanmak, mekanik bağlantı elemanları kullanılmasına kıyasla daha fazla avantaj sunar. Yapıştırıcı, yük ve gerilmeleri birleşim yüzeyinin tamamına yayarak dinamik ve statik yüklerin düzgün dağılmasını sağlar, gerilmelerin bir noktada yoğunlaşmasını engeller. Bu sebeple, yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılar mekanik yöntemlerle (kaynak, perçin, lehim) birleştirilen bağlantılara göre bükülme ve titreşime karşı daha dayanıklıdır (Solmaz,2018).

Bir yapıştırıcı ASTM tarafından ‘yüzey teması ile malzemeleri bir arada tutabilen madde’ olarak tanımlanmıştır (ASTM D1002, 1983). Yapıştırıcının bir başka tanımı ise, ‘yüzeylere uygulandığında onları bir arada tutabilen ve ayrılmayı önleyen polimerik malzemedir. (Adams and Wake, 1984).

Bu çalışmada basit bindirmeli bir bağlantıda bindirme bölgesinde takviye malzeme kullanımının bağlantı dayanımına olan etkileri incelenmiştir. Çalışmada takviye malzeme kullanımına ilave olarak yapışan malzeme ve yapıştırıcı kalınlığı, bindime bölgesi ve takviye uzunluğunun dayanıma olan etkileri de analiz edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada yapıştırıcı ile birleştirilmiş basit bindirmeli bağlantılar sayısal olarak analiz edilmiştir. Basit bindirmeli bağlantının geometrik modeli, teknik resimleri (Görsel 1) Ansys Workbench’te oluşturulmuştur. Görsel 1’de gösterilen model baz alınarak, yapışan malzeme kalınlığı (t), bindirme mesafesi (a) ve yapıştırıcı kalınlığı (n) değerleri değiştirilip (Çizelge 1 ve Çizelge 2) farklı parametrelerde toplam 9 analiz gerçekleştirilmiştir.



Görsel 1. Bağlantı Tasarımı ve Teknik Çizimi

Yapışan malzemelerin kalınlığını (t) 2 mm ve 3 mm olarak değiştirilerek farklı ölçülerde seçilmiştir. t kalınlığının değişimi Çizelge 1’de verilmiştir. Yapıştırıcı için bindirme mesafesi (a) ve yapıştırıcı kalınlığı (n) Çizelge 2’de verilmiştir.

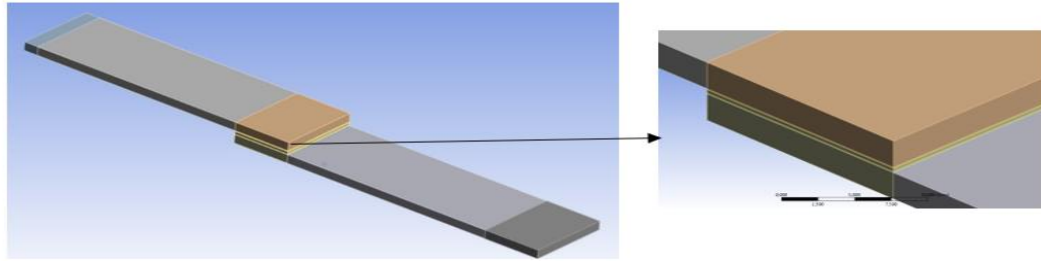
Çizelge 1. Yapışan malzemenin kalınlık ölçüleri

t (mm)	t (mm)
2,00	3,00

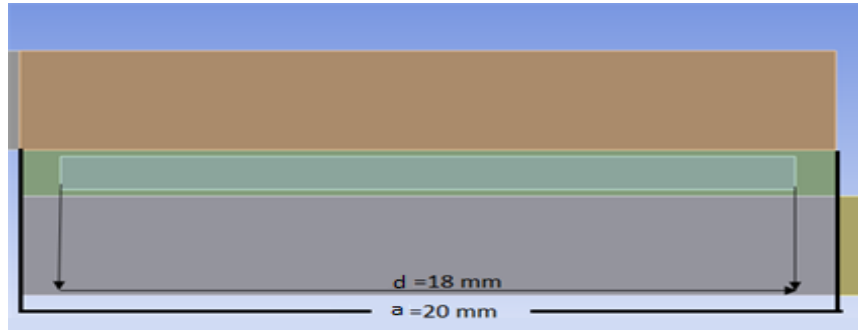
Çizelge 2. Yapıştırıcı için bindirme mesafesi ve kalınlık ölçüleri

Yapıştırıcı Kalınlığı	Bindirme Mesafesi		
	a=15 mm	a = 18 mm	a=20 mm
n_1 (mm)	0,1	0,1	0,1
n_2 (mm)	0,2	0,2	0,2

Bu parametrelere ek olarak bindirme bölgesinde takviye malzemesi kullanılarak bu takviye malzemesinin uzunluğu (d) değiştirilip analizler gerçekleştirilmiştir. Takviyeli bağlantı modelinin resmi Görsel 2’de ve Görsel 3’te verilmiştir. Takviye malzemesinin uzunluğunun değişimi Çizelge 3’te verilmiştir.



Görsel 2. Takviyeli bağlantı modelinin resmi



Görsel 3. Takviyeli bindirme bölgesinin önden görünümü

Çizelge 3. Takviye uzunluğunun ölçüleri

d (mm)	d (mm)	d (mm)
15	18	20

Yapışan malzeme ve takviye malzemesi olarak yapı çeliği, yapıştırıcı malzeme olarak NEOXİL CE 92 N8’in özellikleri kullanılmıştır. Yapı çeliğinin özellikleri Çizelge 4’te NEOXİL CE 92 N8’in özellikleri ise Çizelge 5 ve Görsel 4’te verilmiştir.

Çizelge 4. Yapışan malzemelere ait mekanik özellikler

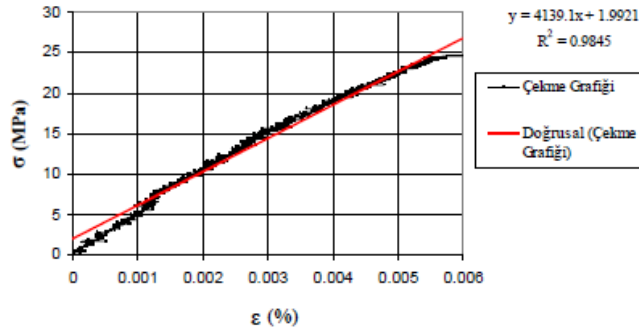
Özellikler	Malzeme
	Yapı Çeliği
Elastite Modülü (MPa) - E	200000 ^a
Çekme Mukavemeti (MPa) – σ_u	460 ^a
Akma Mukavemeti (MPa) – σ_y	250 ^a
Kayma Modülü (MPa) - G	76923 ^a
Poisson Oranı - ν	0,30 ^a

^a Ansys Workbench

Çizelge 5. Yapıştırıcıya ait mekanik özellikler

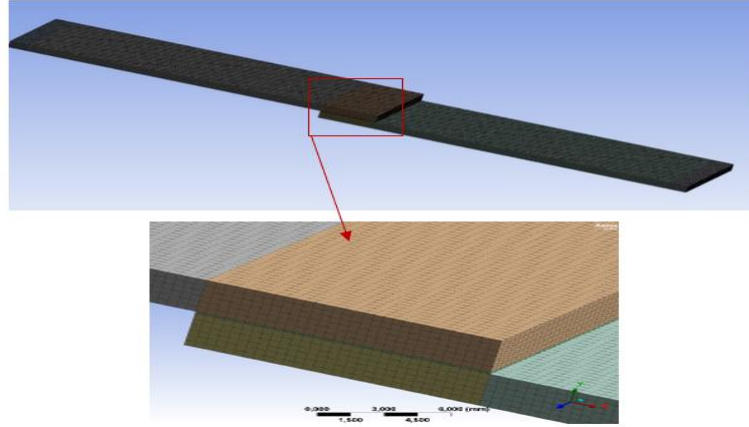
Özellikler	Malzeme
	Neoxil CE92N8
Elastite Modülü (MPa) - E	4152 ^b
Poisson Oranı - ν	0,35 ^b
Çekme Mukavemeti (MPa) – σ_u	24,7 ^b
Kayma Modülü (MPa) - G	1540 ^b

^b Solmaz, 2008



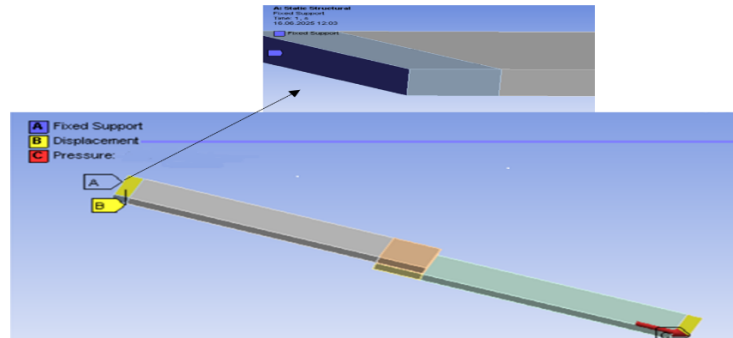
Görsel 4. NEOXİL CE 92 N8'in gerilme-şekil değiştime diyagramı (Solmaz, 2008).

Analizde kullanılacak geometri ANSYS Workbench üzerinden oluşturulmuştur. Yapışan malzeme ve yapıştırıcı malzeme özellikleri programa tanımlanmıştır. Modelin meshlenmiş görüntüsü Görsel 5'te verilmiştir.



Görsel 5. Örnek mesh yapısı

Modeller oluşturulduktan sonra geometri sonlu elemanlara bölünerek sınır şartları uygulanmış (Görsel 6) ve analiz yapılmıştır. Analizde sınır şartları Görsel 5'te görüldüğü üzere üst yapışan parça tek taraftan ankastre mesnet olarak sabitlenmiş olup alt ve üst yapışan parçalar eğilme momentini engellemek için alt ve üst yüzeylerinden $u_y=0$ olacak biçimde 5 mm mesafede sabitlenmiştir. Alt yapışan parça eksenel çekme yüküne maruz bırakılmıştır.



Görsel 6. Örnek sınır şartları

Yapıştırıcı birleştirmeli bağlantı yüklendiğinde yapıştırıcı tabakasında üç eksenli gerilme durumu oluşmaktadır. Eş değer gerilmeler (σ_{eq}), Von Mises akma kriterine göre hesaplanmış ve bu eş değer gerilmeler yapıştırıcı tabakanın herhangi bir noktasında yapıştırıcının çekme dayanımına ($\sigma_{Neoxil} = 24,7 \text{ MPa}$) ulaştığında hasarın meydana geldiği kabul edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

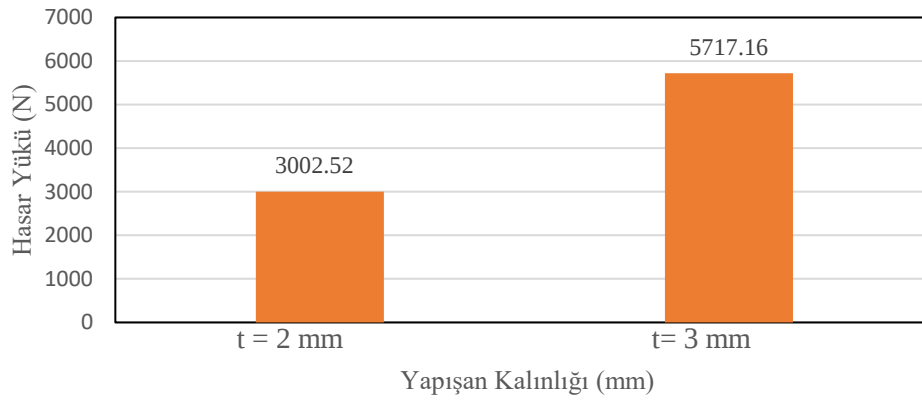
Bu araştırmada, yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantıların mekanik davranışlarını derinlemesine incelemek amacıyla ANSYS Workbench programında modellemesi yapılan basit bindirmeli bağlantılarda, bindirme mesafesi, yapıştırıcının kalınlığının değiştirilmesi, bindirme kalınlıkları, bağlantının takviyelendirilmesi sağlanarak farklı parametrelerde eksenel çekme yükü altında lineer elastik gerilme analizi yapılmıştır.

3.1 Yapışan malzeme (adherent) kalınlığının (t) dayanıma olan etkisi

Parametre olarak belirlenen t değerinin değişimi nedeniyle uygulanan hasar yükü, maksimum gerilme değerleri ve bu değerlerin hangi elemanlarda meydana geldiği Çizelge 6 ve Görsel 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. Yapışan malzeme kalınlığına (t) bağlı olarak ortaya çıkan değerler

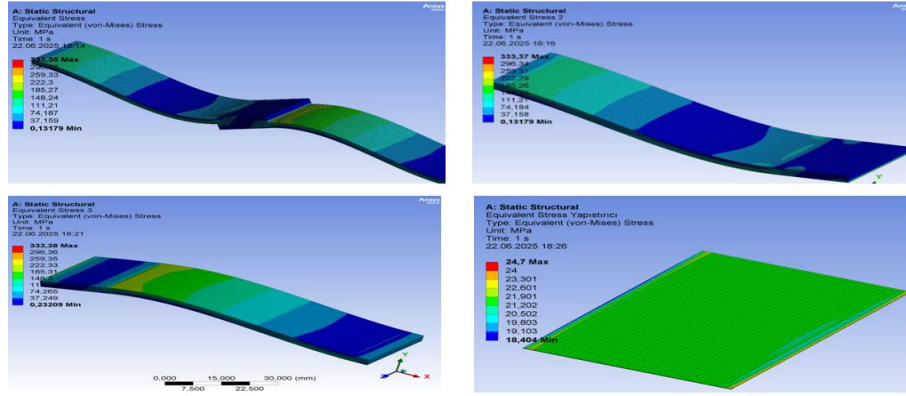
Sabit Parametreler: $n=0,1$ mm, $a=20$ mm, $w=30$ mm		
t (mm)	2	3
Max.Gerilme- σ (MPa)	206,67	333,38
Uygulanan Yük- P (MPa)	50,042	63,524
Hasar Yüğü- F (N)	3002,52	5717,16
Adhesive- σ_{Max} (MPa)	24,7	24,7
Adherent 1- σ_{Max} (MPa)	206,67	333,38
Adherent 2- σ_{Max} (MPa)	206,67	333,38



Görsel 7. Yapışan malzeme kalınlığının (t) hasar yüküne etkisi

Yapıştırıcının kalınlığı (n) 0,1 mm, bindirme mesafesi (a) 20 mm olarak alınan, alt ve üst malzemenin kalınlığı (t) değiştirilerek yapılan analiz sonucunda kalınlık 2 mm iken alınan hasar yükü 3002.52 N, kalınlık 3 mm iken alınan hasar yükü ise 5717.16 N olarak elde edilmiştir.

Yapışan malzeme kalınlığına bağlı olarak hasar yükünün en yüksek olduğu bağlantının gerilme dağılımı Görsel 7’de verilmiştir. Yapışan kalınlığının 3 mm olması durumunda yapıştırıcının çekme dayanımını 24,7 MPa olunca bağlantının hasar yükü 5717.16 N olduğu tespit edilmiştir. Bu tasarımda maksimum gerilme değerinin 333,38 MPa olduğu görülmüştür.



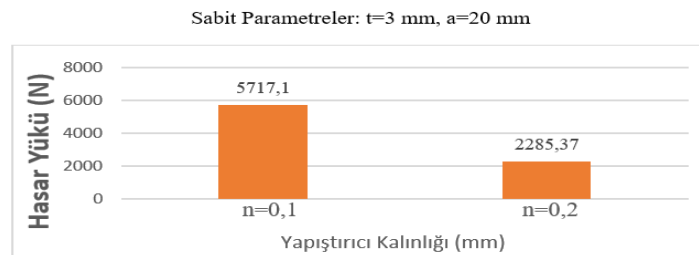
Görsel 8. $t=3$ mm, $n=0,1$ mm, $a=20$ mm ölçülerindeki modelin gerilme dağılımı

3.2 Yapıştırıcı kalınlığının (n) bağlantı dayanımına etkisi

Yapıştırıcı kalınlığının (n) değişimine göre uygulanan yük, maksimum gerilme değerleri Çizelge 7’de ve Görsel 8’de verilmiştir.

Çizelge 7. Yapıştırıcı kalınlığı (n) değişimine bağlı olarak ortaya çıkan sayısal veriler

Sabit Parametreler: $t=3$ mm, $a=20$ mm, $w=30$ mm		
n (mm)	0,1	0,2
Max. Gerilme- σ (MPa)	333,38	93,8
Uygulanan Yük- P (MPa)	63,524	25,393
Hasar Yüğü- F (N)	5717,16	2285,37
Adhesive- σ_{Max} (MPa)	24,7	24,7
Adherent 1- σ_{Max} (MPa)	333,37	93,8
Adherent 2- σ_{Max} (MPa)	333,38	93,8



Görsel 9. Yapıştırıcı kalınlığı (n) değişimi ile hasar yükü arasındaki ilişki

İkinci parametre olarak belirlenen yapıştırıcı malzeme kalınlığının (n) değişimi incelendiğinde yapıştırıcı kalınlığı artınca hasar yükünün azalmıştır. Yapıştırıcı kalınlığı değişiminin olduğu modeller incelendiğinde yapıştırıcı malzeme kalınlığı 0,1 mm iken hasar yükü 5717.16 N, yapıştırıcı malzeme kalınlığı 0,2 mm iken hasar yükü 2285.37 N’dir. Yapıştırıcı malzeme kalınlığı azaltıldığı zaman %150 oranında dayanımı arttırdığı görülmüştür.

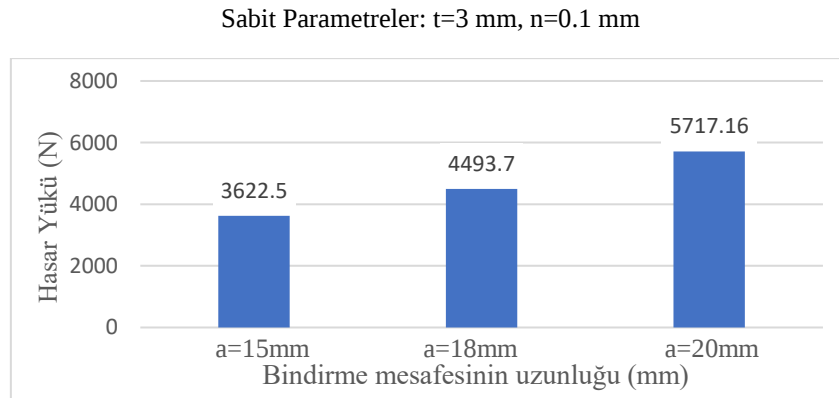
Yapıştırıcı malzemenin kalınlık değişimine bağlı olarak hasar yükünün en yüksek olduğu modellemenin gerilme dağılımı Görsel 8’de verilmiştir. İki analizin hasar yüklerinin karşılaştırılması ise Görsel 9’da verilmiştir. Bu analize bakıldığında yapıştırıcı malzemenin çekme dayanımının 24,7 MPa elde edilmesi için 5717.16 N’luk bir hasar yükü uygulanmıştır. Bu tasarımda maksimum gerilme 333.38 MPa olarak elde edilmiştir.

3.3 Bindirme Mesafesi (a) Değişiminin Dayanıma Etkisi

Bindirme mesafesinin dayanıma etkisini anlamak için a değerini 15 mm, 18 mm, 20 mm olarak değiştirilerek analizler gerçekleştirildi. Bindirme mesafesi (a) değişimine göre uygulanan yük, maksimum gerilme değerleri Çizelge 8 ve Görsel 10’da verilmiştir.

Çizelge 8. Bindirme mesafesinin (a) değişimine bağlı ortaya çıkan değerler

Sabit Parametreler: t=3 mm, n=0,1 mm			
a (mm)	15	18	20
Max. Gerilme- σ (MPa)	222,19	278,98	333,38
Uygulanan Yük- P (MPa)	40,25	49,93	63,524
Hasar Yüğü- F (N)	3622,5	4493,7	5717,16
Adhesive- σ_{Max} (MPa)	24,7	24,7	24,7
Adherent 1- σ_{Max} (MPa)	222,18	278,97	333,37
Adherent 2- σ_{Max} (MPa)	222,19	278,98	333,38



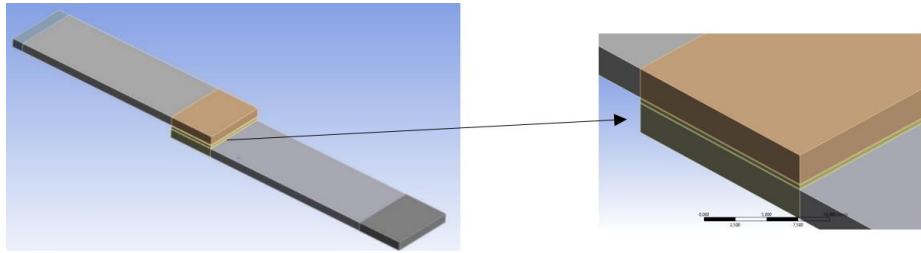
Görsel 10. Bindirme mesafesinin (a) değişimi ile hasar yükü arasındaki ilişki

Bindirme mesafesi 15 mm iken hasar yükü 3622,5 N, bindirme mesafesi 18 mm iken hasar yükü 4493,7 N, bindirme mesafesi 20 mm olduğu zaman ise analizin hasar yükü 5717.16 N olduğu Görsel 10’da görülmüştür. Bu sebeple bindirme mesafesi artışının bu tip bağlantıların dayanımını artırıcı yönde etki ettiği belirlenmiştir. Bu tasarım Görsel 8’de verilmiş olan tasarımdır.

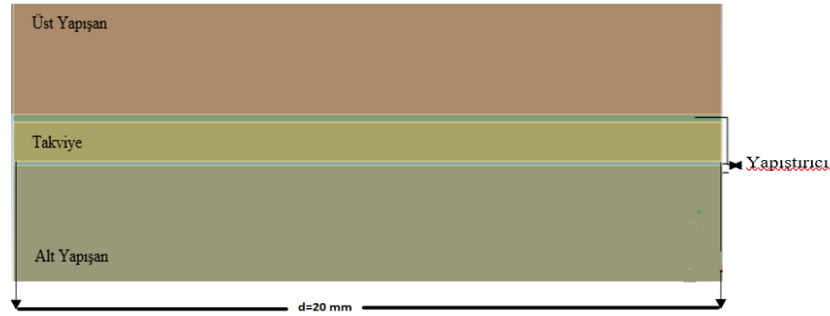
3.4 Takviyenin Bağlantı Dayanımına Etkisi

Gerçekleştirilen çalışmalara ilave olarak bindirme bölgesinde bağlantıyı takviyelendirmenin bağlantı dayanımına nasıl etki edeceği incelenmek istenmiştir. Takviyesiz olarak incelenen bağlantılarda dayanımı en yüksek olan numune ($t=3$ mm, $a=20$ mm, $n=0.1$ mm) takviyelendirme için tercih edilmiştir. Dördüncü parametre olarak ise bindirme bölgesi 1 mm kalınlığında (c) yapı çeliği ile takviyelendirilerek bu bağlantıda yine bindirme mesafesinin (a) ve takviyenin uzunluğunun(t) değişiminin bağlantı dayanımına etkisi incelenmiştir.

Görsel 11’de bindirme bölgesi takviyelendirilmiş olan modelin şekli verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere bu modelde bindirme bölgesi uzunluğu ile takviye uzunluğu eşit olarak alınmıştır.



Görsel 11. Takviyeli bağlantı modelinin resmi ($d=20$ mm)

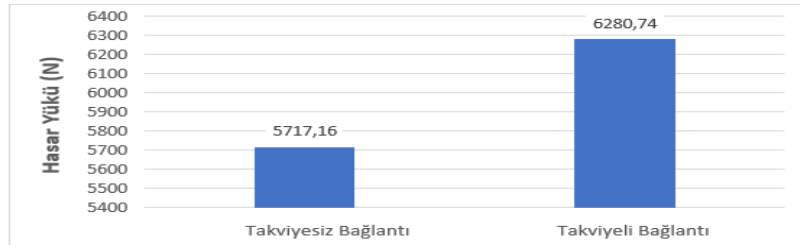


Görsel 12. Takviyeli bağlantı modeli bindirme bölgesi ($d=20$ mm)

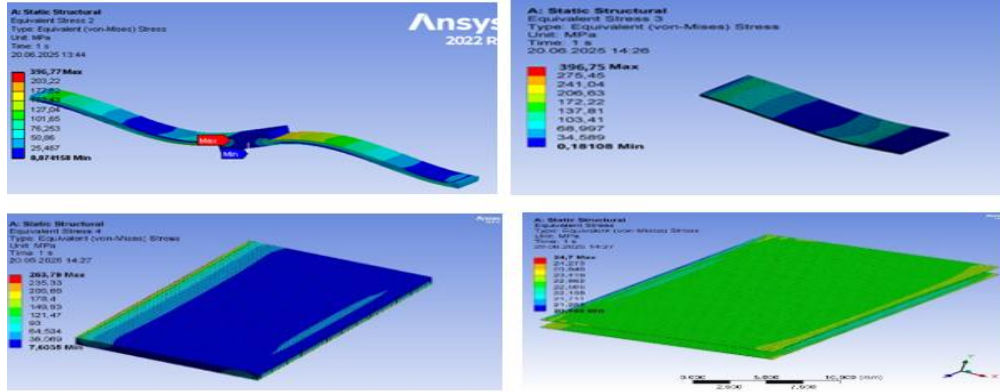
Çizelge 9. Takviyesiz ve takviyeli modelin karşılaştırılması

Sabit Parametreler: $t=3$ mm, $a=d=20$ mm, $n=0,1$		
Takviye	Takviyesiz	Takviyeli
Max. Gerilme- σ (MPa)	333,8	396,75
Uygulanan Yük- P (MPa)	63,254	69,786
Hasar Yüğü- F (N)	5717,16	6280,74
Adhesive- σ_{Max} (MPa)	24,7	24,7
Adherent 1- σ_{Max} (MPa)	333,38	396,75
Adherent 2- σ_{Max} (MPa)	333,38	396,77
Takviye- σ_{Max} (MPa)	-	263,79

Sabit Parametreler: $t=3$ mm, $a=d=20$ mm, $n=0,1$



Görsel 13. Takviyenin hasar yüküne etkisi



Görsel 14. $t=3$ mm, $d=a=20$ mm, $c=1$ mm, $n=0,1$ mm ölçülerindeki modelin gerilme dağılımı

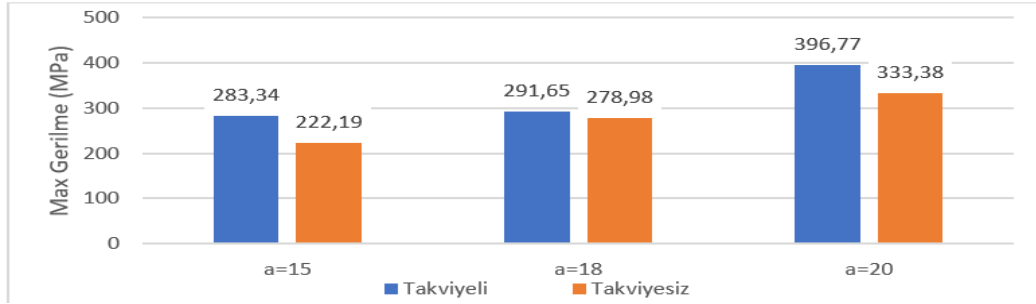
3.5 Takviyeli Bağlantılarda Bindirme Mesafesinin (a) Dayanıma Etkisi

Takviyesiz bağlantılarda bindirme mesafesinin (a) dayanıma olan etkisi incelendiğinde bindirme mesafesi uzunluğu 15,18,20 mm olarak alınıp, bağlantının en iyi dayanıma 20 mm bindirme mesafesinde ulaştığı yapılan analizler neticesinde tespit edilmiştir. Bu sebeple takviyeli bağlantı modeli için de bindirme mesafesi uzunluğu 15,18,20 mm alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Aynı bindirme mesafesine sahip takviyeli ve takviyesiz bağlantıların analizlerinden elde edilen gerilme ve hasar kuvvetleri Çizelge 10 ve Görsel 15'te verilmiştir

Çizelge 10. Takviyeli bağlantıda bindirme mesafesinin (a) değişimine bağlı elde edilen değerler

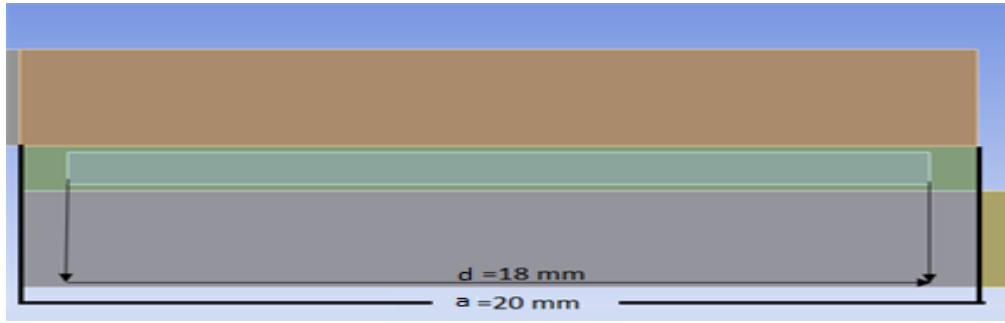
Sabit Parametreler: $t=3$ mm, $d=20$ mm, $n=0,05$ mm, $c=1$ mm						
a (mm)	15		18		20	
Takviyeli-Takviyesiz	Takviyeli	Takviyesiz	Takviyeli	Takviyesiz	Takviyeli	Takviyesiz
Max Gerilme- (MPa)	238,34	222,19	291,65	278,98	396,77	333,38
Uygulanan Yük- P (MPa)	42,214	40,25	54,653	49,93	69,78	63,524
Hasar Yüğü- F (N)	3799,26	3622,5	4918,77	4493,7	6280,74	5717,16
Adhesive- σ_{Max} (MPa)	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7
Adherent 1- σ_{Max} (MPa)	283,33	222,18	291,64	278,97	396,75	333,37
Adherent 2- σ_{Max} (MPa)	283,34	222,19	291,65	278,98	396,77	333,38
Takviye- σ_{Max} (MPa)	224,19	-	230,22	-	263,79	-



Görsel 15. Takviyeli-takviyesiz bağlantılarda bindirme mesafelerinin hasar yüküne etkisi

3.6 Takviye Uzunluğunun (d) Bağlantı Dayanımına Etkisi

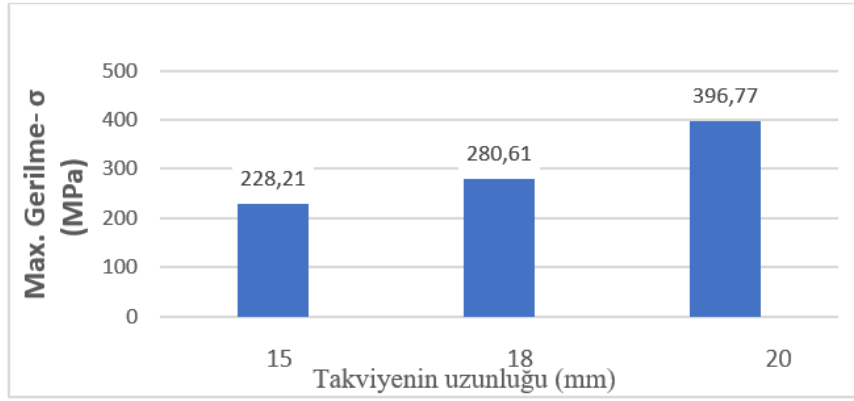
Çalışmanın bu kısmında bindirme mesafesi 20 mm olarak sabit tutulmuş ve takviye uzunluğu (d) 15, 18 ve 20 mm seçilerek oluşturulan üç farklı modelin analiz sonuçları elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Görsel 16'da 18 mm takviye uzunluğuna sahip modelin bindirme bölgesinin önden görünümü, Çizelge 11'de ve Görsel 17'de ise gerçekleştirilen analizler neticesinde tespit edilen gerilme ve hasar yükleri verilmiştir.



Görsel 16. Takviyeli bindirme bölgesinin önden görünümü (a=20 mm, d=18 mm)

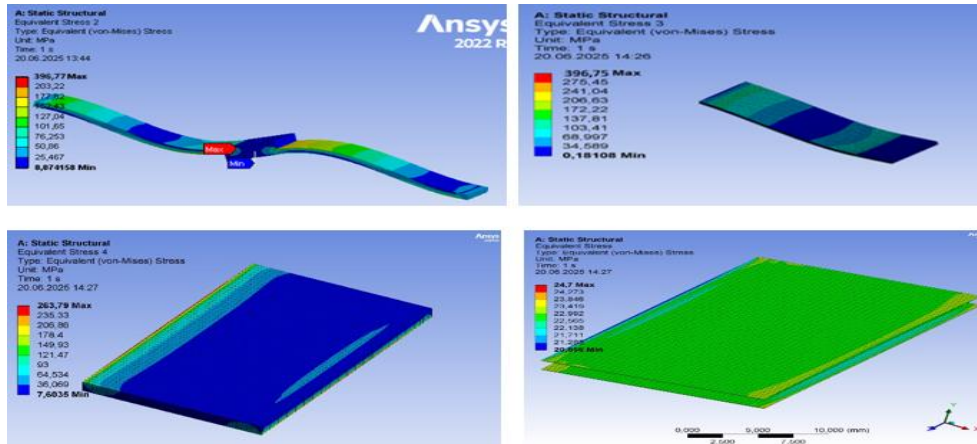
Çizelge 11. Takviyeli bağlantıda takviye uzunluğu değişimine bağlı olarak elde edilen değerler

Sabit Parametreler: t=3 mm, n=0,05 mm, a=20 mm, c=1 mm			
d (mm)	15	18	20
Max. Gerilme- σ (MPa)	228,21	280,61	396,77
Uygulanan Yük- P (MPa)	39,915	54,61	69,78
Hasar Yükü- F (N)	3592,35	4914,9	6280,74
Adhesive- σ_{Max} (MPa)	24,7	24,7	24,7
Adherent 1- σ_{Max} (MPa)	228,21	280,60	396,75
Adherent 2- σ_{Max} (MPa)	228,21	280,61	227,94
Takviye- σ_{Max} (MPa)	79,724	188,61	263,79



Görsel 17. Takviyenin uzunluğunun hasar yüküne etkisi

Yapılan analizlerden elde edilen veriler sonucunda takviye uzunluğu 20 mm olarak seçilen modelden (Görsel 18) elde edilen von-Mises gerilme değerlerinin daha yüksek olduğu yani bu modelin diğer modellere göre hasar yükünün daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Takviye uzunluğu 20 mm olarak yapılan analizde hasar yükü 6280,74 olarak elde edilmiştir.



Görsel 18. $t=3$ mm, $d=a=20$ mm, $c=1$ mm, $n=0,1$ mm ölçülerindeki modelin gerilme analizi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yapıştırıcı ile birleştirilen basit bindirme bağlantılarında; yapışan malzeme kalınlığı, bindirme mesafesi, yapıştırıcı kalınlığı ve takviye malzeme kullanımının bağlantı dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapışan ve takviye malzemesi olarak yapı çeliği, yapıştırıcı malzeme olarak ise **Neoxil CE 92 N8** tercih edilmiştir.

Gerilme analizlerinde; **yapıştırıcı kalınlığı (n)**, **yapışan malzeme kalınlığı (t)**, **bindirme mesafesi (a)** ve **takviye elemanının uzunluğu (d)** parametrelerinin farklı değerleri esas alınarak, yapıştırıcının 24,7 MPa olan çekme dayanımına ulaştığında bağlantıda hasarın meydana geldiği kabul edilmiştir. Değerlendirmeler **von-Mises akma kriteri** esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Analizler, **ANSYS Workbench** yazılımı kullanılarak hazırlanmış 11 farklı model üzerinde, lineer elastik davranış varsayımıyla yapılmıştır. Bu modellerde; iki farklı

yapışan malzeme kalınlığı, iki farklı yapıştırıcı kalınlığı ve üç farklı bindirme mesafesi kullanılmıştır.

İlk parametre olarak değerlendirilen **yapışan malzeme kalınlığının (t)** artmasının, modelde oluşan gerilme değerlerini artırdığı gözlemlenmiştir. Bağlantıda yapıştırıcı gerilme değerinin 24.7 MPa elde edilmesi için uygulanan yük $t=3$ mm olduğu zaman daha fazladır. Uygulanan yükün artması hasar yükünü de arttırdığından dolayı 3 mm olan kalınlık dayanım açısından daha etkili sonuç vermektedir. Yapışan malzeme kalınlığını 3 mm olarak alındığında elde edilen hasar yükü; 2 mm olarak alınan analize kıyasla %81 oranında artmıştır. Bu nedenle, yapışan malzeme kalınlığının artırılmasının bağlantı dayanımını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Bu bulgu doğrultusunda, sonraki analizlerde yapışan malzeme kalınlığı **3 mm** olarak sabitlenmiştir.

İkinci parametre olarak ele alınan **yapıştırıcı kalınlığı (n)** için, 0,1 mm ve 0,2 mm olmak üzere iki farklı değer alınarak analiz yapılmıştır. Analizler sonucunda, 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanıldığında hasar yükünün daha yüksek olduğu ve buna bağlı olarak bağlantı dayanımının arttığı görülmüştür. Bu nedenle, sonraki analizlerde **n = 0,1 mm** olarak belirlenmiştir.

Üçüncü parametre olan **bindirme mesafesi (a)** için 15 mm, 18 mm ve 20 mm uzunluklarında modeller oluşturulmuştur. Analiz sonuçları, bindirme mesafesi arttıkça bağlantının hasar dayanımının da arttığını göstermiştir. Özellikle **bindirme mesafesi 20 mm, yapışan kalınlığı 3 mm ve yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm** olan model, tüm modeller arasında en yüksek hasar dayanımına sahip model olarak belirlenmiştir.

Analiz yapısını biraz daha farklılaştırarak yapışan malzemeler arasına bir adet takviye malzemesi kullanılmıştır. Takviyeli bağlantı modelindeki bindirme mesafesi ve takviyenin uzunluğu eşit alınıp 15 mm, 18 mm ve 20 mm alınarak analizler yapılmıştır. Basit bindirmeli bağlantı modeliyle kıyasladığımız zaman takviyeli bağlantı modelinin hasar yükü %9 oranında artmıştır. Takviyeli bağlantı modelinin hasar dayanımının daha fazla olduğu bu şekilde tespit edilmiştir.

Son olarak, **takviye malzemesinin uzunluğu** değiştirilerek yapılan analizlerde, takviye uzunluğunun bindirme mesafesiyle eşit olduğu (20mm) durumda bağlantı dayanımının en yüksek seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. Bu durum, takviye elemanının uygun uzunlukta tasarlanmasının bağlantı performansı açısından kritik bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

- AKÇAKALE, N. Yapıştırıcılar ve Yapıştırıcıların Genel Özellikleri. *Bütün Yayın Hakları Saklıdır Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.*, 373.Özenç, M. (2007). Yapıştırma bağlantılarının darbe yükleri altındaki davranışlarının incelenmesi (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Demir, M. E. (2016). Tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının üç boyutlu gerilme analizi (Master's thesis, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Adams, R. D., and Wake, W. C., (1984). Structural Adhesive Joint in Engineering. Elsevier Science Publisher, London
- Hepburn, C. (1992). Polyurethane Elastomers. Springer.
- Adin, H. (2007). Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Ters Z Tipi Kompozit Malzemelerinin Mekanik Analizi (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yanen, C., (2017). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Tek ve Çift Alın Açılı Bağlantıların Mekanik Dayanımlarının Araştırılması, Doktora Semineri, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- Yıldırım, M. (2011). Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların düşük hızlı darbe davranışları (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri).
- Solmaz, M. Y., & Taş, B. (2018). Yapıştırıcıyla Birleştirilmiş Konik Geçme Bağlantıların Burulma Momenti Etkisindeki Davranışları. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(2), 73-86.
- Kodakoğlu, L. (1996). Yapıştırıcıların Genel Özellikleri Ve Çekme Gerilmesine Maruz Yapışma Birleşmesinin Analitik Ve Nümerik Olarak İncelenmesi.
- Karakaya, Ş., & Soykasap, Ö. (2008). Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Tek Bindirmeli Dokumalı Kompozit Yapıların Eğilme Hasarı. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(2), 43-52.
- 3M. (t.y.). Anaerobik Yapıştırıcılar. https://www.3m.com.tr/3M/tr_TR/bonding-and-assembly-tr/structural-adhesives/anaerobic-adhesives/#discover
- Loctite Corporation. (1998). Loctite Worldwide Design Handbook. Loctite Corporation.
- Morrisey, M.A. and Johnson, W.R., (1985). Douglas Aircraft Company Design Handbook, Adhesive and Cements, California.
- Taib, A.A., Boukhili, R., Achion, S. and Boukehili, A., (2006). Bonded joints with composite adherends. Part II. Finite element analysis of joggle lap joints, International Journal of Adhesion & Adhesives, vol 26, ss. 237- 248
- Topçuoğlu, S. (2023). Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mukavemeti üzerine takviye edilmiş bindirme bölgesinin etkilerinin araştırılması [Yüksek Lisans Tezi] Fırat Üniversitesi.
- Türk Standardları Enstitüsü. (2013). TS EN ISO 10365: Yapıştırıcılar – Bağlantı türlerinin adlandırılması (Türk Standardı). Türk Standardları Enstitüsü.

DÖRTDÖNERLERDE SES GÜRÜLTÜSÜ KAYNAKLARININ İNCELENMESİ

Tolga DOĞAN

Yozgat Bozok Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü (Yüksek Lisans Programı)
91116124021@ogr.bozok.edu.tr ORCID: 0009-0007-7349-2543

Prof. Dr. İlhami YİĞİT

Yozgat Bozok Üniversitesi (Makina Mühendisliği Bölümü)
ilhami.yigit@yobu.edu.tr ORCID: 0000-0002-3838-4770

ÖZET

Dördöner (quadrotor veya quadcopter), dört pervaneli, genellikle elektrik tahrikli rotor kullanan, ayrıca uzaktan kumanda ile yönlendirilen bir insansız hava aracıdır. Dördönerler, tarım, eğlence, kargo, gözetleme veya saldırı gibi çok çeşitli alanlarda sivil veya askeri amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadır. Dördönerler çıkardıkları gürültüden dolayı çevreyi rahatsız edebilmektedir. Askeri alanda da gürültüsünden dolayı kolay tespit edilebilmesi sorun oluşturmaktadır. Bu nedenle dördönerler ve benzeri sistemlerde gürültü azaltımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Ancak açık kaynaklarda konu ile ilgili derli toplu, açık ve net bilimsel çalışmalar sınırlıdır. Gürültü azaltma yöntemleri geliştirebilmek için öncelikle gürültü kaynaklarının yeterince tanınması gereklidir. Bu çalışma ile dördönerlerdeki gürültü kaynaklarının sınıflandırma yapılarak detaylı bir şekilde incelenmesi amaçlanmıştır. Gürültü kaynakları, elektrik motoru gürültüsü, pervane gürültüsü, yükleme gürültüsü, kanat kalınlık gürültüsü, geniş bant gürültüsü, kanat türbülans etkileşimi gürültüsü, kanat iz etkileşimi gürültüsü ve tonal gürültüdür. En önemli gürültü kaynakları arasında elektrik motoru gürültüsü, pervane gürültüsü ve tonal gürültü yer almaktadır. Dördöner gürültüsüne neden olan kaynakların daha iyi anlaşılabilmesi için bir dördöner tasarlanmış, gürültüye neden olan durumlar akış benzetimi ve modal analiz yardımıyla incelenmiştir. Dördönerlerde gürültünün optimum seviyede olabilmesi için yataklama elemanlarının hassas toleransta seçimi ve montajı büyük önem arz etmektedir. Rotor ve stator arasındaki hava boşlukları mekanik titreşimden kaynaklanan gürültüye neden olabilmektedir. Ayrıca pervane kanadının kalınlığı da gürültüye neden olmakta, dördönerin genel aerodinamik gürültü azaltımını ve vibroakustik durumunu etkilemektedir. Akış dinamiğinin dördöner gürültü azaltımı üzerinde ne gibi bir rol oynadığının anlaşılması kritik bir öneme sahiptir. Diğer gürültü kaynakları da etki derecelerine göre ele alınmakta ve sonuç çıkarımlarında bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dördöner gürültüsü, motor gürültüsü, pervane gürültüsü, tonal gürültü, vibroakustik, modal analiz, akış analizi ve benzetim

1. GİRİŞ

Dördöner diğer bir adıyla kuadkopter olarak bilinen dört adet pervaneye ve fırçasız doğru akım motoruna sahip olan bir insansız hava aracıdır. İlk olarak askeri ve endüstriyel kullanım için geliştirilmiştir. Dördönerler hobiciler, fotoğrafçılar, kameramanlar, arazi ölçümcüleri, ilk müdahale ekipleri ve hatta teslimat şirketleri arasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzaktan kumanda ile yönlendirilirler. İçlerinde en yaygın olarak kullanılan kuadkopterlerdir. Altı serbestlik derecesine sahiptirler. Dördönerler, insansız hava aracının beyni olan; girdileri, çıktıları ve kontrolleri dengeleyen bir uçuş kontrolörüne sahiptirler. Jiroskoplar, ivmeölçerler, GPS ve kameralar gibi sensörler ise dördönerlerin daha güvenli bir şekilde uçuşmasına olanak sağlamaktadırlar. Dikey olarak iniş ve kalkış yapabilme kabiliyetine sahiptirler. Dördönerler çalışırken titreşimden dolayı fırçasız doğru akım motoru ve buna bağlı olan pervanenin dönmesiyle gürültü ortaya çıkarırlar. Bu gürültünün ortaya çıkmasının sebebi ise bir dördönerde kullanılan fırçasız doğru akım motorunun montajı esnasında toleransların düzgün olarak yapılmamasıdır. Bu sebeple motor içindeki gürültünün sürekli olarak dalgalanmasından ötürü titreşim ortaya çıkacak, bunun sonucunda ise gürültü meydana gelecektir. Bir dördönerin çalışması esnasında birden fazla gürültü kaynağı ortaya çıkmaktadır. Tırtıklı gurney flaplı düşük gürültülü dron pervanesinin karakterizasyonu üzerine yapılan bir çalışmada, bir kanat profilinin arka kenar yapısı olan gurney flabı ile bir baykuş tüyünde bulunan düşük gürültülü yapı olan tırtıklı flabın birleştirilmesiyle yeni bir yapı olan tırtıklı gurney flabı geliştirilmiştir. Sonuçlar, yapının gurney kanatçığı tarafından oluşturulan girdap ayrımını azaltırken pervanenin kaldırma katsayısını artırabildiğini ve pervaneyi yavaşlatarak pervane gürültüsünü bastırabildiğini göstermiştir. Yapısında yapılacak daha fazla değişikliklerle hem verim artırılabilir hem de gürültü seviyesi düşürülebilir olduğunu ifade etmişlerdir [Noda vd., 2022]. İnsansız hava araçlarında motor gürültüsünün azaltılmasına yönelik deneysel araştırmada, ses geçirmez malzemelerle birlikte mikro delikli panel emicilere dayalı pasif gürültü azaltma yaklaşımını incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar, önerilen gürültü azaltma yapılarının motorun genel gürültü seviyesinde önemli bir azalma sağlayabileceğini belirtmiştir. Sonuçlar, ses geçirmez malzemelerle desteklenen mikro delikli bir panelin, bir motor için genel gürültü seviyesi azaltmada, arkasında hava boşluğu bulunan mikro delikli bir panelden daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir [Qian vd., 2021]. Kaynak modu genişletmeleri kullanılarak kuadro rotor tipi İHA'nın tonal gürültü hesaplanması üzerine yapılan bir çalışmada, gerçekçi parametreler kümesiyle elde edilen basit sonuçlar, küçük boyutlu dört rotorlu uçakların çalışması sırasında oluşan tonal gürültünün esas olarak ileri uçuş veya kurulum etkilerinden kaynaklanan periyodik kanat kuvvetleri tarafından üretildiğini işaret etmektedir [Roger & Moreau, 2020]. Pervane kanatlarının aeroakustik analizi üzerine yapılan bir çalışmada, iki düşük gürültülü pervane tasarlanmıştır. Geniş bant gürültüsü, iki pervane için akustik enerjinin çoğunu oluşturmuştur. Daha büyük bir kordu olan pervane, Reynolds sayısı daha büyük olduğundan ve türbülanslı kinetik enerji daha yoğun olduğundan daha büyük geniş bant gürültüsüne sahiptir. Ffowcs-Williams Hawkins (FW-H) yöntemi, geniş bant gürültüsünü iyi tahmin edemeyebilir. Küçük insansız hava araçları için düşük gürültülü pervaneler tasarlanırken geniş bant gürültüsünün azaltılması daha önemlidir [Zhang vd., 2023]. Sıfır olmayan hücum açılarında pozitif ve negatif

itme rejimlerinde bir pervanenin aerodinamiği ve uzak alan gürültü emisyonları üzerine yapılan bir çalışmada, hem dönme düzleminde hem de dönme düzlemine dik düzlemde yükleme gürültüsünün yönlendirilebilirliği, pozitif ve negatif itme koşullarında hücum açısından farklı şekilde etkilenmiştir. Pozitif itme koşulunda, yükleme gürültüsü pervanenin uzağa doğru eğildiği bölgede artarken, pervanenin uzağa doğru eğildiği bölgede azalmıştır. Öte yandan, negatif itme koşulunda ise tam tersi bir eğilim gözlenir; burada yükleme gürültüsü pervanenin uzağa doğru eğildiği bölgede azalırken, kendisine doğru eğildiği bölgede artmıştır. Bu zıt eğilimler, hücum açısının neden olduğu mutlak kanat yükündeki zıt değişimlerden kaynaklanmaktadır. Negatif itme koşulunda, kalınlık gürültüsü ve yükleme gürültüsü belirli azimut ve eksenel konumlarda yok edici bir şekilde müdahale ederek, bu konumlarda toplam gürültünün azalmasına sebep olur [Goyal vd., 2023]. Yüksek doğruluklu sayısal simülasyonlar kullanılarak ön kenar tırtıklı kanat türbülans etkileşim gürültüsünün azaltılmasının incelenmesi üzerinde yapılan bir çalışmada sonuçlar, tırtıklı yüzeyler uygulandığında rotor kanat türbülans etkileşimi gürültüsünün aracın arkasında 5 dB 'ye kadar azaldığını göstermiş ve daha yüksek tırtık yüksekliği-dalga boyu oranlarının daha etkili olduğunu kanıtlamaktadır [Tran & Lee, 2025]. Havada süzülen küçük insansız hava araçlarında rotorlar için kanat iz etkileşimi gürültüsü bölüm I karakterizasyon çalışması adlı çalışmada; kanat iz etkileşimi gürültüsünün en düşük biçimi, kanat izinin rotor sistemi boyunca yukarı doğru hareket ettiği türbülanslı iz durumunda ve hafif dikey iniş koşullarında meydana gelmiştir [Thurman & Baeder, 2023]. Düşük çalışma gürültüsü ve optimize edilmiş enerji tüketimi için dağıtıcı gövdeli dron pervanesi üzerinde yapılan bir çalışmada araştırmacılar, ANSYS ve Solidworks programı kullanarak pervane gürültüsünü minimize etmeyi amaçlamışlardır. Dağıtıcı gövdeyi kullandıktan sonra gürültü seviyesinin %5 oranında azaldığını bulmuşlardır (Malapur vd., 2022). Tasarıma yönelik yeni bir yaklaşım ve çevre dostu geliştirmelerle ve geliştirmeler olmadan kırılmış delta kanat performansının kapsamlı incelemesi üzerinde ANSYS Fluent kullanılarak yapılan bir çalışmada, Falcon-1, kanatta bulunan modifikasyondan kaynaklanan gürültüde %3,48'lik azalma baz alındığında daha iyi performans gösterdiğinin sonucuna varmışlardır (Padmanathan vd., 2025). İHA pervanelerinin kararlı ve kararlı olmayan yükleme gürültüsü kaynaklarının aerodinamik analizleri üzerinde yapılan bir çalışmada ANSYS CFX programı kullanılmış, kanat türbülans etkileşimi sonucu oluşan kararlı olmayan yükleme gürültüsünün kanat geometrisine ve devir sayısına bağlı olarak değiştiğini bulmuşlardır (Kim vd., 2019). Çift kanatlı bir dron rotor pervanesinin sayısal performans analizi üzerinde yapılan bir çalışmada, 30° kanat açılı önerilen tasarım, gelen akışkanın ön kenar üzerinde daha fazla kinetik enerji üretmesine olanak tanımış ve tork üretimine ve gürültüye neden olan uç hızı oranının azaltılmasına yardımcı olduğunu bulmuşlardır (Rajendran & Jayaprakash, 2023). Bu yapılan çalışmalar her bir gürültü kaynağının bir dörtlöner üzerinde gürültü azaltımı optimizasyonunda ne derece önemli olduğunu ortaya koymakta ve tanımlamaktadır. Yapılacak olan bu çalışmada ise sessiz dörtlönerlerde gürültü kaynakları incelenmiş ve varsayımlarda bulunulmuştur.

2. DÖRTDÖNERLERDE GÜRÜLTÜ KAYNAKLARI

2.1. Elektrik Motoru Gürültüsü

Dörtlönerlerde yaygın olarak kullanılan elektrik motorlarından biriside fırçasız doğru akım motorudur. Fırçasız doğru akım motorunun bileşenleri ise stator, rotor, motor gövde muhafazası, sabit mıknatıs, bobin ve yataktan oluşmaktadır. Elektrik motorlarından yayılan gürültü mekanik merkezli, aerodinamik merkezli ve elektromanyetik merkezlidir [Gonzalez vd., 2023]. Fırçasız doğru akım motorlarındaki elektromanyetik gürültü, esas olarak rotor ve stator parçaları üzerinde etkili olan elektromanyetik kuvvet/torktaki değişikliklerden kaynaklanır ve bu da rotorun dönmelerini sağlayan elektromanyetik torku meydana getirir [Xia vd., 2017]. Mekanik gürültü, fırçasız doğru akım motorunun montajı esnasında yataklama elemanın, şaftın ve gövdenin yeterince hassas toleransta seçilmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu durum mekanik titreşime ve gürültüye neden olmaktadır. Aerodinamik gürültüye, motor çalışırken oluşan hava akışının hareketi sebep olmaktadır. Elektrik motorlarında gürültü ve titreşim analitik hesaplamalara dayanmaktadır. Mühendislikte ses basıncı, ortalama karekök değeri (p_e) ile ölçülmektedir (Gieras vd., 2018).

$$p_e = \sqrt{\frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} [p(t)]^2 dt} \quad \frac{N}{m^2} \quad dB \quad (1)$$

Ayrıca, insan işitme tepkisi 20 μ Pa işitme eşiğinden 200 Pa ağrı eşiğine (yani 10 milisaniyelik bir aralık) kadar değiştiğinden, ses basıncındaki değişimleri ölçmek için logaritmik ölçek benimsenmiştir. Ses basınç seviyesi (SPL) desibel (dB) cinsinden şu şekilde tanımlanmaktadır (Gieras vd., 2018).

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{p_e}{p_{ref}} = 20 \log p_e + 94 \quad dB \quad (2)$$

Burada $p_{ref} = 2 \times 10^{-5}$ Pa, ortalama karekök değerindeki referans ses basıncıdır. Buna uygun olarak, ses yoğunluğu seviyesi şu şekilde tanımlanmaktadır (Gieras vd., 2018).

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_{ref}} = 10 \log I + 120 \quad dB \quad (3)$$

Burada $I_{ref} = p_{ref}^2 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ referans ses yoğunluğudur.

2.1.1. Statordan Yayılan Ses Gürültüsü

Elektromanyetik kuvvetteki uzay/zaman harmoniklerinin frekansı stator titreşim modlarının doğal frekansına yakın olduğunda statordan yayılan ses özellikle ilgi çekicidir. Bu frekansta statorun titreşim davranışı bu özel mod tarafından domine edilir ve bu moddan yayılan ses toplam ses gücünde önemli rol oynar. Bu durumda, modal radyasyon verimliliği doğrudan toplam yayılan ses gücünün hesaplanmasında kullanılabilir. Denklem 8'e dayanarak statorun dış yüzeyi S_f , radyal titreşim yer değiştirmesi A_m , stator çekirdeğinin modal radyasyon

verimliliği σ_m ve mod m için statorun dış yüzeyinden yayılan ses gücü aşağıdaki denklemden hesaplanabilir (Gieras vd., 2018).

$$\Pi \approx \Pi_m = \rho_0 c_0 \left(\frac{\omega A_m}{\sqrt{2}} \right)^2 \sigma_m S_f \quad W \quad (8)$$

2.2. Pervane Gürültüsü

Bir dörtlünerin pervanelerinin dönmesiyle oluşan bir gürültüdür. Bir dörtlüner insansız hava aracında pervane gürültüsünün kaynaklarından bazıları yükleme gürültüsü (sabit ve sabit olmayan), kalınlık gürültüsü ve geniş bant gürültüsüdür. Pervane kanatları bir rüzgâr, iz veya gövdeye yakın bir geçişle karşılaşır, akustik spektruma daha fazla harmonik içerik ekleyen dengesiz yükleme gürültüsü oluşur. Geniş bant gürültüsü de dengesiz yükleme gürültüsünün bir türüdür ve türbülansın kanatla etkileşimi sonucu oluşur. Giriş türbülansı pervane kanatlarında düzensiz bir kaldırma kuvveti oluşturur ve bu da geniş bantlı ses olarak yayılır. Benzer şekilde, pervane sınır tabakası türbülansı, kanadın arka kenarıyla etkileşime girebilir ve geniş bant gürültüsü oluşturabilir. Kanat sınır tabakası laminar ise, arka kenardan gelen geniş bant gürültüsü oldukça yüksek olabilir. Ek olarak, milin dönüşü ile ilişkili tonlar aerodinamik gürültünün üzerine eklenir (Doolan vd., 2019). Bir pervaneden gelen gürültü, Ffowcs-Williams ve Hawkings (1969) denklemiyle fomülize edilir (Williams & Hawkings, 1969). Aerodinamik bir model uygulanarak öngörülebilir (Zhou & Fattah, 2017).

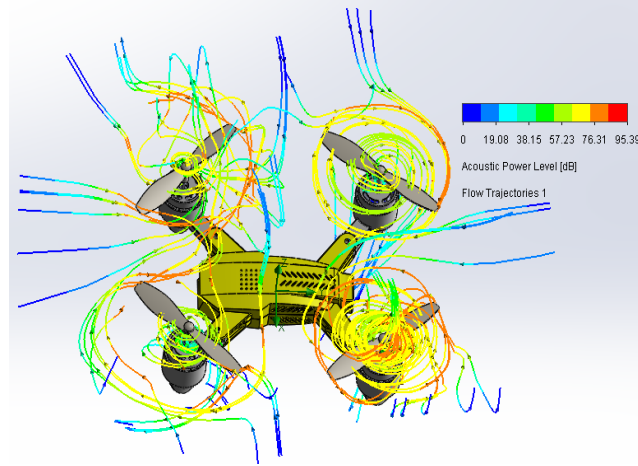
$$\begin{aligned} p'(x, t) c_\infty^2 H_s = & \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} \int_{V_0} \left[\frac{T_{ij}}{4\pi r |1 - M_r|} \right]_{\tau=\tau^*} dV(z) \\ & - \frac{\partial}{\partial x_i} \int_{S_0} \left[\frac{(\rho v_i (v_j - V_j) + p_{ij}) n_j}{4\pi r |1 - M_r|} \right]_{\tau=\tau^*} dS \\ & + \frac{\partial}{\partial t} \int_{S_0} \left[\frac{(\rho v_j - \rho' V_j) n_j}{4\pi r |1 - M_r|} \right]_{\tau=\tau^*} dS \end{aligned} \quad (9)$$

Gözlemci doğrultusundaki Mach sayısı M_r 'dir. Ffowcs-Williams Hawkings (FW-H) denkleminde integralin kapalı yüzeyi S_0 'dır. Zaman τ , gecikme zamanı ise τ^* 'dir. Aynı zamanda τ^* , yayma zamanı olarak ifade edilmektedir. p_{ij} , basma gerilmesi tensörüdür. n_j , yüzey normal birim vektörüdür. $p'(x, t)$ akustik basınçtır. V hacimdir. ρ yoğunluktur. ρ' yoğunluğun sürekli değişimidir. v hız vektörüdür. r radyal uzaklıktır. c_∞ ortamın ses hızıdır (Glegg & Devenport, 2017).

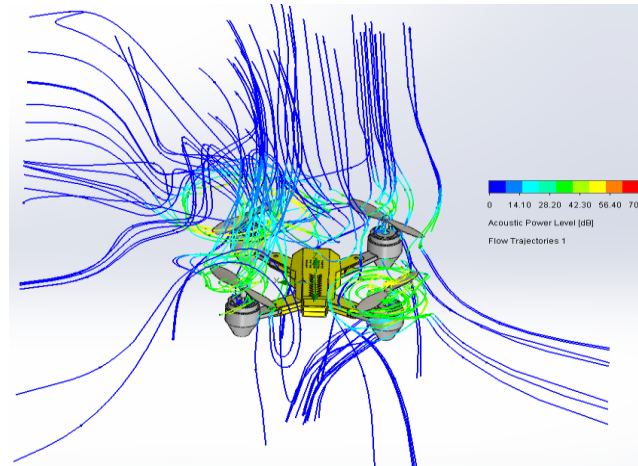
Pervane gürültüsünün daha iyi anlaşılması için Solidworks ortamında bir dörtlüner insansız hava aracı çizilmiş, çapları farklı üç adet pervane kullanılmış ve akış simülasyonu yapılmıştır.

Çizelge 1. Bir dörtlü benzetimde kullanılan pervanenin özellikleri

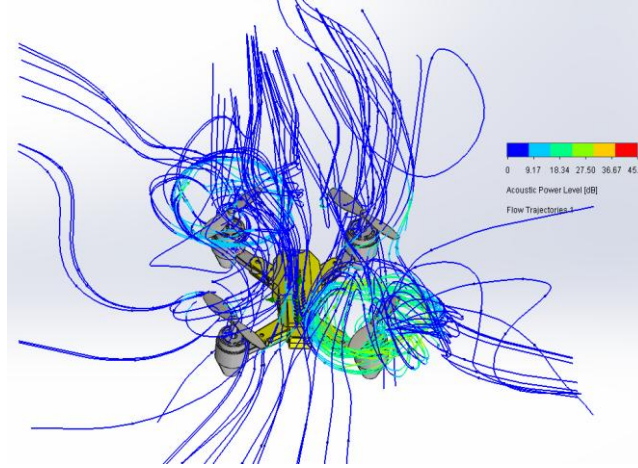
Pervane 1	Çap: 137 mm
Pervane 2	Çap: 132 mm
Pervane 3	Çap: 120 mm



Görsel 1. Pervane 1 durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi



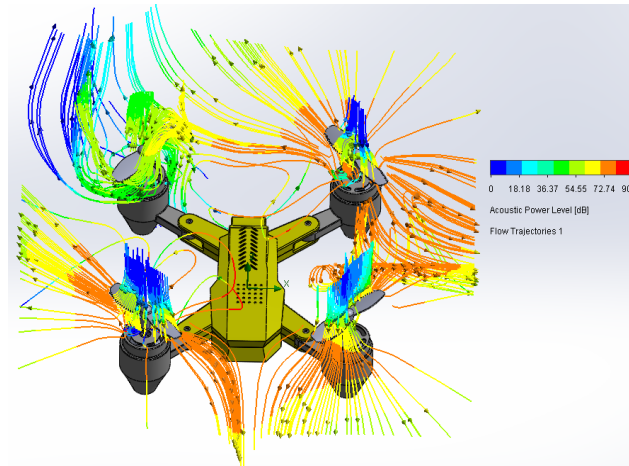
Görsel 2. Pervane 2 durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi



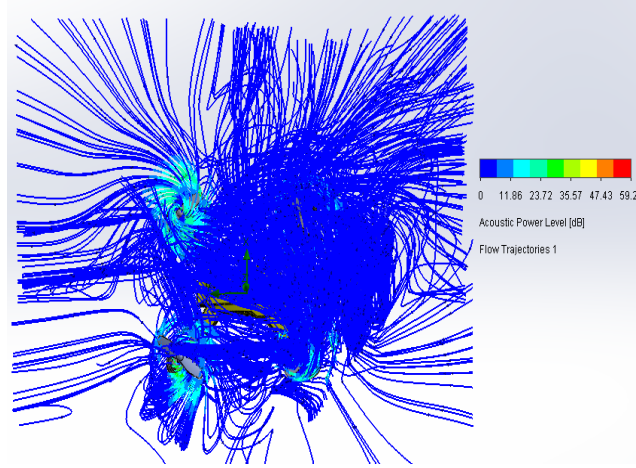
Görsel 3. Pervane 3 durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi

Simülasyonlarda elde edilen verilerde pervane 1 durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi 95.39 dB, pervane 2 durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi 70.51 dB ve pervane 3 durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi 45.84 dB olarak ölçülmüştür. En düşük akustik güç seviyesi pervane 3 durumunda elde edilmiştir.

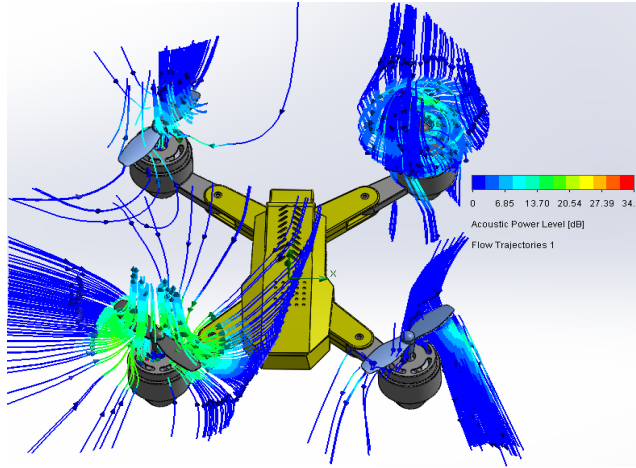
Ayrıca tırtıklı (testere dişli) kanatların gürültü üzerinde ne gibi bir azaltım sağladığını görmek için birbirinden farklı seyrek ve sıkı tırtıklı kanat tasarımı yapılmıştır. Aynı şekilde bu pervaneler, bir dörtlü döner üzerinde montajlanmış ve akış benzetimi yapılmıştır.



Görsel 4. Daha seyrek tırtıklı çift taraflı pervane kullanılması durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi



Görsel 5. Daha seyrek tırtıklı çift taraflı ve daha seyrek tırtıklı tek taraflı pervane kullanılması durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi



Görsel 6. Daha sıkı tırtıklı çift taraflı ve daha sıkı tırtıklı tek taraflı pervane kullanılması durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi

Daha seyrek tırtıklı çift taraflı pervane kullanılması durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi 90.92 dB, daha seyrek tırtıklı çift taraflı ve daha seyrek tırtıklı tek taraflı pervane kullanılması durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi 59.29 dB, daha sıkı tırtıklı çift taraflı ve daha sıkı tırtıklı tek taraflı pervane kullanılması durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi 34.24 dB olarak görülmüştür. En düşük gürültü azaltımı, daha sıkı tırtıklı çift taraflı ve daha sıkı tırtıklı tek taraflı pervane kullanılması durumunda ortaya çıkmıştır.

2.3. Kanat Kalınlık Gürültüsü

Kalınlık gürültüsü, pervane gürültüsünün bir kanat elemanına bitişik havanın enine yer değiştirmesinden kaynaklanan bölümü tanımlamaktadır. Sabit bir referans çerçevesinde bu yer değiştirme, pervane diski yakınındaki her hava elemanına periyodik olarak kütle girişine

eşdeğerdir ve bir noktadaki kütle giriş oranı çevresel hıza, kanat profiline, eğim ve geliş açılara bağlıdır (Hulse vd., 1966).

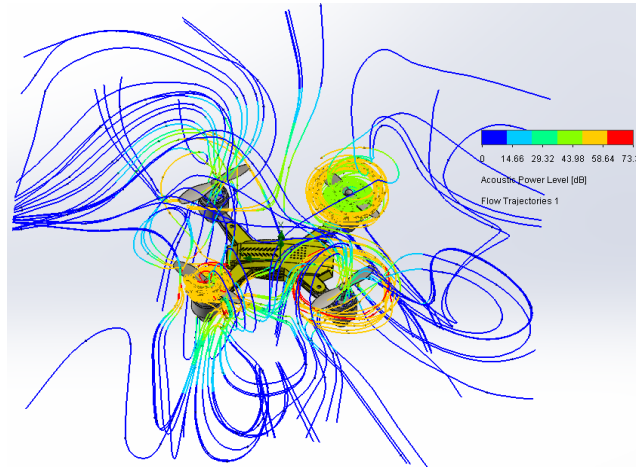
Kanat kalınlık gürültüsü Ffowcs-Williams ve Hawkins (FW-H) denklemindeki üçüncü terimle ifade edilmektedir. Ortam yoğunluğu ρ_∞ 'dur. j doğrultusundaki birim vektörün hacmi V_j 'dir. Yüzey normal birim vektörü n_j 'dir (Glegg & Devenport, 2017).

$$p'_{kalınlık}(x, t) = \frac{1}{4} \frac{\partial}{\partial t} \int_{S_0} \left[\frac{\rho_\infty V_j n_j}{\pi r |1 - M_r|} \right]_{\tau=\tau^*} dS(z) \quad (10)$$

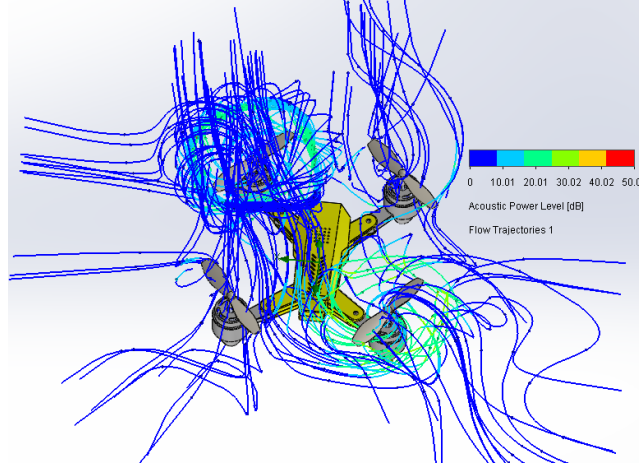
Kanat kalınlık gürültüsünün daha iyi anlaşılması için Solidworks ortamında bir dörtlöner insansız hava aracı çizilmiş, kalınlıkları farklı üç adet pervane kullanılmış ve akış simülasyonu yapılmıştır.

Çizelge 2. Bir dörtlöner simülasyonunda kullanılan kanat kalınlığının özellikleri

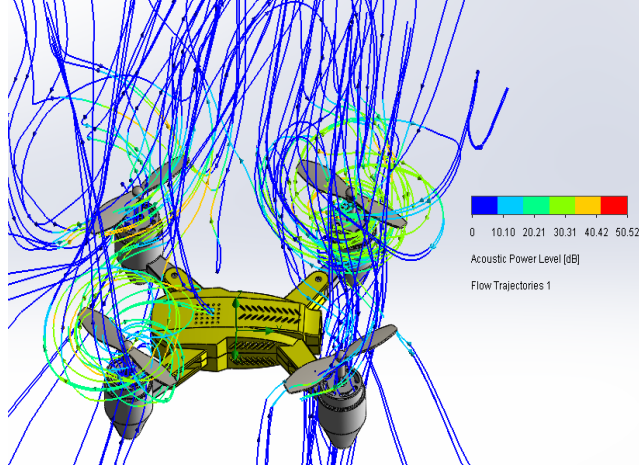
Pervane 1	Kalınlık: 0.5 mm	Çap: 120 mm
Pervane 2	Kalınlık: 1 mm	Çap: 120 mm
Pervane 3	Kalınlık: 1.5 mm	Çap: 120 mm



Görsel 7. Pervane 1 durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi



Görsel 8. Pervane 2 durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi



Görsel 9. Pervane 3 durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi

Simülasyonlarda elde edilen verilerde pervane 1 durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi 73,31 dB, pervane 2 durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi 50.03 dB ve pervane 3 durumunda ortaya çıkan akustik güç seviyesi 50.52 dB olarak ölçülmüştür. En düşük akustik güç seviyesi pervane 2 durumunda elde edilmiştir.

2.4. Tonal Gürültü

Tonal gürültü bir dörtlüde rotorların dönmesiyle meydana gelen bir gürültü kaynağıdır. Tonal gürültü, pervaneyi döndüren fırçasız motor içindeki ve pervane milindeki yataklama elemanlarının olabildiğince hassas toleransta seçilmemesinden kaynaklanmaktadır.

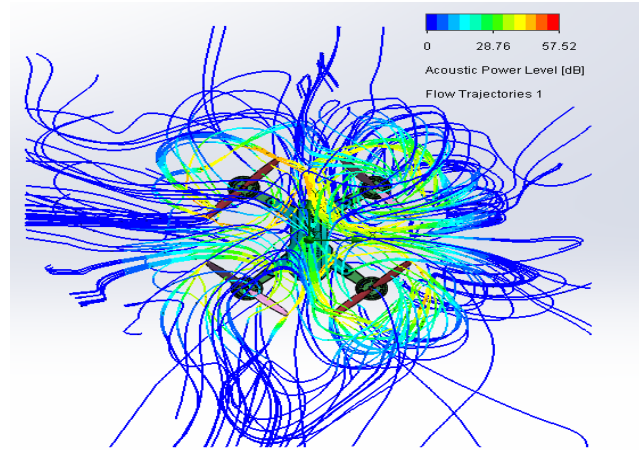
Çok rotorlu insansız hava aracı sistemlerinde pervane gürültüsünün kararlı olmayan kanat hareketinden kaynaklanması üzerine yapılan bir çalışmada, İHA'larda şaft yapısındaki tonal

gürültünün en önemli nedeni, elektrik motorlarının periyodik hız dalgalanmalarından kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir (McKay & Kingan, 2019). Arka kenar tırtıklarıyla birlikte kanat profili dengesizliğinin tonal gürültüsü üzerinde deneysel yapılan bir çalışmada, arka kenar tırtıklarının kanat profili tonal gürültüsünü azaltma yeteneği olduğunu tespit etmişlerdir (Chong & Joseph, 2013). Tonal gürültü kararlı yükleme, kararlı olmayan yükleme ve kalınlık gürültüsü tarafından meydana getirilirken, geniş bant gürültüsü kanat öz gürültüsü ve türbülans etkileşim gürültüsü ile ilişkilidir, dolayısıyla bu bileşenleri doğru bir şekilde ayırmak gereklidir (Malkki vd., 2024).

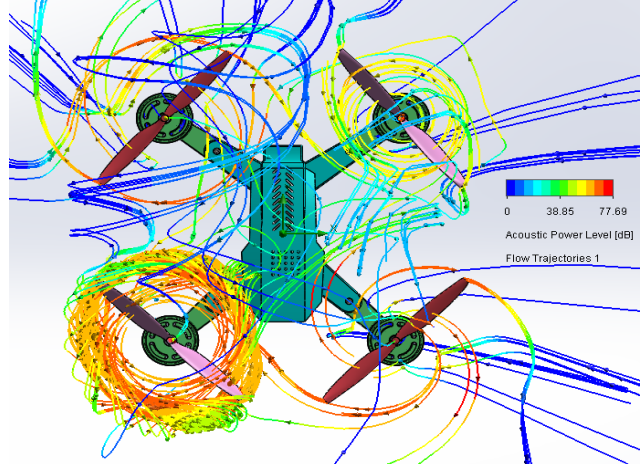
Çizelge 3’de fırçasız DC motorunda kullanılan bağlantı elemanların tolerans tablosu verilmiştir. Tonal gürültünün daha iyi anlaşılması için kullanılan elemanların ölçülerinde çeşitli düzenlemeler yapılmıştır.

Çizelge 3. Fırçasız DC motorunda kullanılan bağlantı elemanlarının toleransları

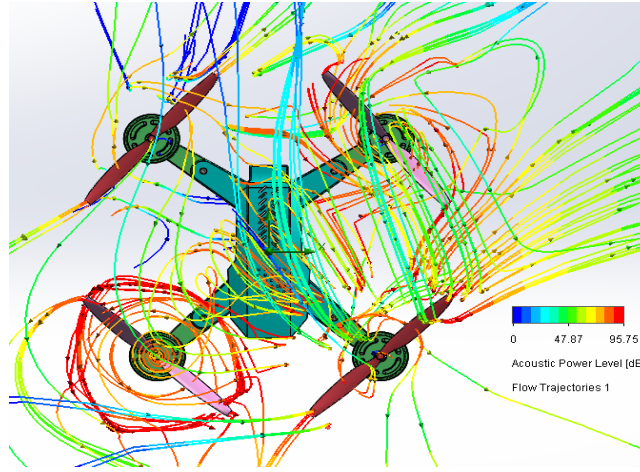
Yatak İç Çapı	2.00 mm	2.00 mm	2.00 mm
Mil Çapı	1.99 mm	1.98 mm	1.97 mm
Pervane İç Çapı	1.99 mm	1.98 mm	1.97 mm
Tolerans	0.01 mm	0.02 mm	0.03 mm



Görsel 10. Tolerans 0.01 mm seçildiğinde meydana gelen akustik güç seviyesi



Görsel 11. Tolerans 0.02 mm seçildiğinde meydana gelen akustik güç seviyesi



Görsel 12. Tolerans 0.03 mm seçildiğinde meydana gelen akustik güç seviyesi

Akış benzetimi sonucunda Görsel 10, Görsel 11 ve Görsel 12’de görüldüğü üzere en yüksek akustik güç seviyeleri sırasıyla 57.52 dB, 77.69 dB ve 95.75 dB olarak saptanmıştır. Toleransın artmasıyla birlikte tonal gürültü artmıştır.

3. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ

Anılan gürültü kaynaklarının akustik güç seviyeleri karşılaştırılmalı olarak Çizelge 4’de verilmektedir. En düşük gürültü seviyesine Görsel 6’da ulaşılmıştır. En yüksek gürültü seviyesine Görsel 12’de ulaşılmıştır. Kanatta tırtık şeklinde yapıların olması daha laminar bir akış yaratacağı için dördöner gürültüsünde azalmalar meydana getirecektir. Kanadın aerodinamik tasarımı gürültü azaltımına yönelik optimum bir şekilde tasarımı olsa dahi, yataklama ve bağlantı elemanlarının saftla olan toleransının artması sonucunda gürültü seviyesi en üst düzeye çıkacaktır. Kanat kalınlığının optimum gürültü azaltımına etkisi Görsel 8’de görülmüştür. 1 mm kalınlıkta en iyi gürültü azaltımı saptanmıştır. Diğer tarafta ise pervane çapı düştükçe gürültü azalabilir.

Çizelge 4. Bir dörtlöner benzetiminde ortaya çıkan akustik güç seviyeleri (dB)

Görsel 1	95.39
Görsel 2	70.51
Görsel 3	45.84
Görsel 4	90.92
Görsel 5	59.29
Görsel 6	34.24
Görsel 7	73.31
Görsel 8	50.03
Görsel 9	50.52
Görsel 10	57.52
Görsel 11	77.69
Görsel 12	95.75

4. SONUÇ

Bu çalışma ile dörtlönerlerdeki gürültü kaynaklarının sınıflandırma yapılarak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elektrik motoru gürültüsü, pervane gürültüsü, yükleme gürültüsü, kanat kalınlık gürültüsü, geniş bant gürültüsü, kanat türbülans etkileşimi gürültüsü, kanat iz etkileşimi gürültüsü ve tonal gürültü olmak üzere öne çıkan gürültü kaynakları ele alınmıştır. Döner gürültüsüne neden olan kaynakların daha iyi anlaşılabilmesi için bir dörtlöner tasarımı yapılmış, gürültüye neden olan durumlar akış benzetimi ve modal analiz yardımıyla incelenmiştir. Görülmüştür ki, dörtlönerlerde gürültünün optimum seviyede olabilmesi için yataklama elemanlarının hassas toleransta seçimi ve montajı büyük önem arz etmektedir. Rotor ve stator arasındaki hava boşlukları mekanik titreşimden kaynaklanan gürültüye neden olabilmektedir. Ayrıca pervane kanadının kalınlığı da gürültüye neden olmakta, dörtlönerin genel aerodinamik gürültü azaltımını ve vibroakustik durumunu etkilemektedir. Son kısımda, anılan gürültü kaynaklarının akustik güç seviyeleri karşılaştırılmalı olarak tablo halinde verilmiş ve minimum ses seviyeleri için bazı önerilerde bulunulmuştur.

KAYNAKÇA

1. Noda, R., Ikeda, T., Nakata, T., & Liu, H. (2022). Characterization of the low-noise drone propeller with serrated Gurney flap. *Frontiers in Aerospace Engineering*, 1, 1004828.
2. Qian, Y., Wei, Y., Kong, D., & Xu, H. (2021). Experimental investigation on motor noise reduction of Unmanned Aerial Vehicles. *Applied Acoustics*, 176, 107873.
3. Roger, M., & Moreau, S. (2020, September). Tonal-noise assessment of quadrotor-type uav using source-mode expansions. In *Acoustics* (Vol. 2, No. 3, pp. 674-690). MDPI.

4. Zhang, Y., Zhao, L., Zhao, T., Liu, L., & Xu, L. (2023, August). Aeroacoustics analysis of propeller blades. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2569, No. 1, p. 012026). IOP Publishing.
5. Goyal, J., Sinnige, T., Ferreira, C. S., & Avallone, F. (2023). Aerodynamics and far-field noise emissions of a propeller in positive and negative thrust regimes at non-zero angles of attack. In *AIAA Aviation 2023 Forum* (p. 3217).
6. Tran, Huy & Lee, Seongkyu. (2025). Investigation of Blade Vortex Interaction Noise Reduction with Leading-Edge Serrations Using High-Fidelity Numerical Simulations. 10.4050/F-0081-2025-173.
7. Thurman, Christopher & Baeder, James. (2023). Blade-Wake Interaction Noise for Small Hovering Rotors, Part I: Characterization Study. *AIAA Journal*. 61. 1-18. 10.2514/1.J062565.
8. Gonzalez, P., Buigues, G., & Mazon, A. J. (2023). Noise in electric motors: A comprehensive review. *Energies*, 16(14), 5311.
9. Xia, K., Li, Z., Lu, J., Dong, B., & Bi, C. (2017). Acoustic noise of brushless DC motors induced by electromagnetic torque ripple. *Journal of Power Electronics*, 17(4), 963-971.
10. Gieras, J. F., et al, C. (2018). *Noise of polyphase electric motors*. CRC press.
11. Doolan, C., Yauwenas, Y., & Moreau, D. (2019, September). Drone propeller noise under static and steady inflow conditions. In *International Conference on Flow Induced Noise and Vibration Issues and Aspects* (pp. 45-60). Cham: Springer International Publishing.
12. Zhou, T., & Fattah, R. (2017). Tonal noise acoustic interaction characteristics of multi-rotor vehicles. In *23rd AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference* (p. 4054).
13. Hulse, B., Pearson, C., Abbona, M., & Anderson, A. (1966). *Some Effects of Blade Characteristics on Compressor Noise Level* (No. FAAADS82).
14. Glegg, S., & Devenport, W. (2017). *Aeroacoustics of low Mach number flows: fundamentals, analysis, and measurement*. Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809651-2.00005-9>
15. J. E. Ffowcs Williams, & Hawkins, D. L. (1969). Sound Generation by Turbulence and Surfaces in Arbitrary Motion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 264(1151), 321–342. <http://www.jstor.org/stable/73790>
16. McKay, R., & Kingan, M. J. (2019). Multirotor unmanned aerial system propeller noise caused by unsteady blade motion. In *25th aiaa/ceas aeroacoustics conference* (p. 2499).
17. Chong, T. P., & Joseph, P. F. (2013). An experimental study of airfoil instability tonal noise with trailing edge serrations. *Journal of Sound and Vibration*, 332(24), 6335-6358.
18. Malkki, J., Yauwenas, Y., Doolan, C., & Moreau, D. (2024). Comparison of small rotor tonal and random noise decomposition methods. *Acoustics Australia*, 52(3), 323-337.

BETONUN YANGIN PERFORMANSI

Doç. Dr. Mehmet UZUN¹

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karaman,
Türkiye
mehmetuzun@kmu.edu.tr-ORCID: /0000-0002-6347-1243

Dr. Sıtkı Alper ÖZDEMİR²

²İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Hatay, Türkiye
salper.ozdemir@iste.edu.tr-ORCID: 0000-0001-7331-8026

Özet

Beton, düşük ısı iletkenliği ve yanmaz özellikleri sayesinde yapı sektöründe en yaygın kullanılan malzemelerden biridir. Ancak yüksek sıcaklık ve yangın etkisi altında betonun mekanik özelliklerinde ciddi bozulmalar meydana gelmektedir. Bu durum, özellikle yüksek dayanımlı betonlarda spalling (parçalanma) riskini artırmakta ve yapı güvenliğini tehdit etmektedir. Son yıllarda, çevresel sürdürülebilirlik ve yangın güvenliği ihtiyaçları doğrultusunda farklı beton türlerinin geliştirilmesi ön plana çıkmıştır.

Hafif betonlar ve geri dönüştürülmüş agregalı beton (RAC), düşük ısı iletkenlikleri ve gözenekli yapıları sayesinde yangına karşı yüksek dayanım ve spalling direnci sağlamaktadır. Kalsiyum alüminat çimentolu ve refrakter betonlar, aşırı yüksek sıcaklıklara dayanıklı yapılar için uygundur. Lif takviyeli betonlar, polipropilen, çelik, bazalt ve cam lifleri ile spalling riskini azaltarak yangın dayanımını artırmaktadır. Geopolimer ise yüksek sıcaklıklarda dayanımlarını koruyabilmekte ve çevresel sürdürülebilirlik açısından avantaj sunmaktadır.

Kompozit beton sistemleri, farklı beton türlerini stratejik olarak bir araya getirerek, hem mekanik performansı hem de yangın dayanımını optimize etme imkânı sağlamaktadır. Bu bağlamda, geri dönüştürülmüş ve çevre dostu malzemelerin yangın dayanımı ile birleştirilmesi, hem yapı güvenliği hem de sürdürülebilir yapı tasarımı açısından önemli fırsatlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yangın dayanımı, hafif betonlar, geri dönüştürülmüş agregalı betonlar, refraktör betonlar, geopolimer betonlar.

FIRE PERFORMANCE OF CONCRETE

Abstract

Concrete is one of the most widely used materials in the construction industry due to its low thermal conductivity and non-combustible properties. However, under high temperatures and fire exposure, the mechanical properties of concrete deteriorate significantly. This effect is particularly critical in high-strength concretes, where spalling poses a substantial risk and compromises structural safety. In recent years, the development of different concrete types has gained prominence to meet the increasing demands for environmental sustainability and fire safety.

Lightweight concrete and recycled aggregate concrete (RAC) provide high fire resistance and reduced spalling due to their low thermal conductivity and porous structure.

Calcium aluminate cement-based and refractory concretes are suitable for structures exposed to extremely high temperatures. Fiber-reinforced concretes, incorporating polypropylene, steel, basalt, or glass fibers, help mitigate spalling and enhance fire performance. Geopolymer concrete retains its mechanical properties under elevated temperatures while offering environmental benefits.

Composite concrete systems, which strategically combine different types of concrete, allow for the optimization of both mechanical performance and fire resistance. In this context, integrating recycled and eco-friendly materials with fire-resistant concrete presents significant opportunities for enhancing structural safety and promoting sustainable construction practices.

Keywords: Fire resistance, lightweight concrete, recycled aggregate concrete, refractory concrete, geopolymer concrete.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması ve barınma ihtiyacının bir sonucu olarak yapılaşma hızı giderek artmaktadır [1]. Yapılaşma da en çok tercih edilen yapım malzemesi ise yüksek dayanım, malzemeye erişim kolaylığı, ısı iletiminin düşük olması, düşük maliyet gibi birçok avantajı ile beton olmaktadır. Betonun en önemli özelliklerinden biri de yangına karşı dirençli bir malzeme olmasıdır. Özellikle betonun düşük ısı iletkenliği sayesinde yangın esnasındaki sıcaklık geçişlerini yavaşlatarak taşıyıcı sistemin belirli bir süre ayakta kalmasına olanak sağlamaktadır [2]. Ama bu özellik belirli sıcaklık sınırları dahilinde ortaya çıkmaktadır. Yangındaki sıcaklık 250-300 °C'nin üzerine çıkacak olursa betonda fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerde değişimler ortaya çıkmakta ve binadaki yapısal bütünlük hasar görmektedir [3].

Yangın sırasında betonda bazı değişimler meydana gelmektedir. İlk olarak betonda nem kaybı oluşur, daha sonra gözenekler genişlemeye başlar, yangının devam etmesi durumunda bağlayıcı faz bozulur ve en son olarak dayanım kaybı oluşmaya başlar [4]. Sıcaklığın 800 °C'nin üzerine çıkması durumunda bağlayıcılık özelliği kaybolarak yeniden kristalleşme ve sinterleşme gibi dönüşümler oluşarak betonun mekanik özelliklerinin azalmasına neden olur. Yangın sırasında oluşan değişimler betonun iç yapısında sırasıyla kütle kaybı, mikro çatlak oluşumu, parçalanarak dökülme ve son olarak da dayanımın azalmasına neden olmaktadır. Özellikle yüksek dayanımlı betonlarda gözeneklerin az olması yangın esnasında iç basıncın ani artmasına ve parçalanarak dökülme aşamasının daha şiddetli yaşanmasına neden olmaktadır [5].

Özel beton türlerinde mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amaçlanır. Bu nedenle geleneksel beton karışımlarına kıyasla farklı tür malzeme kullanımları söz konusudur. Özel betonlarda elde edilen mekanik iyileştirmeler çoğu zaman yangın dayanımı açısından olumsuz sonuçlanmaktadır. Yüksek dayanım için betondaki gözeneklerin azaltılması yangın esnasında iç basınçta ani artış ve parçalanarak dökülmeye neden olur. Lifli betonlarda ise yangın esnasındaki yüksek sıcaklıklarda lif yapısının bozulması betonda dayanım kayıplarına neden olmaktadır [6].

Son yıllarda eski yapıların yıkılıp yeniden yapılması yerine güçlendirilerek kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle yeniden yapım maliyetleri ile güçlendirme kıyaslandığında güçlendirilerek yapının kullanımına devam etmek daha avantajlı olmaktadır. Ayrıca çevreci bir yaklaşım ile yeniden yapım sırasındaki karbondioksit salınımının da önüne

geçilmiş olmaktadır. Ancak yapılarda güçlendirme esnasında yaygın olarak kullanılan polimer türlerinin yangın dayanımları endişe vericidir. Bazı türler için sıcaklık üst limitleri sadece 80 °C'dir. Bu sıcaklığın üzerinde bir sıcaklık görülürse yapısal bozulma başlayarak polimer işlevini kaybetmektedir [7].

Günümüzde betonun yangın performansı ile taşıyıcı kapasite arasındaki denge önemli bir mühendislik problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, geleneksel beton ve alternatif betonların yangın performanslarının anlaşılması ve geliştirilmesi için yapılan çalışmalar incelenerek sunulmuştur. Farklı tür malzemelerin kullanımı ile beton yangın performansında elde edilen sonuçlar sunularak, betonun mekanik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

2. ALTERNATİF BETON TÜRLERİ VE YANGIN DAYANIMLARI

Fiber takviyeli polimerler (FRP) betonarme yapılarda güçlendirme ve onarım amaçlı olarak taşıyıcı sistem elemanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. FRP sistemleri diğer güçlendirme teknikleri olan çelik levhalar ile güçlendirme [8] ve kesit bütüme ile güçlendirmeye [9] kıyasla daha hafif ve korozyon dayanımı yüksektir. Ayrıca çok daha yüksek mukavemet değerlerine ulaşmaktadır. Ancak yangın esnasındaki dayanımı ise oldukça düşüktür [7].

FRP aslında polimer matrisler içine gömülü durumdaki sürekli fiberler ile ortaya çıkmaktadır. Fiberler normal koşullarda sıcaklığa dayanıklıdır. Ancak termoset yapıdaki polimer matrisler yüksek sıcaklıkta bozulmaya başlar. Tablo 1'de görüldüğü gibi polimerler 80 °C sıcaklığa kadar stabil iken 80-100 °C sıcaklıklarda ise cam geçişi ve polimerin viskos hale gelmesi gözlenir. 100-300 °C sıcaklık aralığında polimer özellikleri giderek zayıflar ve daha yüksek sıcaklıklarda ise buharlaşma, tutuşma ve kömürleşme gerçekleşir [10].

Tablo 1. Sıcaklığa bağlı olarak FRP yapısal bozulma safhaları [10]

Sıcaklık °C	Gözlenen bozulmalar
0-80	Polimer stabil
80-100	Cam geçişi, viskoz hale geçiş
100-300	Polimer özelliklerinin zayıflaması
300+	Buharlaşma, kömürleşme, tutuşma

FRP ile güçlendirilen betonarme yapılarda yangın esnasında sıcaklık artışı ile birlikte yapısal taşıyıcı elemanlarda rijitlik ve dayanım kayıpları başlamaktadır. FRP sisteminde polimer matrisindeki ortaya çıkan bozunma ile gerilme aktarımları zayıflar sonuç olarak yapının genel stabilitesi riskli hale gelir. Tablo 2'de FRP, beton ve çelik malzemelerinin sıcaklık dayanımları sunulmuştur [7,11].

Tablo 2. Bazı yapısal malzemelerin sıcaklık dayanımları [7,11]

Malzeme	Dayanım bozulmalarının başladığı sıcaklık (°C)
FRP	80-100
Beton	300
Çelik	400-600

FRP ile güçlendirilmiş yapılarda yangın esnasında dayanımı artırmak çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Yangın dayanımını artırmak için kalsiyum silikat levha, alçı panel, taş yünü ve yangına dayanıklı sıva gibi malzemeler kullanılmaktadır. Bu tür malzemeler genellikle düşük ısı iletkenliğine sahiptir. Ayrıca yüksek özgül ısı ve betonla iyi yapışma özelliği sayesinde FRP malzemesinin yangın sırasında korunmasını sağlamaktadır. Genel olarak yalıtımsız binalarda yapısal bozunma 80-100 °C aralığında başlarken, yalıtımlı binalarda 400 °C sıcaklığa kadar yapısal stabilite korunmaktadır [7,12].

Yangın dayanımı açısından önemli bir beton türü olarak hafif betonlar karşımıza çıkmaktadır. Hafif betonlar sinterleme ile elde edilen hafif agregalar ile üretilmektedir [13]. Bünyesinde çok fazla gözenek olması ısı iletkenliğinin düşük olmasını, düşük ısı genleşme katsayısını ve daha yüksek ısı kararlılığının olmasını sağlamaktadır [14]. Yangın maruziyeti sonrasında hafif betonların çatlama dayanımı, akma dayanımı ve nihai dayanım gibi mekanik özelliklerini %90-95 civarında koruduğu görülmektedir. Ayrıca yangın sonrası rijitlik ve süneklik gibi yapısal özelliklerin de korunduğu gözlemlenmiştir [13].

Sürdürülebilirlik adına önemli bir konu olan atık malzemelerin değerlendirilmesi, beton için de son derece önemlidir. Özellikle agregaların geri dönüşümü güncel ve önemli bir çalışma konusudur. Geri dönüştürülmüş agregaların mekanik özellikler üzerine önemli etkilerinin olduğu geçmiş çalışmalardan anlaşılmaktadır [15,16]. Ancak sadece dayanım açısından değil aynı zamanda ısı iletkenlik adına da önemli katkıları olmaktadır. Geri dönüştürülmüş agregadan üretilen betonların ısı iletkenliği normal betonlara göre daha düşüktür [17]. Yüksek sıcaklıklarda ise genleşmenin az olması bütünlüğün korunmasına önemli katkılar sağlamaktadır [16].

Refrakter betonlar yüksek sıcaklığa dayanıklı agregalar ile üretilmektedir [18]. Kompozit bir malzeme olan refrakter betonlar geniş sıcaklık aralıklarının olduğu, ısı maruziyetin yüksek olduğu çimento fabrikaları, metalürji endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır [19]. Bu tür betonlarda genellikle kalsiyum alüminat çimentoları kullanılmaktadır. Portland çimentolarına göre birçok avantajı bulunan bu çimento türünün üretim maliyeti de portlan çimentosunun dört veya beş katı civarındadır [20]. Kalsiyum alüminat çimentosu ile hazırlanmış karışımlarda 1000 °C'nin üzerindeki sıcaklık artışlarında sinterleşme ve kalsiyum alüminat fazlarının yeniden kristalleşmesi sonucu dayanım artışları olabilmektedir [21]. Ayrıca 20–800 °C sıcaklık aralığında da kalsiyum alüminat esaslı betonların portland çimentosu betonuna göre daha yüksek basınç dayanımı, elastisite modülü ve tokluk gösterdiği görülmektedir [22].

Yangın dayanımı açısından önemli bir beton türü de geopolimer betonlardır. Geopolimer betonlar ilk olarak 1978 yılında Davidovits tarafından üç boyutlu amorf aluminosilikatlar için geliştirilmiştir [23]. Prizini almış geopolimer betonu zorlu hava koşullarına ve 1000–1200 °C sıcaklık değerlerine kadar dayanabilmektedir [23]. Her ne kadar yüksek ısılarda dayanım sağla dahi belirli sıcaklıktan sonra geopolimer betonlarda da dayanım kaybı, çatlama ve dökülmeler gerçekleşir [24]. Beton yüzeyindeki dökülmeleri azaltmak için de polipropilen liflerin kullanımı olumlu sonuçlar vermektedir [25].

3. SONUÇLAR

Beton hayatın içerisinde vazgeçilemez yapı malzemelerinden biridir. Bu nedenle eksik yönlerinin giderilerek iyileştirilmesi ve daha güvenilir hale getirilmesi önemli bir husustur.

Yangın dayanımı da betonun geliştirilmesi gereken önemli konulardan biridir. Yangın dayanımı beton içerisinde kullanılan bağlayıcı türüne, agrega türüne, lif katkısına ve iç yapı durumuna göre değişkenlik göstermektedir. Özellikle hafif betonlar ve geri dönüştürülmüş agrega kullanılan betonların ısı yalıtımı ön plana çıkarken; refrakter betonlar veya kalsiyum alüminat çimentolu betonlar yüksek sıcaklıklara dayanıklılık ile ön plana çıkmaktadır. Geopolimer betonlar ise hem sürdürülebilirlik hem de yüksek sıcaklık dayanımı ile dikkat çekmektedir.

Yapıda malzeme seçimi sırasında yangına maruziyet süresi ve yapının kullanım amacına bağlı olarak yapılmalıdır. Düşük ve orta sıcaklık seviyelerinde bir maruz kalma söz konusu ise geri dönüştürülmüş agrega betonu veya hafif betonlar tercih edilmelidir. Daha yüksek sıcaklıklar söz konusu ise kalsiyum alüminat çimentolu betonlar veya refraktör betonlar tercih edilmelidir. Yüksek dayanımlı betonların kullanılması durumunda eğer yangına maruz kalma söz konusu ise polipropilen lifler ya da çelik lifler kullanılmalıdır.

Betonun yangın dayanımı üzerine bu değerlendirmede, farklı beton türlerinin avantajları ve dezavantajları incelenmiştir. Bu çalışmanın, yapısal güvenlik ve sürdürülebilirlik adına stratejiler geliştirilmesi ve bilimsel çalışmaların artırılması adına bir farkındalık oluşturmaya amaçlanmıştır. Gelecek çalışmalarda bahsedilen eksiklikler üzerine yapılacak araştırmalar ile yangına dayanıklı beton tasarımı ve uygulamalarının daha güvenli ve verimli olması sağlanacaktır.

Kaynakça

- [1] Chen Z, Xiao J. Fire-insulation properties of recycled aggregate concrete, its application in composite concrete structures, and concrete-concrete interface effects: a review. *J Build Eng* 2025;107:112681. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.112681>.
- [2] Hung Anh LD, Pásztor Z. An overview of factors influencing thermal conductivity of building insulation materials. *J Build Eng* 2021;44:102604. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102604>.
- [3] Wang S, Abdulridha A, Bravo J, Naito C, Quiel S, Suleiman M, et al. Thermal energy storage in concrete: Review, testing, and simulation of thermal properties at relevant ranges of elevated temperature. *Cem Concr Res* 2023;166:107096. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107096>.
- [4] Khattab M, Hachemi S, Al Ajlouni MF. Evaluating the physical and mechanical properties of concrete prepared with recycled refractory brick aggregates after elevated temperatures' exposure. *Constr Build Mater* 2021;311:125351. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125351>.
- [5] Meftah H, Arabi N. Effects of elevated temperatures' exposure on the properties of concrete incorporating recycled concrete aggregates. *Constr Build Mater* 2024;411:134612. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134612>.
- [6] Babalola OE, Awoyera PO, Le D-H, BendeZú Romero LM. A review of residual strength properties of normal and high strength concrete exposed to elevated temperatures: Impact of materials modification on behaviour of concrete composite. *Constr Build Mater* 2021;296:123448. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123448>.
- [7] Kodur VKR, Bhatt PP, Naser MZ. High temperature properties of fiber reinforced polymers and fire insulation for fire resistance modeling of strengthened concrete

structures. Compos Part B Eng 2019;175:107104.

<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107104>.

[8] Zhang HY, Liu HY, Kodur V, Li MY, Zhou Y. Flexural behavior of concrete slabs strengthened with textile reinforced geopolymer mortar. Compos Struct 2022;284:115220. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.115220>.

[9] Li LZ, Lo SH, Su RKL. Experimental Study of Moderately Reinforced Concrete Beams Strengthened with Bolted-Side Steel Plates. Adv Struct Eng 2013;16:499–516. <https://doi.org/10.1260/1369-4332.16.3.499>.

[10] Nicoletta B, Woods J, Gales J, Fam A. Postfire Performance of GFRP Stay-in-Place Formwork for Concrete Bridge Decks. J Compos Constr 2019;23. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000941](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000941).

[11] Kodur VKR, Bisby LA. Evaluation of Fire Endurance of Concrete Slabs Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars. J Struct Eng 2005;131:34–43. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2005\)131:1\(34\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:1(34)).

[12] Yan K, Yu X, Ren P, Zhang R, Oh E, Zhang Y, et al. Experimental research on fire resistance of the concrete beams strengthened with the CFRP sheets pasted by magnesium phosphate inorganic adhesive. Eng Struct 2025;330:119946. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2025.119946>.

[13] Go C-G, Tang J-R, Chi J-H, Chen C-T, Huang Y-L. Fire-resistance property of reinforced lightweight aggregate concrete wall. Constr Build Mater 2012;30:725–33. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.081>.

[14] Mun KJ. Development and tests of lightweight aggregate using sewage sludge for nonstructural concrete. Constr Build Mater 2007;21:1583–8. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.09.009>.

[15] ZHAO Z, COURARD L, GROSLAMBERT S, JEHIN T, LÉONARD A, XIAO J. Use of recycled concrete aggregates from precast block for the production of new building blocks: An industrial scale study. Resour Conserv Recycl 2020;157:104786. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104786>.

[16] Ma W, Kolb T, Rüther N, Meinlschmidt P, Chen H, Yan L. Physical, Mechanical, thermal and fire behaviour of recycled aggregate concrete block wall system with rice husk insulation. Energy Build 2024;320:114560. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114560>.

[17] Zhu L, Dai J, Bai G, Zhang F. Study on thermal properties of recycled aggregate concrete and recycled concrete blocks. Constr Build Mater 2015;94:620–8. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.058>.

[18] Ouedraogo E, Roosefid M, Prompt N, Deteuf C. Refractory concretes uniaxial compression behaviour under high temperature testing conditions. J Eur Ceram Soc 2011;31:2763–74. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2011.07.017>.

[19] Terzić AM, Pavlović LM. Application of Results of Nondestructive Testing Methods in the Investigation of Microstructure of Refractory Concretes. J Mater Civ Eng 2010;22:853–7. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000083](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000083).

[20] ElKhatib LW, Khatib J, Assaad JJ, Elkordi A, Ghanem H. Refractory Concrete Properties—A Review. Infrastructures 2024;9:137. <https://doi.org/10.3390/infrastructures9080137>.

- [21] Wang Y, Li X, Zhu B, Chen P. Microstructure evolution during the heating process and its effect on the elastic properties of CAC-bonded alumina castables. *Ceram Int* 2016;42:11355–62. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.04.058>.
- [22] Khaliq W, Khan HA. High temperature material properties of calcium aluminate cement concrete. *Constr Build Mater* 2015;94:475–87. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.023>.
- [23] Davidovits J. Geopolymers. *J Therm Anal* 1991;37:1633–56. <https://doi.org/10.1007/BF01912193>.
- [24] Zhao J, Zheng J, Peng G, Sun P. Spalling and cracking modelling of high-performance concrete exposed to elevated temperatures. *Mag Concr Res* 2017;69:1276–87. <https://doi.org/10.1680/jmacr.16.00139>.
- [25] Kim SB, Yi NH, Kim HY, Kim J-HJ, Song Y-C. Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete. *Cem Concr Compos* 2010;32:232–40. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.11.002>.

RECONSTRUCTION AFTER THE FEBRUARY 6 EARTHQUAKES; ANALYSIS OF PROJECT AREAS

Dr.Öğr.Üyesi Sıtkı Alper ÖZDEMİR

Iskenderun Technical University/Iskenderun Vocational School, Department of
Construction

salper.ozdemir@iste.edu.tr- 0000-0001-7331-8026

Doç.Dr. Mehmet UZUN

Karamanoğlu Mehmetbey University/Faculty of Engineering, Department of Civil
Engineering,

mehmetuzun@kmu.edu.tr – 0000-0002-6347-1243

ABSTRACT

The earthquakes centered in Kahramanmaraş on February 6, 2023 caused serious destruction across a wide area in southeastern Türkiye and brought post-disaster reconstruction processes to the forefront of the country's agenda. This study aims to evaluate the concept of “project area” in terms of planning, spatial adequacy, and sustainability through the İskenderun Mustafa Kemal Neighbourhood 3rd Stage TOKİ Project, which was carried out within the scope of reserve area applications in the post-disaster period. The study analyzed criteria such as social facility standards, green space and parking balance, and access to education and healthcare. The findings reveal that planning decisions focus significantly on physical needs, but social infrastructure adequacy and participatory planning processes remain insufficient. The study emphasizes that project areas in post-disaster reconstruction processes should focus not only on physical but also on social and environmental resilience.

Keywords : February 6 Earthquakes, Reconstruction, Project Area, Area Analysis.

1. INTRODUCTION

Turkey is located in one of the world's most active seismic zones due to its geological position[1,2]. The two major earthquakes that occurred on February 6, 2023, centered in Kahramanmaraş, caused a major disaster in terms of both loss of life and destruction. This destruction is the largest in Turkey's earthquake history. As a result of these earthquakes, 11 provinces were directly affected, more than 52,000 lives were lost, millions of people were left homeless, and many settlements were completely destroyed. Therefore, the cities affected by the earthquake had to be replanned[2–5].

In the post-disaster period, the state's priority policy was to rapidly produce housing and meet shelter needs. For this reason, many reserve housing areas were designated in coordination with the Ministry of Environment, Urbanization, and Climate Change (ÇŞB) and the Housing Development Administration (TOKİ). These areas, located outside disaster-prone regions, have become the primary tools for reconstruction in places that are safe in terms of ground conditions and where infrastructure can be established[6–8]. In this process, the need for rapid housing

production has often overshadowed elements such as social infrastructure planning, environmental sustainability, and community participation.

This study analyzes how the reconstruction process took shape at the project area scale, using the Mustafa Kemal Neighbourhood 3rd Stage TOKİ Project in the İskenderun district of Hatay province after the February 6 earthquakes as an example (Figure 1). The aim of the study is to evaluate the spatial outcomes of post-disaster reconstruction policies and to determine the physical adequacy level of project areas and their compliance with planning principles.



Figure 1. Planning area

2. MATERIALS AND METHODS

The material for the study consists of statistical information regarding the plan data, distribution of social facilities, parking lot and green area sizes for the İskenderun Mustafa Kemal Neighbourhood 3rd Stage TOKİ Project Area. Current data obtained from the Housing Development Administration (TOKİ), İskenderun Municipality, and the Ministry of Environment, Urbanization, and Climate Change were analyzed in the NETCAD environment.

The study area is located near the Mediterranean coast, within the urban fabric, at 36°33'56.2" north latitude and 36°09'21.9" east longitude. The neighborhood population is 17,412 as of 2024. According to TOKİ data, the Phase 3 project area consists of 6 islands and a total of 669 residences. This area is covered by a 1/1000 scale implementation zoning plan, and the floor area ratio (FAR) values range from 1.50 to 1.70.

The study adopted an evaluation approach based on planning analysis. First, the plan data were examined within the scope of the Spatial Plans Construction Regulation, the Planned Areas Zoning Regulation, the Parking Regulation, and the Law on the Transformation of Areas at Risk of Disaster (6306) [9–14]. Subsequently, the quantities of social facilities, green areas, and parking lots in the project area were compared with the per capita standards stipulated in the legislation.

In addition, field observations and plan explanations obtained from municipal technical units were used to support the findings of the study. This method revealed both the spatial planning integrity and the deficiencies in implementation.

3. FINDINGS AND DISCUSSION

The analysis revealed that the spatial organization of the project area is quite orderly, but the social amenities fall short of standards. The area features a road gradient ranging from 5 to 25 meters. Looking at the research findings, there are two 25-meter roads parallel to the area boundary in the aforementioned road gradation. Within the area, there are five different road widths: 15 meters, 12 meters, 10 meters, 7 meters, and 5 meters (Figure 2). This situation is advantageous in terms of the transportation network and roads within the area boundary.

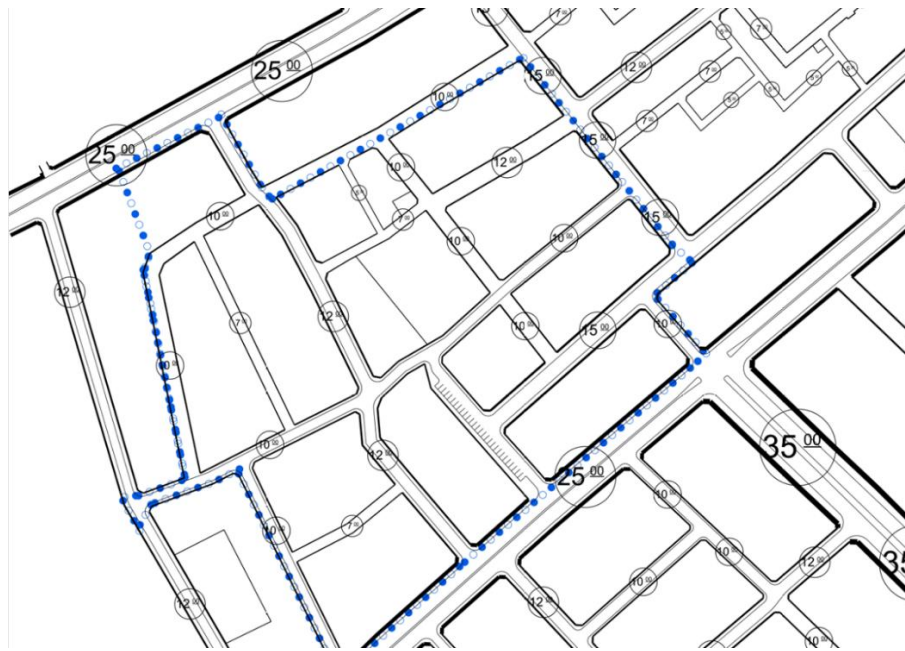


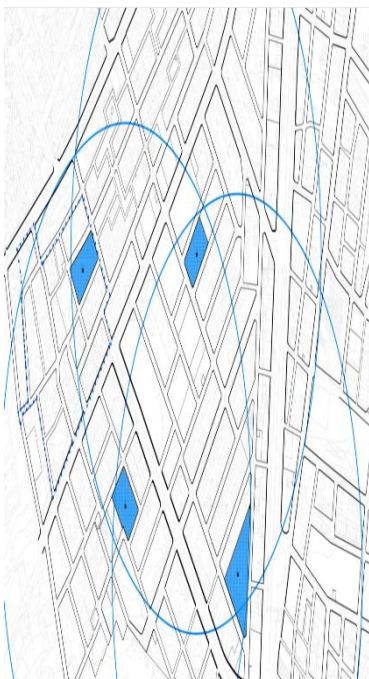
Figure 2. Transport network

Contrary to the situation in the transportation network, the distribution of social infrastructure around the project is not homogeneous. Four different green areas have been identified in the planning area. Despite this, the amount of green space per person falls below the standards specified in the Planned Areas Zoning Regulations. Furthermore, there is no sports area, and the nearest sports facility is 500 meters away and can only serve a portion of the area (Figure 3).

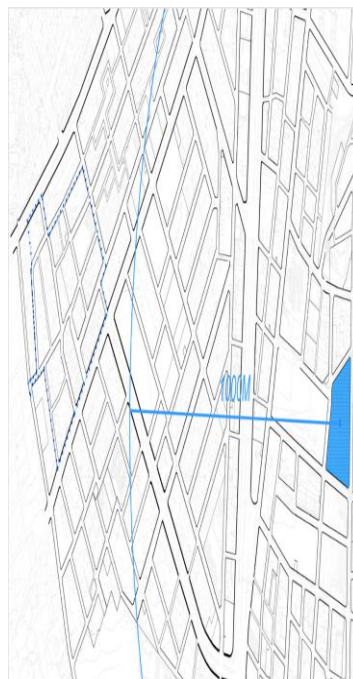


Figure 3. Green spaces

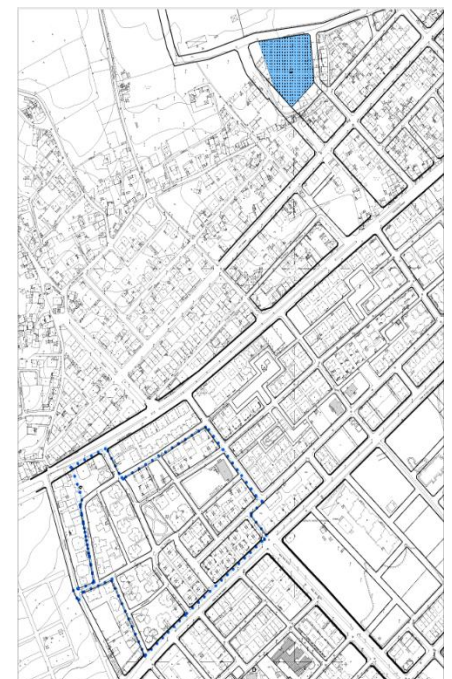
When examining the educational areas, it was observed that a primary school was located within a 500-metre service radius, but the secondary school area was inadequate due to distance. Although the secondary school area appeared adequate within a 2,500-metre service radius, it did not provide spatial continuity in terms of accessibility (Figure 4).



Primary school



Secondary school



High school

Figure 4. Educational facilities

There is no healthcare facility within the project area. However, as there is a state hospital located 1,500 metres away, access to basic healthcare services can be considered adequate (Figure 5).



Figure 5. Health facilities

In terms of places of worship, adequacy has been ensured within a 250-metre service radius (Figure 6).

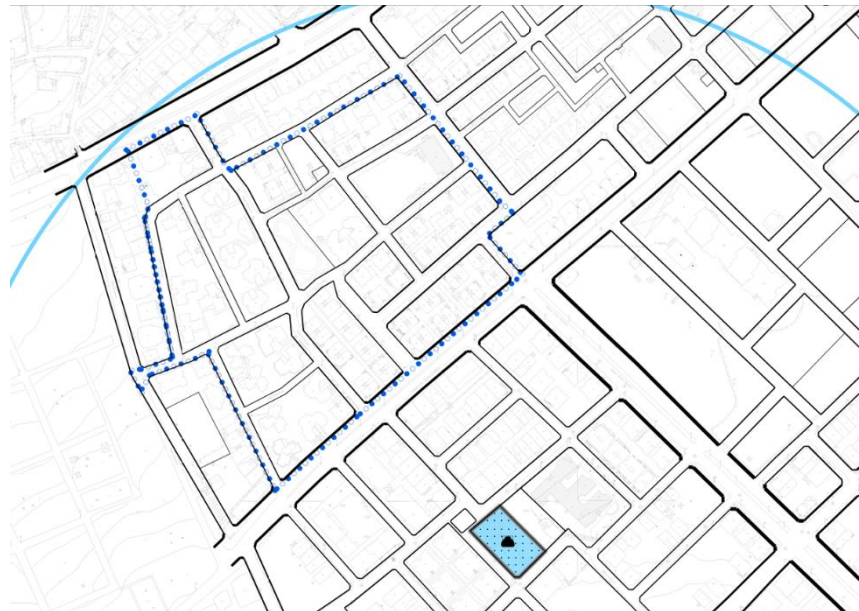


Figure 6. Places of worship

Car park analyses reveal a significant shortfall in the project area. Although a total of 669 parking spaces are required for 669 residential units, the current capacity is only 428 spaces. This represents a shortfall of 241 spaces. Similarly, while the green space area is 16,286 m², the required amount is 20,740 m², indicating a shortfall of approximately 4,454 m². These circumstances cause serious green space and parking problems.

Another noteworthy point in terms of planning is that, despite the increase in green space, the production of quality public spaces remains limited. Most of the existing parks and pedestrian axes consist of small-scale areas with poor access connections that do not support shade or social use. This finding indicates that the projects focus on physical adequacy but fall short in terms of social sustainability.

In post-disaster reconstruction processes, factors such as speed, cost, and safe housing production become priorities. However, this rapid implementation model often overshadows

important principles such as participatory planning, preservation of local identity, and social integration. In the case of Mustafa Kemal Neighbourhood, the planning carried out by TOKİ using a standard project approach did not sufficiently consider local social dynamics.

Although the fundamental principle targeted in the post-earthquake process was the construction of resilient cities, housing production and physical infrastructure elements have predominantly come to the fore in the project areas. However, for post-disaster recovery to be sustainable, not only housing but also education, health, social life and economic employment opportunities must be spatially integrated.

The lack of parking spaces and green areas observed in the Iskenderun example is indicative of this lack of comprehensive planning. Furthermore, considering the geographical and climatic characteristics of the area, ecological planning approaches (rainwater management, microclimate regulation, green corridors) have not been sufficiently integrated. This situation poses a risk in terms of long-term sustainability.

4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

This study, which aims to examine the reconstruction policies implemented after the 6 February earthquakes at the project area scale, presents a comprehensive analysis based on the Iskenderun Mustafa Kemal Neighbourhood 3rd Stage TOKİ Project. The findings show that post-disaster planning focused on speed and shelter needs, while not sufficiently considering social infrastructure and environmental sustainability.

According to the results obtained, the most critical deficiencies in the project area are the lack of green space, parking, and sports facilities. This situation has negative effects on quality of life and urban ecology. In the planning process, a minimum requirement of one parking space per dwelling and a standard of 10 m² of green space per person should be considered. Revision plans should be made for areas falling below these standards. In addition, functions can be transferred from islands with excess green space to areas with insufficient space. The main strategies recommended for sustainable reconstruction are listed below. These are;

- Energy efficiency and renewable energy systems (e.g. solar panels) should be integrated into project areas.
- Participatory planning processes should be strengthened, and residents' suggestions should be incorporated into the design.
- Social service areas, particularly children's playgrounds, sports facilities and cultural centres, should be increased.
- Environmental management policies (waste separation, water recovery, green infrastructure) should be implemented.
- Transport planning should be redesigned to include pedestrian-priority and cycle lanes.

The project area is not only a physical housing production but also a planning tool representing the reconstruction of society. Therefore, each reserve area application should be designed with sensitivity to local needs, environmental sustainability, and socio-cultural identity. Thus, post-disaster reconstruction can achieve the potential to produce resilient and sustainable cities.

REFERENCES

- [1] İzol R, Işık E, Avcil F, Arslan MH, Arkan E, Büyüksaraç A. Seismic performance of masonry structures after 06 February 2023 earthquakes; site survey and FE modelling approach. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2024;186. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108904>.
- [2] YETKİN M, DEDEOĞLU İÖ, TUNÇ G. February 6, 2023, Kahramanmaraş twin earthquakes: Evaluation of ground motions and seismic performance of buildings for Elazığ, southeast of Türkiye. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2024;181. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108678>.
- [3] Sari M. Geophysical and numerical approaches to solving the mechanisms of landslides triggered by earthquakes: A case study of Kahramanmaraş (6 February, 2023). *Engineering Science and Technology, an International Journal* 2024;55. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2024.101758>.
- [4] Sivrikaya O, Türker E, Cüre E, Ertürk Atmaca E, Angin Z, Başağa HB, et al. Impact of soil conditions and seismic codes on collapsed structures during the 2023 Kahramanmaraş earthquakes: An in-depth study of 400 reinforced concrete buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2025;190:109119. <https://doi.org/10.1016/J.SOILDYN.2024.109119>.
- [5] Tan O, Tapirdamaz MC, Yörük A. The earthquake catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 2008.
- [6] Ogunkan DV. Redefining planning: Emerging research specializations in Nigerian urban and regional planning. *Prog Plann* 2025;197:100968. <https://doi.org/10.1016/J.PROGRESS.2025.100968>.
- [7] Hartl R, Harms P, Egermann M. Towards transformation-oriented planning: what can sustainable urban mobility planning (SUMP) learn from transition management (TM)? *Transp Rev* 2024;44:167–90. <https://doi.org/10.1080/01441647.2023.2239497>.
- [8] Datola G. Implementing urban resilience in urban planning: A comprehensive framework for urban resilience evaluation. *Sustain Cities Soc* 2023;98:104821. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2023.104821>.
- [9] Çelikbilek A, Öztürk ŞMÇ. 6306 Sayılı Kanun Kapsamında Yürütülen Kentsel Dönüşüm Çalışmaları ve İzmir Uygulamaları. *Journal of Medeniyet Art* 2017;3:187–213.
- [10] Anonim. 6306 Sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun. *Resmi Gazete*; 2012.
- [11] Şimşek Y, Güngör Ş. Kentsel Yeşil Alanlar İçin Mekânsal Yeterlilik ve Ulaşılabilirlik Analizi: Gaziantep/Şahinbey Örneği. *Ahi Evran Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2022;8:691–709. <https://doi.org/10.31592/AEUSBED.1108008>.

- [12] Partigöç NS. Kentleşme Sürecinde Kırsal Alanların Mekansal Değişimi ve Dönüşümü: Denizli Kenti Örneği. Bilişim Teknolojileri Dergisi 2018;11:89–98.
<https://doi.org/10.17671/GAZIBTD.347729>.
- [13] Özcan K. İmar Planlarının Yargısal Denetim Sürecine Katkı: Planlama Esasları-Şehircilik İlkeleri İçin Rehber Önerisi. İstanbul Hukuk Mecmuası 2024;81:1045–69.
<https://doi.org/10.26650/MECMUA.2023.81.4.0006>.
- [14] Güneş M, Uzunay M. Belediyelerde İmar Planlama Sürecei ve Denetim. Ombudsman Akademik 2017:161–79.
<https://doi.org/10.32002/OMBUDSMANAKADEMIK.440156>.

MALZEME VE ÇEVRESEL ETKİ AÇISINDAN JEOPOLİMER BETONLARDA GÜNCEL GELİŞMELER

Doç. Dr. Mehmet UZUN¹

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Karaman, Türkiye
mehmetuzun@kmu.edu.tr-ORCID: /0000-0002-6347-1243

Dr. Sıtkı Alper ÖZDEMİR²

²İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Hatay,
Türkiye
salper.ozdemir@iste.edu.tr-ORCID: 0000-0001-7331-8026

Özet

Geleneksel Portland çimentosunun üretiminde ortaya çıkan yüksek karbon emisyonları, inşaat sektöründe sürdürülebilir malzeme arayışlarını hızlandırmıştır. Bu açıdan jeopolimer beton (JPB), uçucu kül, yüksek fırın cürufu, metakaolin ve çeşitli endüstriyel atıkların alkali aktivasyonu ile elde edilen, çevre dostu ve yüksek performanslı bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar, bu malzemelerin jeopolimer betonun basınç dayanımı, dayanıklılık ve mikro yapısını önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir. Ayrıca yaşam döngüsü analizleri, alkali aktivatörlerin üretim yöntemi ve enerji karmasına bağlı olarak JPB'nin küresel ısınma potansiyelinde %64'e varan azalma sağlayabildiğini ortaya koymaktadır. Son yıllarda ise konu ile ilgili yayın sayılarında hızlı bir artış olduğu, araştırmaların özellikle malzeme optimizasyonu, dayanıklılık ve mikro yapı üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bununla birlikte, uzun dönem saha performansı, standartlaşma ve maliyet etkinliği konularında önemli eksiklikler bulunmaktadır. Genel olarak jeopolimer beton, sürdürülebilirlik ve yüksek performans açısından konvansiyonel betona güçlü bir alternatif sunmakta ve inşaat sektöründe yeşil dönüşüm için stratejik bir potansiyel taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Jeopolimer beton, sürdürülebilirlik, uçucu kül, metakaolin, yüksek fırın cürufu.

RECENT DEVELOPMENTS IN GEOPOLYMER CONCRETES IN TERMS OF MATERIALS AND ENVIRONMENTAL IMPACT

Abstract

The high carbon emissions resulting from the production of conventional Portland cement have accelerated the search for sustainable materials in the construction sector. In this regard, geopolymer concrete (GPC), produced by the alkali activation of fly ash, ground granulated blast furnace slag, metakaolin, and various industrial wastes, emerges as an environmentally friendly and high-performance alternative. Studies in the literature demonstrate that these materials significantly improve the compressive strength, durability, and microstructure of geopolymer concrete. Moreover, life cycle assessments reveal that, depending on the production method of alkaline activators and the energy mix, GPC can achieve up to a 64% reduction in global warming potential. In recent years, there has been a rapid increase in

the number of publications on this subject, with research focusing particularly on material optimization, durability, and microstructure. However, there are still notable gaps regarding long-term field performance, standardization, and cost-effectiveness. Overall, geopolymers offer a strong alternative to conventional concrete in terms of both sustainability and high performance, and it holds strategic potential for the green transformation of the construction industry.

Keywords: Geopolymer concrete, sustainability, fly ash, metakaolin, ground granulated blast furnace slag.

4. GİRİŞ

İnşaat sektörü, dünya ekonomisinin önemli bir parçasıdır [1]. Ancak bu özelliğinin yanı sıra yüksek miktarlarda atık üretimi ve CO₂ gazı emisyonuna neden olmaktadır [2]. Beton ise düşük maliyet, malzemeye erişim kolaylığı, farklı uygulama türlerine olanak tanınması gibi avantajları sayesinde dünya genelinde kullanılan en yaygın yapı malzemesidir [3]. Betonun temel üretim malzemesi olan çimentonun üretimi, inşaat sektöründeki CO₂ gazı salınımının önemli bir miktarını oluşturmaktadır. Çimento üretimi esnasında açığa çıkan CO₂ gazı antropojenik emisyonların yaklaşık olarak %6-7'sini oluşturmaktadır [4,5]. Buna ek olarak çimento üretimi sırasında kullanılan doğal hammaddelerin aşırı tüketimi, çevresel bozulma ve ekosistemlerin değişimine neden olmaktadır [6].

Artan sanayileşme ve buna bağlı olarak artan kentsel yapılaşma ile beton talebi artmaktadır. Artan beton talebi ardında ise çevresel sorunlar giderek daha derinleşmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir ve çevre dostu malzemelerin geliştirilmesi artık kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmiştir [7]. Jeopolimer teknolojisi, çevre dostu bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. 1978'de Joseph Davidovits tarafından kavramsallaştırılan jeopolimerler, çevresel avantajları, yüksek mekanik dayanımları ve atık değerlendirme potansiyelleri nedeniyle günümüzde yoğun şekilde araştırılmaktadır [8]. Jeopolimer beton (JPB) alüminosilikat kaynaklı endüstriyel ve tarımsal yan ürünlerin (uçucu kül, metakaolin, pirinç kabuğu külü, yüksek fırın cürufu v.b.) kullanılmasıyla üretilir. JPB üretiminde kullanılan alkali aktivatörler ise bağlayıcı bir yapı oluşmasına katkı sağlarlar. Bu bağlayıcılar, polikondensasyon reaksiyonu ile silikon-oksi-alüminat zincirleri meydana getirmekte ve bunun sonucu olarak malzemenin dayanımını artırmaktadır [9]. JPB'nin üretimi esnasında açığa çıkan CO₂ gazı geleneksel portlan çimentosu üretimi esnasında açığa çıkan gazdan yaklaşık olarak %64 daha azdır [10]. Bu özelliği ile JPB çevre dostu ve sürdürülebilir bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır.

JPB'nin performansı üzerindeki önemli faktörlerden biri kullanılan malzemelerin içeriğindeki kalsiyum miktarıdır. Düşük kalsiyum içerikli malzemeler (F sınıfı uçucu kül, silika dumanı, kırmızı çamur, kalsine kaolin, pirinç kabuğu külü), yüksek kalsiyum içerikli malzemelere (C sınıfı uçucu kül, yüksek fırın cürufu) göre farklı mekanik özellikler sergilemektedir [11,12]. Yüksek fırın cürufu, alkali aktivatörlerle daha hızlı çözünmekte ve buna bağlı olarak betonun erken dayanımını artırmakta, işlenebilirliği iyileştirmektedir [13]. Ayrıca nanomalzemeler ve nanokil katkıları, mikro boşlukları doldurarak dayanımı ve dayanıklılığı artırmakta ve jeopolimer bağlayıcının jel oluşumunu hızlandırmaktadır [14,15].

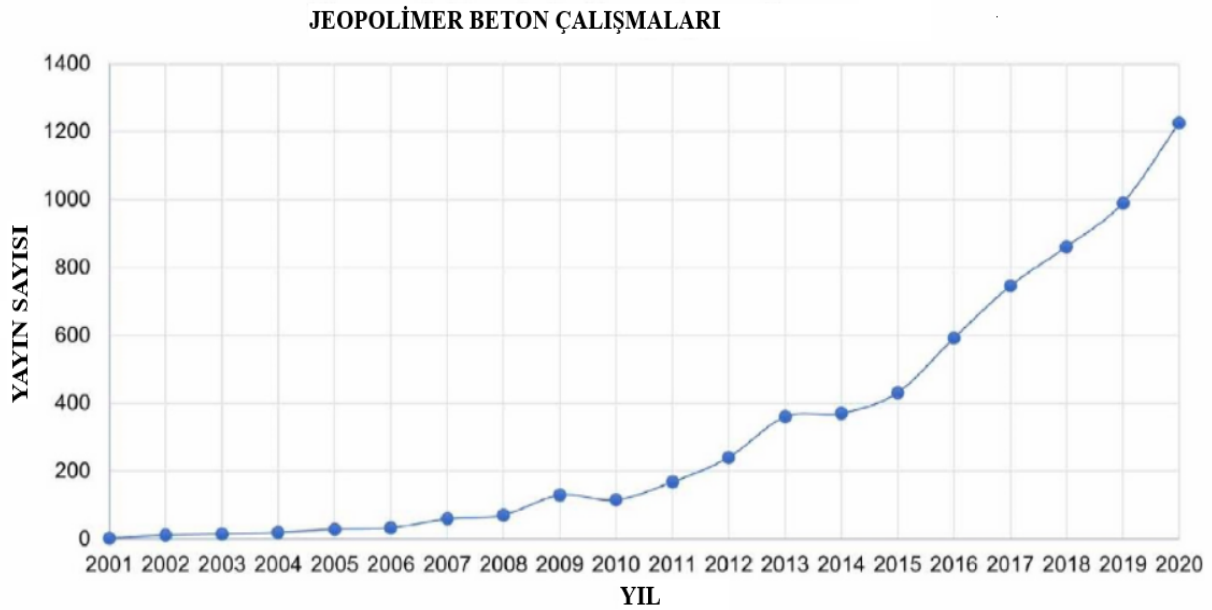
JPB'nin yüksek basınç dayanımı, yangın direnci ve asidik koşullara dayanıklılık gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Ancak normal beton yine de bazı özelliklerinin iyileştirilmesi

gerekmektedir. Bu nedenle lif takviyeli JPB de önemli bir araştırma konusu olmaktadır. Fiber takviyeli polimerler (FRP) veya doğal selülozik lifler (keten, sisal, bambu v.b.) kullanımı betonun çekme mukavemetini, eğilme mukavemetini, sünekliğini ve enerji sönümlemesini artırırken, çatlak oluşumu ve donatı ihtiyacını azaltmaktadır [16–18]. Bu sayede JPB'nin sürdürülebilirliği ve yapısal verimliliği artmaktadır [12].

Bu çalışmada JPB ile ilgili güncel çalışmalar değerlendirilmiştir. Genel olarak malzeme ile ilgili gelişmeler ve çevresel etkiler dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

5. JEOPOLİMER BETONLARDA GELİŞMELER

Son yıllarda JPB çalışmalarına ilgi giderek artmaktadır. Şekil 1'de yıllara göre JPB ile ilgili çalışmaların sayıları paylaşılmıştır [19].

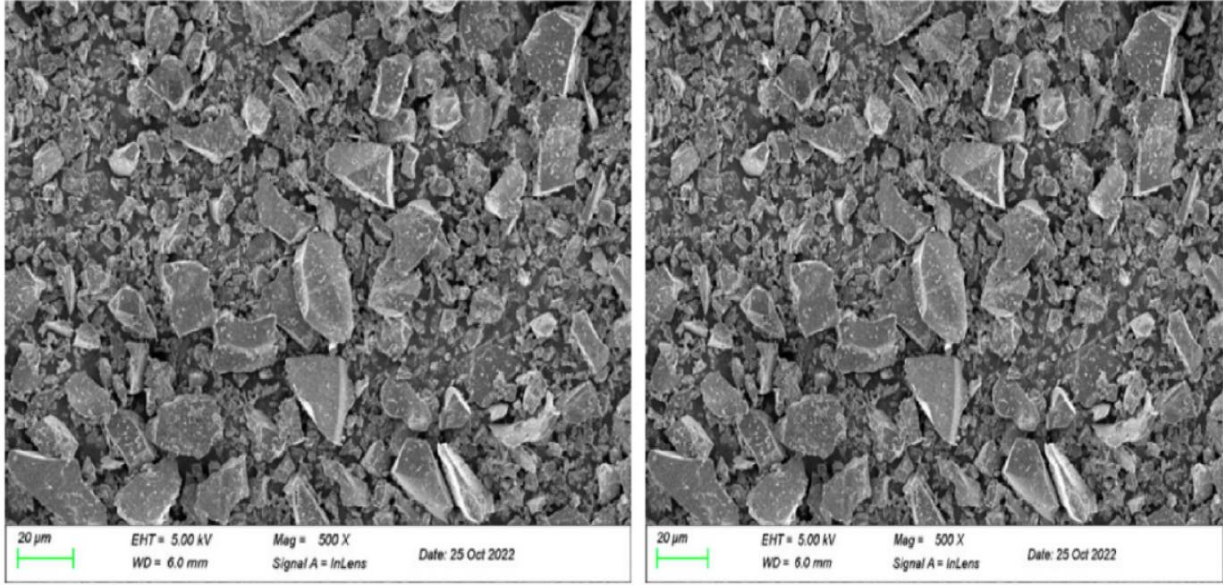


Şekil 1. Yıllara göre jeopolimer beton çalışmaları [19]

JPB'nin üretiminde farklı puzolanik bağlayıcılar kullanılabilir. Bunlardan biride metakaolindir. Metakaolin JPB teknolojisinde en çok kullanılan alüminosilikatlardan biridir [20]. Metakaolin, kaolinitin isimli doğal kil mineralinin belirli sıcaklık aralıklarında kalsinasyonu sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu aktif aktif yapıdaki bağlayıcı, alkali çözeltiler sayesinde çözünerek jeopolimerleşme süreci ile bağlayıcılık zincirleri oluşmasını sağlamaktadır [21,22]. Metakaolin esaslı jeopolimerler yüksek basınç dayanımı, düşük geçirgenlik, asit direnci, yüksek yangın dayanımı gibi birçok mekanik özelliğe sahiptir. Ayrıca metakaolinin düşük kalsinasyon sıcaklığı sayesinde enerji tüketimi de azalmakta çevreci bir malzeme ortaya çıkmaktadır [23]. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar Metakaolinin tek başına ya da uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi diğer endüstriyel yan ürünler ile kullanılmasının uygun olduğu göstermiştir. Yüksek fırın cürufu ile birlikte kullanımı erken yaş dayanımını artırırken, uçucu kül ile birlikte kullanımı ise uzun vadeli dayanım kazanımları sağlamaktadır [24,25].

JPB üretiminde kullanılan bir diğer endüstriyel yan üründe yüksek fırın cürufudur. Yüksek fırın cürufu demir-çelik üretimi esnasında yan ürün olarak elde edilen bir bağlayıcı malzemedir [26]. Yüksek fırın cürufu oldukça yüksek bir reaktiviteye sahip olması nedeniyle önemli bir başlangıç malzemesidir. Jeopolimer bağlayıcı oluşumuna katkı sağlayarak yüksek

mekanik özellikler elde edilmesini sağlamaktadır. Normal portlan çimentosuna göre daha düşük enerji ile üretilmesi karbon ayak izini düşürmektedir. Ayrıca demir-çelik sektöründe ortaya çıkan atık bir malzeme olması da atıkların değerlendirilmesi adına çevre dostu bir malzeme olmasını sağlamaktadır [27]. Yüksek fırın cürufu sülfat saldırısına karşı daha yüksek direnç göstermekte, ince taneli boyutu sayesinde daha düşük geçirgenlik ve suya karşı dayanıklılık sağlamaktadır [28,29]. İç yapının daha iyi anlaşılması için Şekil 2’de SEM görüntüsü verilmiştir. Hidratasyon sürecindeki ısının azalması ise termal çatlak oluşumunu azaltmaktadır. Bu sayede yüksek hacimli dökümler ve zorlu çevresel koşullar için önemli bir alternatif oluşturmaktadır.



a) Metakaolin

b) Yüksek fırın cürufu

Şekil 2. SEM görüntüleri; a) Metakaolin, b) Yüksek fırın cürufu [30]

Uçucu küller JPB üretiminde kullanılan, kömürle çalışan termik santrallerde kömür yanması sonucu oluşan ve baca gazlarıyla kazanlardan çıkan ince parçacıklardan meydana gelen endüstriyel bir yan üründür [31,32]. Uçucu küllerin jeopolimer beton üretimi için en önemli özelliği puzolanik reaksiyon göstermesidir. Uçucu küller kalsiyum hidroksit ile reaksiyon göstererek betonun mekanik özelliklerine katkı sağlamaktadır. Uçucu küller bu özelliği ile uzun yıllardır portland çimentosuna ikame olarak da kullanılmaktadır [32,33]. Uçucu kül içerikli jeopolimerlerin oda sıcaklığında düşük dayanım sergilemektedir. Ancak kür sıcaklığı ile dayanım doğru orantılıdır. Bu durum uçucu kül kullanımını sınırlandırmaktadır [34]. Uçucu kül çevresel açıdan da bir çok avantajı bir arada sağlamaktadır. Uçucu küller atık malzeme olduğu için düşük maliyetlidir. Ayrıca beton içerisinde çimento yerine kullanılması CO₂ gazı salınımını azaltmaktadır. Aktivasyon için gerekli olan sodyum silikat çözeltisinin diğer alternatiflerine göre uçucu külde daha az olması da önemli bir çevre dostu özelliğidir [35,36].

JPB içerisinde atık malzemelerin kullanımı önemli bir çalışma alanıdır. Mermer tozu, cam tozu, bazalt tozu v.b. birçok atık malzemenin kullanımı sayesinde çevresel kirlenme önlenirken portland çimentosu üretimi sırasında açığa çıkan sera gazları da azalmış olur [37]. Mermer dolomit ve kireçtaşının yüksek sıcaklık ve basınç altında yeniden kristalleşmesi ile oluşmaktadır. Günümüzde mermer Mısır, İtalya, Hindistan, Türkiye gibi birçok ülkede çıkarılmaktadır. Mermerler, doğal taş ocaklarından bloklar halinde çıkarılarak fabrikalarda

işlenmektedir. Bu işlemler esnasında ortaya çıkan mermer tozu ise atık bir maddedir [38]. Mermer tozunun beton içerisinde kullanımı çekirdeklenme, boşluk doldurma ve benzeri faydalar sağlamaktadır. Ayrıca çimentonun alüminyum fazı ile reaksiyon gösterebilecek özel bir kimyasal aktiviteye de sahiptir [39]. Bu nedenle çimentoya ikame olarak kullanımının uygun olduğu görülmektedir [40]. Birçok çalışmada uçucu kül, silis dumanı, metakaolin gibi endüstriyel yan ürünler ile birlikte kullanılmıştır [41].

6. SONUÇLAR

Jeopolimer betonlar, son yıllarda sürdürülebilir yapım malzemeleri açısından önemli bir alternatif olarak görülmektedir. Portland çimentosunun üretimi sırasında harcanan enerji, sera gazı salınımı ve doğal kaynakların tüketimi dikkate alındığında, jeopolimer betonlar hem çevreci yönüyle hem de mekanik kazanımları ile önemli avantajlar sağlamaktadır.

Jeopolimer betonların sağladığı dikkate değer avantajlar bu yönde çalışmaları artırmış ve malzeme açısından gelişmeler yaşanmıştır. Özellikle metakaolin, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, mermer tozu ve cam tozu gibi endüstriyel atıklar ve yan ürünler jeopolimer beton üretiminde kullanılmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak birçok çalışmada bu malzemelerin jeopolimer betonun performansını artırdığı görülmüştür. Çevresel açıdan ise bu malzemelerin kullanımı ile endüstriyel atıkların değerlendirilmesi sağlanmış, aynı zamanda çimento kullanımını azaltarak karbon emisyonunu azaltmaya katkı sağlamıştır.

Sonuç olarak jeopolimer betonlar geleneksel betonlara göre performansı yüksek ve sürdürülebilir bir beton türüdür. Bazı dezavantajları giderilerek önemli bir yapım malzemesi olarak kullanım alanları genişletilebilir. Özellikle oda sıcaklığında kür koşullarının sağlanabilmesi önemli bir adım olacaktır. Aynı zamanda genel uygulamalar için konu ile ilgili standartlar ve uygulama klavuzları artırılarak doğru ve etkili uygulamalar gerçekleştirilmelidir.

KAYNAKÇA

- [1] Almutairi AL, Tayeh BA, Adesina A, Isleem HF, Zeyad AM. Potential applications of geopolymer concrete in construction: A review. *Case Stud Constr Mater* 2021;15:e00733. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00733>.
- [2] Tawfik TA, Aly Metwally K, EL-Beshlawy SA, Al Saffar DM, Tayeh BA, Soltan Hassan H. Exploitation of the nanowaste ceramic incorporated with nano silica to improve concrete properties. *J King Saud Univ - Eng Sci* 2021;33:581–8. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.06.007>.
- [3] de Azevedo ARG, Marvila MT, Tayeh BA, Cecchin D, Pereira AC, Monteiro SN. Technological performance of açai natural fibre reinforced cement-based mortars. *J Build Eng* 2021;33:101675. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101675>.
- [4] Amran YHM, Alyousef R, Alabduljabbar H, El-Zeadani M. Clean production and properties of geopolymer concrete; A review. *J Clean Prod* 2020;251:119679. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119679>.
- [5] Yildizel SA, Tayeh BA, Calis G. Experimental and modelling study of mixture design optimisation of glass fibre-reinforced concrete with combined utilisation of Taguchi and Extreme Vertices Design Techniques. *J Mater Res Technol* 2020;9:2093–106. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.083>.

- [6] Tayeh BA, Hasaniyah MW, Zeyad AM, Awad MM, Alaskar A, Mohamed AM, et al. Durability and mechanical properties of seashell partially-replaced cement. *J Build Eng* 2020;31:101328. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101328>.
- [7] Zeyad AM, Johari MAM, Alharbi YR, Abadel AA, Amran YHM, Tayeh BA, et al. Influence of steam curing regimes on the properties of ultrafine POFA-based high-strength green concrete. *J Build Eng* 2021;38:102204. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102204>.
- [8] Elyamany HE, Abd Elmoaty AEM, Elshaboury AM. Setting time and 7-day strength of geopolymer mortar with various binders. *Constr Build Mater* 2018;187:974–83. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.025>.
- [9] Ma C-K, Awang AZ, Omar W. Structural and material performance of geopolymer concrete: A review. *Constr Build Mater* 2018;186:90–102. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.111>.
- [10] Mo KH, Alengaram UJ, Jumaat MZ. Structural performance of reinforced geopolymer concrete members: A review. *Constr Build Mater* 2016;120:251–64. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.088>.
- [11] Unis Ahmed H, Mahmood LJ, Muhammad MA, Faraj RH, Qaidi SMA, Hamah Sor N, et al. Geopolymer concrete as a cleaner construction material: An overview on materials and structural performances. *Clean Mater* 2022;5:100111. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100111>.
- [12] Mani S, Partheeban P, Gifta CC. A comprehensive review on multilayered natural-fibre composite reinforcement in geopolymer concrete. *Clean Mater* 2025;16:100310. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2025.100310>.
- [13] Ren J, Chen H, Sun T, Song H, Wang M. Flexural Behaviour of Combined FA/GGBFS Geopolymer Concrete Beams after Exposure to Elevated Temperatures. *Adv Mater Sci Eng* 2017;2017:1–9. <https://doi.org/10.1155/2017/6854043>.
- [14] Assaedi H, Alomayri T, Kaze CR, Jindal BB, Subaer S, Shaikh F, et al. Characterization and properties of geopolymer nanocomposites with different contents of nano-CaCO₃. *Constr Build Mater* 2020;252:119137. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119137>.
- [15] Amiri Y, Hassaninasab S, Chehri K, Zahedi M. Investigating the effect of adding bacillus bacteria and nano-clay on cement mortar properties. *Case Stud Constr Mater* 2022;17:e01167. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01167>.
- [16] Baloyi RB, Ncube S, Moyo M, Nkiwane L, Dzingai P. Analysis of the properties of a glass/sisal/polyester composite. *Sci Rep* 2021;11:361. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79566-7>.
- [17] Sliseris J, Yan L, Kasal B. Numerical modelling of flax short fibre reinforced and flax fibre fabric reinforced polymer composites. *Compos Part B Eng* 2016;89:143–54. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.11.038>.
- [18] Chiadighikaobi PC, Ali Qais QA, Adegoke MA, Paul VJ, Saad LA, Al-Brees RHK, et al. A Review Study of the Mechanical Characteristics of Nano Concrete Reinforced with Hybrid Fiber. *Open Constr Build Technol J* 2023;17. <https://doi.org/10.2174/18748368-v17-e230419-2022-25>.
- [19] Faris MA, Al Bakri Abdullah MM, Muniandy R, Ramasamy S, Abu Hashim

MF, Junaedi S, et al. Review on Mechanical Properties of Metakaolin Geopolymer Concrete by Inclusion of Steel Fibers. *Arch Metall Mater* 2021;261–7.

<https://doi.org/10.24425/amm.2022.137500>.

[20] Prachasaree W, Limkatanyu S, Hawa A, Sukontasukkul P, Chindaprasirt P. Manuscript title: Development of strength prediction models for fly ash based geopolymer concrete. *J Build Eng* 2020;32:101704. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101704>.

[21] Tao Z, Pan Z. GEOPOLYMER CONCRETE AT AMBIENT AND ELEVATED TEMPERATURES: RECENT DEVELOPMENTS AND CHALLENGES. *NED Univ J Res* 2019;2:113–28. <https://doi.org/10.35453/NEDJR-STMECH-2019-0007>.

[22] Jindal BB, Alomayri T, Hasan A, Kaze CR. Geopolymer concrete with metakaolin for sustainability: a comprehensive review on raw material's properties, synthesis, performance, and potential application. *Environ Sci Pollut Res* 2022;30:25299–324. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17849-w>.

[23] Mehsas B, Siline M, Zeghichi L. Development of supplementary cementitious materials from Algerian kaolin: elaboration of metakaolin and assessment of pozzolanicity. *Innov Infrastruct Solut* 2021;6:50. <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00444-2>.

[24] Duan P, Yan C, Zhou W. Influence of partial replacement of fly ash by metakaolin on mechanical properties and microstructure of fly ash geopolymer paste exposed to sulfate attack. *Ceram Int* 2016;42:3504–17. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.10.154>.

[25] Huseien GF, Mirza J, Ismail M, Ghoshal SK, Ariffin MAM. Effect of metakaolin replaced granulated blast furnace slag on fresh and early strength properties of geopolymer mortar. *Ain Shams Eng J* 2018;9:1557–66. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.11.011>.

[26] Li G, Zhao X. Properties of concrete incorporating fly ash and ground granulated blast-furnace slag. *Cem Concr Compos* 2003;25:293–9. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00058-6](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00058-6).

[27] Schneider M, Romer M, Tschudin M, Bolio H. Sustainable cement production—present and future. *Cem Concr Res* 2011;41:642–50. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.019>.

[28] Lakusic S. Geopolimerni beton s dodatkom granulirane zgre i crnog pepela rižinih ljuski. *J Croat Assoc Civ Eng* 2015;67:741–8. <https://doi.org/10.14256/JCE.1208.2015>.

[29] Saraya ME-SI. Study physico-chemical properties of blended cements containing fixed amount of silica fume, blast furnace slag, basalt and limestone, a comparative study. *Constr Build Mater* 2014;72:104–12. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.071>.

[30] Zhang Y, Chen J, Xia J. Compressive Strength and Chloride Resistance of Slag/Metakaolin-Based Ultra-High-Performance Geopolymer Concrete. *Materials (Basel)* 2022;16:181. <https://doi.org/10.3390/ma16010181>.

[31] Talakokula V, Vaibhav, Bhalla S. Non-destructive Strength Evaluation of Fly Ash Based Geopolymer Concrete Using Piezo Sensors. *Procedia Eng* 2016;145:1029–35. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.133>.

[32] Liu MYJ, Alengaram UJ, Santhanam M, Jumaat MZ, Mo KH. Microstructural investigations of palm oil fuel ash and fly ash based binders in lightweight aggregate foamed

geopolymer concrete. *Constr Build Mater* 2016;120:112–22.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.076>.

[33] Zeyad AM, Megat Johari MA, Tayeh BA, Yusuf MO. Efficiency of treated and untreated palm oil fuel ash as a supplementary binder on engineering and fluid transport properties of high-strength concrete. *Constr Build Mater* 2016;125:1066–79.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.065>.

[34] AzariJafari H, Taheri Amiri MJ, Ashrafian A, Rasekh H, Barforooshi MJ, Berenjian J. Ternary blended cement: An eco-friendly alternative to improve resistivity of high-performance self-consolidating concrete against elevated temperature. *J Clean Prod* 2019;223:575–86. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.054>.

[35] Nikoo M, Hadzima-Nyarko M, Karlo Nyarko E, Nikoo M. Determining the Natural Frequency of Cantilever Beams Using ANN and Heuristic Search. *Appl Artif Intell* 2018;32:309–34. <https://doi.org/10.1080/08839514.2018.1448003>.

[36] Gursel AP, Maryman H, Ostertag C. A life-cycle approach to environmental, mechanical, and durability properties of “green” concrete mixes with rice husk ash. *J Clean Prod* 2016;112:823–36. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.029>.

[37] Zhang Z, Provis JL, Reid A, Wang H. Geopolymer foam concrete: An emerging material for sustainable construction. *Constr Build Mater* 2014;56:113–27. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.081>.

[38] Metwally GAM, Elemam WE, Mahdy M, Ghannam M. A comprehensive review of metakaolin-based ultra-high-performance geopolymer concrete enhanced with waste material additives. *J Build Eng* 2025;103:112019. <https://doi.org/10.1016/j.job.2025.112019>.

[39] Ramezani pour AM, Hooton RD. A study on hydration, compressive strength, and porosity of Portland-limestone cement mixes containing SCMs. *Cem Concr Compos* 2014;51:1–13. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.03.006>.

[40] Wang T, Yang W, Zhang J. Experimental Studies on Mechanical Properties and Microscopic Mechanism of Marble Waste Powder Cement Cementitious Materials. *Crystals* 2022;12:868. <https://doi.org/10.3390/cryst12060868>.

[41] Kaplan G, Öz A, Bayrak B, Aydın AC. The effect of geopolymer slurries with clinker aggregates and marble waste powder on embodied energy and high-temperature resistance in prepacked concrete: ANFIS-based prediction model. *J Build Eng* 2023;67:105987. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.105987>.

ESTABLISHING READY-MADE TENT CITY PLANS FOR EMERGENCY SHELTER NEEDS: THE CASE OF ARSUZ DISTRICT

Dr.Öğr.Üyesi Sıtkı Alper ÖZDEMİR

Iskenderun Technical University/Iskenderun Vocational School Department of Construction
salper.ozdemir@iste.edu.tr- 0000-0001-7331-8026

Doç.Dr. Mehmet UZUN

Karamanoğlu Mehmetbey University/Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering,
mehmetuzun@kmu.edu.tr – 0000-0002-6347-1243

ABSTRACT

One of the most urgent needs following disasters is shelter. Although tent cities offer a quick solution, their unplanned establishment leads to infrastructure, security, and social life problems. This study aims to emphasise the importance of creating pre-disaster tent city plans. The study compares international standards (Sphere Project, UNHCR Shelter Guidelines) with practices in Türkiye, creating and analysing a Tent City Plan for the Arsuz district of Hatay as an example. The Arsuz plan identifies four different proposed areas, with capacities ranging from 1,500 to 6,000 people. The diversity of transport links, the adequacy of infrastructure facilities, and the absence of flood risks are the strengths of the plan. Its weaknesses are the lack of building stock data and the insufficient disaster awareness of the public. The findings reveal that the development of pre-disaster tent city plans is critical for local authorities and disaster management agencies. In conclusion, the experiences gained from the Arsuz example offer an applicable and scalable model for disaster management in Türkiye.

Keywords : Emergency Shelter, Tent City, Post-Disaster Living, Disaster in Development Plans.

1. INTRODUCTION

One of the most fundamental needs arising after disasters is the rapid provision of safe and healthy shelter. Earthquakes, floods, fires and other types of disasters render residential areas uninhabitable, creating a shelter need for a large number of people in a short period of time [1,2]. In this context, tent cities stand out as one of the fastest methods that can be implemented among temporary shelter solutions. However, unplanned and sudden setups lead to problems such as inadequate infrastructure, fire safety risks, lack of social amenities, and hygiene issues, making post-disaster life difficult [3,4].

The UNHCR Shelter Guidelines, developed at the international level, define the criteria that post-disaster temporary shelter areas must meet in terms of capacity, infrastructure, space per person, and social services [5–7]. However, in Türkiye, tent city

planning is generally carried out immediately after the disaster, under crisis conditions and with limited data, which leads to delays in implementation and failure to meet standards. The 6 February 2023 Kahramanmaraş Earthquakes, in particular, clearly revealed the lack of pre-disaster preparedness plans, resulting in significant problems in meeting the temporary shelter needs of millions of people [8,9].

This study highlights the importance of preparing pre-disaster tent city plans and, in this context, presents a sample plan and Tent City Plan prepared for the Arsuz district of Hatay (Figure 1).



Figure 1. Arsuz Geographical Location Map

The Arsuz Tent City Plan has been developed taking into account both geographical conditions and population density, with a capacity calculated to provide shelter for tens of thousands of people across four different areas. The plan's strengths, weaknesses and feasibility are being evaluated and compared with international standards. Thus, the prepared planning approach to post-disaster shelter needs is being discussed in terms of both Türkiye's disaster management policies and local governments' disaster preparedness processes.

2. MATERIALS AND METHODS)

This study employs both a literature review and a sample plan analysis approach as its methodology. In the first stage, international standards and guidelines related to the planning of temporary shelter areas after disasters were examined. In this context, the Sphere Project Humanitarian Standards and UNHCR Shelter Guidelines were particularly taken into account, and criteria such as minimum space per person, infrastructure requirements, health and social facility standards were determined [10]. In addition, reports on temporary shelter centres prepared by AFAD in Türkiye and relevant legislation (Zoning Law No. 3194, Disaster Law No. 7269) were reviewed [11,12].

In the second stage, the Arsuz Tent City Plan that was created was examined. The plan covers 12,500 hectares of the Arsuz district in Hatay province. This plan proposes

four separate tent city areas in different regions, primarily in the Akçalı, Gökmeydan, Gülcihan and Karaağaç neighbourhoods (Figure 2). The sizes of these areas range from 33,000 m² to 85,000 m², and capacity calculations indicate accommodation possibilities ranging from 1,500 to 6,000 people. The study conducted a comparative assessment of the areas in question, taking into account their size, population capacity, geographical location, accessibility, and distance from disaster risks.

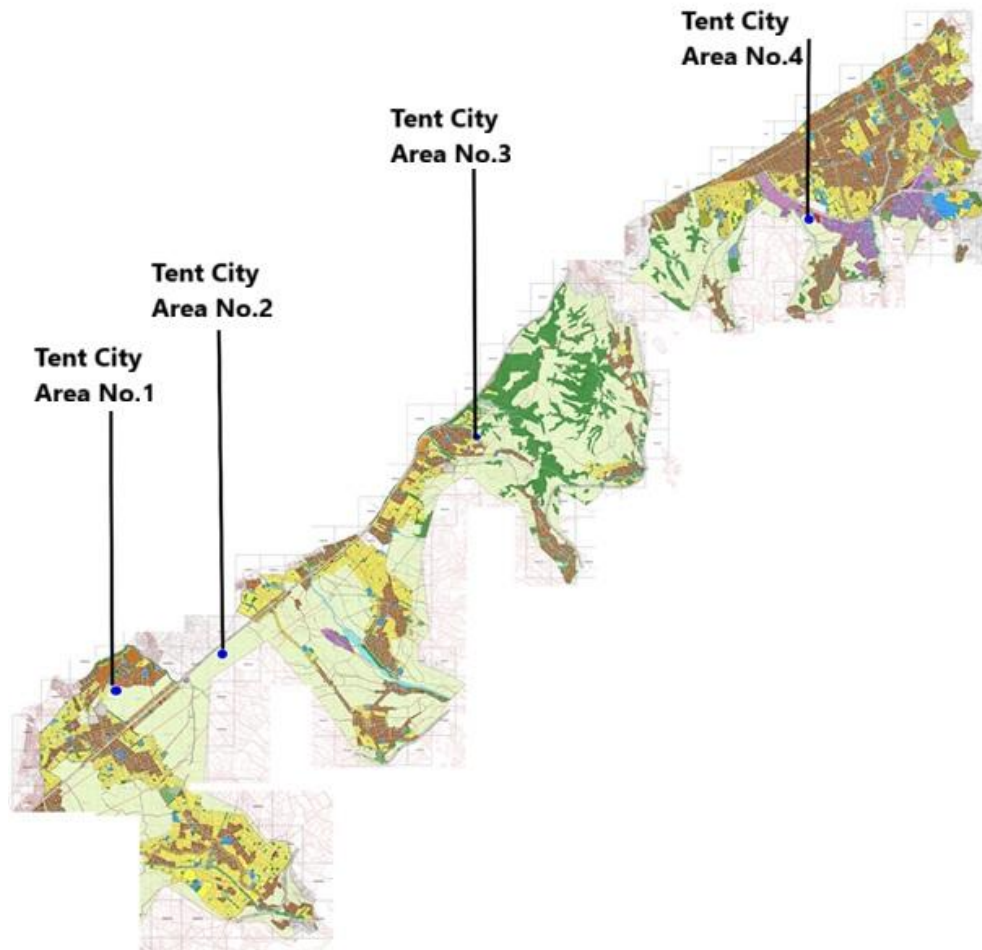


Figure 2. Tent Cities

In the third stage, the objective-target-action matrix and SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) analysis included in the Arsuz tent city plan were systematically examined. Strengths, weaknesses, opportunities and threats were identified. Thus, both the strengths of the Arsuz tent city plan and the areas requiring improvement were revealed.

In the final stage, recommendations were made for the development of pre-disaster tent city plans in light of the findings, and how these could be integrated into Türkiye 's disaster management system was discussed.

3. FINDINGS AND DISCUSSION

The Arsuz Tent City Plan examined in this study offers a comprehensive approach to post-disaster shelter needs. The plan proposes four separate tent city areas at different points in the district. These areas differ in terms of size, capacity and geographical conditions. The first area has an area of 33,000 m² and is expected to have a capacity of approximately 1,500–2,000 people. The second area, located in the Gökmeydan neighbourhood, has an area of 70,000 m² and is planned to accommodate 3,500–4,000 people. The third area is located between Gülcihan–Madenli–Aşağıkepirçe and has an area of 60,000 m² with a capacity of approximately 3,000 people. The fourth area stands out as the largest, covering 85,000 m² in Karaağaç Mahallesi, and is designed to accommodate 5,500–6,000 people. The common features of these areas include their distance from flood risks, proximity to transport networks, and the integration of health facilities and social amenities.

The SWOT analysis prepared to highlight the strengths and weaknesses of the plan is presented in Table 1.

Table 1. Arsuz Tent City Plan SWOT Analysis

Strengths	Weaknesses	Opportunities	Threats
The variety of transport connections (road, rail, proximity to ports)	The public's lack of awareness of disasters, lack of education	Opportunities for cooperation with public institutions and NGOs	Risk of ground liquefaction
Adequate infrastructure facilities (water, electricity)	Absence of building stock data	Easy access to resources (equipment, vehicles, personnel)	Rapid growth in the city's population
Selecting tent city locations away from flood and torrential rain risks	Inadequacy of ground surveys and improvement works	Rapid response capacity following a disaster	The health risks posed by riverbeds and water sources
Planning of health and social facilities	Insufficient public awareness of emergency assembly areas	Potential for integration into national disaster management policies	Odour, flies and disease risks in the area

As seen in the table, the plan's strongest aspects are its transport options, infrastructure adequacy and the selection of areas away from flood risks. However, the lack of building stock data, insufficient public awareness of disasters and inadequate ground improvements are notable weaknesses. Furthermore, while opportunities for inter-institutional cooperation could enhance the plan's feasibility, threats such as soil liquefaction and rapid population growth pose risks during implementation.

Overall, the findings indicate that the Arsuz Tent City Plan offers a sufficient and scalable model in terms of capacity, but requires improvement in terms of data gaps and public awareness.

The Arsuz Tent City Plan stands out as a model project in the context of disaster preparedness in Türkiye. The fact that the plan has been developed in four different areas offers a significant advantage in terms of capacity diversity and geographical distribution in possible disaster scenarios. Furthermore, proximity to transport networks, the relative adequacy of infrastructure facilities, and the integration of health and social amenities are among the plan's strengths.

However, when compared to international standards, this plan also has some notable shortcomings. According to the Sphere Standards, temporary shelter areas after a disaster should provide at least 3.5–4.5 m² of living space per person. The capacity calculations in the Arsuz tent city plan are consistent with the area sizes. However, the UNHCR Shelter Guidelines set minimum criteria for the distribution of health, education, security, and social facilities, and the Arsuz tent city plan should be detailed according to these criteria.

Another point of discussion is the lack of public awareness of disasters and building stock data. Although the plan includes spatially correct locations, shortcomings in social preparedness may limit the effectiveness of its implementation. This is because the sustainability of post-disaster tent cities is directly related not only to area size and capacity but also to public participation and awareness levels. Therefore, the proposed tent city areas in Arsuz must be introduced to the public, supported by educational programmes, and building stock data must be updated.

Furthermore, the plan's feasibility must also be assessed in terms of ground surveys and geological risks. Ground liquefaction and potential flood risks are seen as factors that could threaten the long-term safety of tent city areas. This situation is directly related to the 'safe ground selection' criterion emphasised in the Sphere Standards. The Arsuz tent city plan must be based on more detailed microzoning and risk analyses at this point.

In conclusion, the Arsuz Tent City Plan can be considered an important example that local authorities should develop in the pre-disaster preparedness process. However, in order to bring it into line with international standards, capacity calculations need to be clarified, infrastructure details need to be strengthened, and social awareness efforts need to be increased. In this way, the plan can become not only a spatial preparedness document, but also a comprehensive model that can be integrated into Türkiye's disaster management strategies.

4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

This study highlights the importance of pre-prepared tent city plans in addressing the critical post-disaster need for shelter. The Arsuz Tent City Plan examined is a noteworthy example developed at the local government level in Türkiye as part of pre-disaster preparedness. The plan has the capacity to provide shelter for tens of thousands of people across four different areas. Proximity to transport networks, location away from flood risks, and the planning of social amenities are among the model's strengths.

However, when compared to international standards, the plan has some shortcomings. The lack of clear calculations of the amount of space per person, the lack of building stock data, the insufficient disaster awareness of the public, and the limited ground surveys stand out as significant weaknesses. Addressing these shortcomings will increase the plan's feasibility and sustainability.

Based on the findings of the study, the following recommendations have been developed:

- Widespread Use of Prepared Plans: Pre-disaster tent city plans should be prepared and regularly updated in all provinces and districts throughout Türkiye.
- Compliance with International Standards: Criteria for space per person, infrastructure, health, and social services should be integrated into the plans in accordance with Sphere and UNHCR standards.
- Strengthening Spatial Analyses: Microzoning, ground surveys, and risk maps should be used as fundamental criteria in selecting tent city locations.
- Social Participation and Awareness: Informing the public during the pre-disaster period and introducing assembly areas will increase the effectiveness of the plans.
- Data Integration: Data such as building stock, population density, and infrastructure capacity should be kept up to date and integrated into tent city plans.
- Institutional Coordination: Coordination between AFAD, municipalities, ministries, and civil society organisations should be strengthened to increase the feasibility of the plans.

In conclusion, the Arsuz example provides an applicable and scalable model for how ready-made tent city plans can be developed in disaster management in Türkiye. Preparing such plans before a disaster strikes will not only solve the accommodation problem during a crisis but will also contribute to rapid response in disaster management, efficient use of resources, and increased social resilience.

REFERENCES

- [1] Gerdan S. Kentsel Planlama Açısından İl Afet Risk Azaltma Planlarının Değerlendirilmesi. Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi Derleme GUJHS 2021;10:1006–13.
- [2] Coşkun AM. Kahramanmaraş İli Özelinde Hazırlanan İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP) Üzerine Bir İnceleme. Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2022;15:276–95. <https://doi.org/10.25287/ohuibf.942081>.
- [3] Günaydın AS, Şahin İK. Afet Sonrası Toplanma Alanlarının Mevcut Durumunun İrdelenmesi: Malatya Kent Merkezi Örneği. Journal of Architectural Sciences and Applications 2023;8:450–70. <https://doi.org/10.30785/MBUD.1329217>.
- [4] Deniz E, Yalçınalp E, Meral A. Afet Sonrası Bir Kriz Yönetimi Bileşeni Olarak Kent Parkları; Malatya Örneği. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi 2024;20:326–47. <https://doi.org/10.58816/DUZCEOD.1441688>.
- [5] Viscuso S, Zanelli A. Insulated Membrane Kit for Emergency Shelters: Product Development and Evaluation of Three Different Concepts. Procedia Eng 2016;155:342–51. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.08.037>.

- [6] Pomponi F, Moghayedi A, Alshawawreh L, D'Amico B, Windapo A. Sustainability of post-disaster and post-conflict sheltering in Africa: What matters? *Sustain Prod Consum* 2019;20:140–50. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2019.06.007>.
- [7] Gudeta NS, Seyeneh MM. Exploring the lived experiences of psychosocial support among internally displaced persons in Sebeta temporary shelter, Ethiopia: A phenomenological study. *SSM - Mental Health* 2025;7:100399. <https://doi.org/10.1016/J.SSMMH.2025.100399>.
- [8] Avlar E, Limoncu S, Tızman D. Deprem sonrası geçici barınma birimi: CLT E-BOX. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2022;38:471–82. <https://doi.org/10.17341/GAZIMMFD.1027894>.
- [9] Kartal ME, Kaya ÇM, Yavuz F. Ege Denizi Depremi Sonrası Barınma Çözümleri: Acil, Geçici ve Kalıcı Barınma Yaklaşımları. *Afet ve Risk Dergisi* 2024;7:560–71. <https://doi.org/10.35341/AFET.1386500>.
- [10] De Pasquale P, Opdyke A. Pathways to humanitarian shelter durable solutions: A global comparative analysis of projects. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 2025;128:105723. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2025.105723>.
- [11] 7269 SAYILI UMUMİ HAYATA MÜESSİR AFETLER DOLAYISIYLA ALINACAK TEDBİRLERLE YAPILACAK YARDIMLARA DAİR KANUN. n.d.
- [12] 3194 Sayılı İmar Kanunu. n.d.

FARKLI BORU YAPILARININ EKONOMİZER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ANALİZİ

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF DIFFERENT PIPE STRUCTURES ON THE ECONOMIZER

Öğr. Gör. Berna AKMEŞE

Tarsus Üniversitesi,

bernaakmese@tarsus.edu.tr - 0000-0002-0454-6495

Doç. Dr. Tarkan KOCA

İnönü Üniversitesi,

tarkan.koca@inonu.edu.tr - 0000-0002-6881-4153

ÖZET

Enerji verimliliği, günümüzde artan enerji maliyetleri ve çevresel kaygılar nedeniyle sanayi tesisleri için büyük önem taşımaktadır. Özellikle fosil yakıtların yoğun olarak kullanıldığı kazan sistemlerinde, atık ısının geri kazanımı hem ekonomik fayda sağlamakta hem de emisyonları azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır. Bu doğrultuda, kazanlardan çıkan baca gazı enerjisinin yeniden değerlendirilmesini sağlayan ekonomizerler, enerji geri kazanım sistemlerinin temel bileşenlerinden biridir. Bu çalışmada, düz borulu ve double S finli borulu olmak üzere iki farklı ekonomizer tasarımı ısı transferi açısından karşılaştırılmıştır. Isı transfer analizleri SolidWorks Flow Simulation programı kullanılarak yapılmış, performans ölçümleri ise FireCAD yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, double S finli borulu tasarımın yüzey alanını artırarak ısı transferini önemli ölçüde iyileştirdiğini ve buna bağlı olarak kazan verimini artırdığını göstermektedir. Çalışma, boru geometrisinin enerji geri kazanımı üzerindeki etkisini ortaya koyarak, daha verimli kazan sistemlerinin tasarımı için önemli bir referans sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekonomizer, Isı değiştiriciler, Isı transferi

ABSTRACT

Energy efficiency is of great importance for industrial facilities due to increasing energy costs and environmental concerns today. Especially in boiler systems where fossil fuels are used extensively, the recovery of waste heat provides both economic benefits and contributes to environmental sustainability by reducing emissions. Accordingly, economizers, which enable the re-evaluation of flue gas energy from boilers, are one of the key components of energy recovery systems. In this study, two different economizer designs, straight tube and double S finned tube, were compared in terms of heat transfer. Heat transfer analyzes were performed using the SolidWorks Flow Simulation program,

and performance measurements were made with FireCAD software. The results obtained show that the double S finned tubular design significantly improves heat transfer by increasing the surface area and accordingly increases boiler efficiency. The study reveals the impact of pipe geometry on energy recovery, providing an important reference for the design of more efficient boiler systems.

Key Words: Economizer, Heat exchangers, Heat transfer

1. GİRİŞ

Isı değıştiriciler, birbirine karışmadan farklı sıcaklıklardaki akışkanlar arasında ısı alışverişini gerçekleştiren sistemlerdir (Akmese B. 2023). Bu ekipmanlar, enerji verimliliği ve proses kontrolü açısından birçok endüstriyel uygulamada kritik öneme sahiptir. Kullanım alanları arasında termik santraller, merkezi ısıtma sistemleri, kimya ve ilaç sanayi, otomotiv sektörü, metalurji (özellikle demir-çelik üretimi) ve endüstriyel soğutma sistemleri yer almaktadır (Akmese B. 2023).

Isı değıştiricilerin tasarımı ve seçimi, uygulamanın gereksinimlerine göre değışkenlik gösterir (Çeri, B., Koca, T. 2022). Seçim kriterleri arasında;

- Akışkan sayısı ve türü,
- Akışkanların termofiziksel özellikleri (viskozite, özgül ısı, ısı iletkenliği vb.),
- Faz değışimi olup olmaması (örneğin buharlaşma, yoğuşma),
- Akış yönleri (karşı akış, paralel akış, çapraz akış),
- Isı transfer mekanizması (duvar geçişli, doğrudan temaslı vb.) gibi parametreler yer alır.

Bu değışkenler doğrultusunda, boru demetli, kabuk-boru tipi, plakalı, serpantinli, hava soğutmalı veya rejeneratif gibi farklı tipte ısı değıştiriciler kullanılabilir.

Ekonomizerler, kazandan çıkan atık baca gazının içerdği ısıyı kullanarak kazan besleme sistemindeki akışkanı ısıtan bir tür ısı değıştiricilerdir (Balıkcı, A., Çeri, B., Koca, T. 2022). Bu sistemler, baca gazlarındaki termal enerjinin bir bölümünü geri kazanarak suya aktarır ve böylece yakıt tüketimini azaltırken kazan verimliliğini artırır. Ekonomizerler; kızgın yağ kazanları, buhar kazanları, sıcak su sistemi ve kızgın su sistemlerinde yaygın olarak kullanılmakta olup, tesisin ihtiyacına göre ısıtma ve sıcak su temininde önemli bir rol oynar.

Ekonomizerlerde elde edilen ısı, sadece kazan besleme suyunu ısıtmak için değil, aynı zamanda tesislerde ısıtma, banyo veya yıkama gibi kullanım amaçlarıyla suyu ısıtmak için de kullanılabilir (Çıtır, H., 2013). Geri kazanılan ısının hava veya başka bir gazın ısıtılmasında kullanılması durumunda, ekonomizer yerine hava ısıtıcıları tercih edilir.

Ekonomizerler yapılarına göre farklı alt türlere ayrılır:

1.1.Düz veya Firkete Borulu Ekonomizerler

- Genellikle katı ve sıvı yakıtlı (kömür, fuel-oil vb.) sistemlerde, baca gazı kirliliğinin yüksek olduğu ortamlarda kullanılır (Çakar, N. 2022).
- Bu yapı, yüksek sıcaklıktaki kirli gazlardan ısı geri kazanımı için uygundur.

1.2.Kanatlı Borulu Ekonomizerler

- Temiz yanma gazları üreten sistemler için tasarlanmıştır.
- Doğalgaz, LPG gibi yakıtlarda ortaya çıkan daha temiz baca gazlarından etkin ısı geri kazanımı sağlar.

1.2.1. Helezon ve spiral Borulu Ekonomizerler

- Yapısal olarak daha dayanıklıdır ve baca gazlarındaki kirlilikten minimum etkilenir.
- Bu nedenle, her tür yakıtla çalışan sistemlerde güvenle kullanılabilir.

Ekonomizerler, kazan sistemlerinin enerji verimliliğini artırmak ve atık ısıyı geri kazanmak açısından son derece önemli ekipmanlardır. Aşırı sıcaklık değişimlerini önlemek için besleme suyu ekonomizerlerde ısıtılarak kazana gönderilir (Çakar, N. 2022). Doğru tasarım, uygun boru seçimi, malzeme kalitesi ve baca gazı özelliklerine uygun yapılandırma ile hem yakıt tasarrufu sağlanır hem de çevresel etkiler azaltılır.

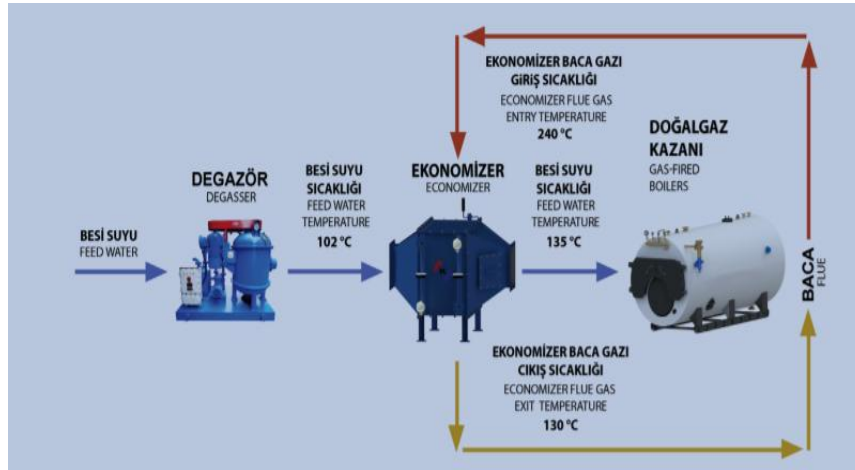
Ekonomizerlerin çalışma prensibi;

- Sıcak baca gazı, kazan çıkışından sonra ekonomizerin girişine yönlendirilir.
- Ekonomizerin içinden ise soğuk besleme suyu ters yönde (karşı akışlı sistemlerde) veya aynı yönde (paralel akışlı sistemlerde) sirküle edilir.
- Gaz ve su arasında ısı transferi gerçekleşir:

Baca gazı soğurken,

Besleme suyu ön ısıtılır.

- Ön ısıtılmış su, kazana gönderilerek daha az enerji ile buharlaştırılır. Bu da yakıt tasarrufu ve verim artışı sağlar.



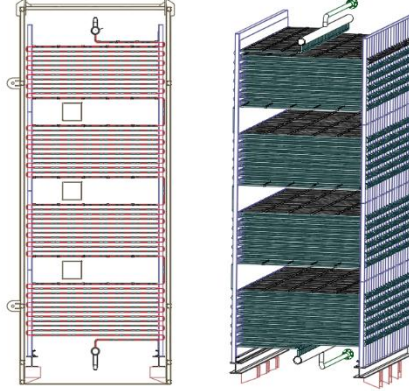
Görsel 1. Ekonomizer Çalışma Prensibi

Bu tip ısı değiştiricilerinde, akışkanlardan biri iç borudan, diğeri ise iç ve dış boru arasındaki boşluktan farklı yönlerde akar. Isı transfer verimini artırmak amacıyla seri veya paralel bağlı çeşitli tasarım uygulamaları geliştirilmiştir. Birçok farklı sistemde kullanım alanı bulur. Teorik hesaplamaları, diğer ısı değiştirici tiplerine göre daha kolaydır; ayrıca, kolay sökölüp takılabilme özelliği temizlik ve bakım işlemlerini de pratik hale getirir.

1.3. Boru Tiplerine Göre Ekonomizer Çeşitleri

1.3.1. Düz Borulu Ekonomizerler

Kömür, fuel oil, vb. yakıtlardan kaynaklanan göreceli olarak kirli olan duman gazlarından ısı geri kazanmak için kullanılırlar. Düşük seviyedeki basınç şartlarında düz borulu, yüksek basınçlarda ise dirsek dönüş (U) borulu tipleri kullanılır (Çıtır, H., 2013).



Görsel 2. Düz Borulu Ekonomizer

Bu ısı değıştircilerinde, bir akışkan iç borudan, diğeri ise borular arasındaki boşluktan zıt yönlerde akar. Isı transferini maksimize etmek için farklı tasarımlar uygulanabilir ve cihazlar seri veya paralel şekilde bağlanabilir. Çeşitli sistemlerde kullanılabilen bu tip ısı değıştircilerin hesaplamaları diğeri türleri göre daha basittir ve kolay sökölüp takılabildikleri için temizlikleri de oldukça pratiktir.



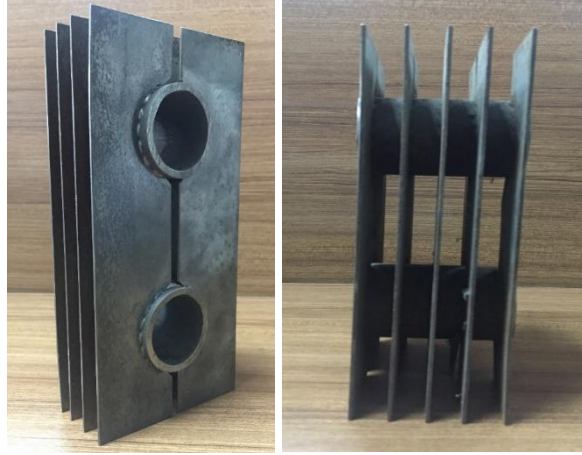
Görsel 3. Düz Boru

1.3.2. Double S Finli Borulu Ekonomizerler

Endüstriyel kazan sistemlerinde, genellikle kanatlı borulu ekonomizerler tercih edilmektedir. Bu tip ekonomizerlerde, sistemin çalışma sıcaklığına bağlı olarak boru ve kanat malzemesi uygun şekilde seçilmektedir.

Duman gazından suya ısı transferi gerçekleştiğinde, ısı iletimi duman gazı tarafında su tarafına kıyasla oldukça düşük olur. Bu nedenle, duman gazı tarafında kanatlı borular kullanılarak ısı transfer yüzey alanı artırılmakta ve böylece toplam ısı geçiş miktarı yükseltilmektedir. Ancak kanatlı borulu yapılar, toz ve partikül içeriği yüksek olan ortamlardan olumsuz etkilenir. Bu nedenle, katı yakıtla çalışan kazanlarda kanatlı borulu ekonomizerlerin kullanımı önerilmez. Sıvı yakıtlı sistemlerde, oluşabilecek kurum ve atık birikimini önlemek amacıyla kanatlıklar arası mesafe geniş tutulur, böylece temizlik ihtiyacı azaltılır ve ısı transfer performansı korunur. Tüm kanatlı ekonomizer modellerinde, düzenli temizlik ve bakım yapılabilmesi için hava veya buharla çalışan kurum temizleme

sistemleri entegre edilmiştir. Bu sayede sistemin uzun süre verimli çalışması sağlanmaktadır.



Görsel 4. Double S Finli Boru

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Ekonomizer Tasarım Analizi

Yapılan analizlere göre, ısı değiştiricilerin tasarımında en belirleyici parametreler performans ve boyutlarıdır. Tasarımsal olarak 2 farklı analiz yapılmıştır.

Isı transfer ve akış hızı ölçüm için kullanılan FireCAD programı sayesinde ısı transfer değerlendirilmesi yapılmıştır ve analiz çalışmaları yürütülmüştür. Çalışma sonucunda analiz ve modelleme işlemi Solidworks Flow Simülasyon programında yapılmıştır.

Analizde kullanılan kazanın kapasitesi 14000Nm^3 'tür.

2.1.1 Düz Borulu Ekonomizer Parametreleri

Yapılan analizdeki parametreler;

Su giriş sıcaklığı 102°C 'de 5 bar ile gerçekleştirilmiştir.

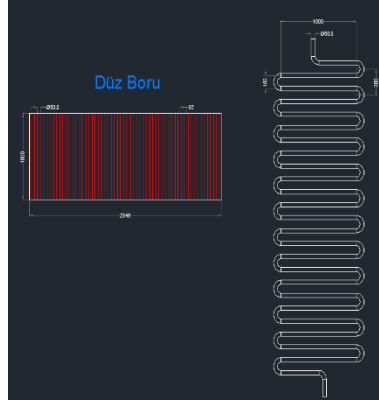
Gaz giriş sıcaklığı 200°C 'de 1 bar ile gerçekleştirilmiştir.

Boru boyu $L:1000$ milimetre

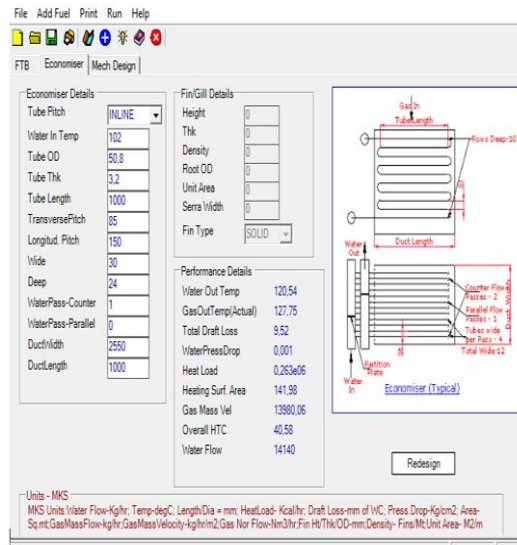
Boru çapı $\varnothing 50.8$ mm'dir.

Gaz giriş hızı $v=6.59\text{m/sn}$ 'dir.

Yapılan analiz sonucunda gaz çıkış sıcaklığı 126.5°C çıkmıştır.

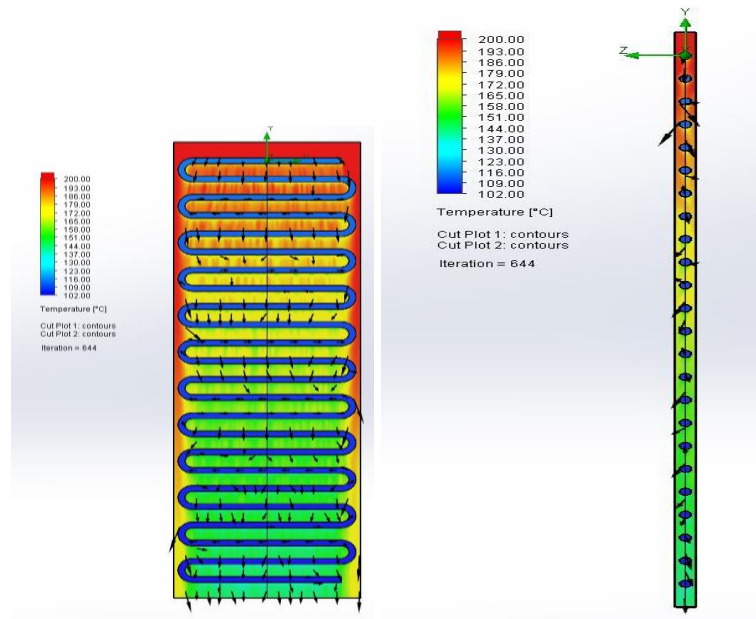


Görsel 5. Düz Boru Tasarım Parametresi

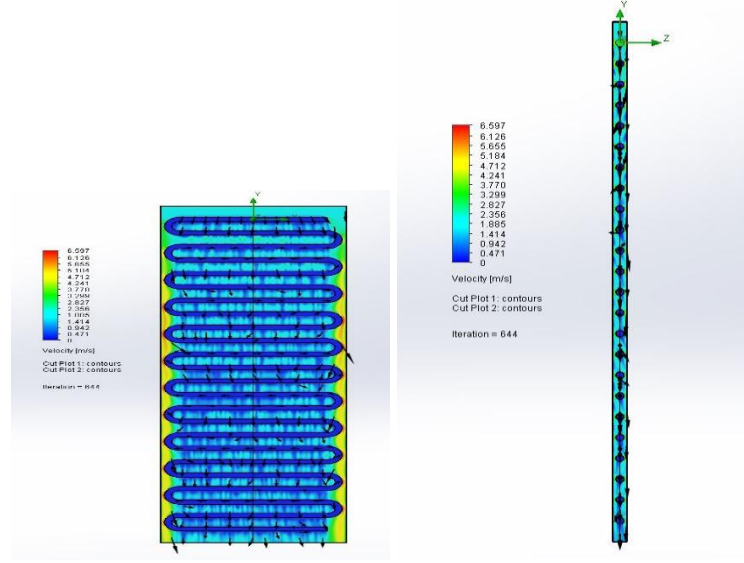


Görsel 6. Ekonomizer Performans Etkisi

FireCAD programından alınan verilere göre; basınç kaybı 9,52 kg/cm², ısıtma yüzey alanı 141,98m² bulunmuştur.



Görsel 7. Düz Borulu Ekonomizer Sıcaklık Analiz Gösterimi



Görsel 8. Düz Borulu Ekonomizer Hız Analiz Gösterimi

2.1.2 Double S Borulu Ekonomizer Parametreleri

Yapılan analizdeki parametreler;

Su giriş sıcaklığı 102°C’de 5 bar ile gerçekleştirilmiştir.

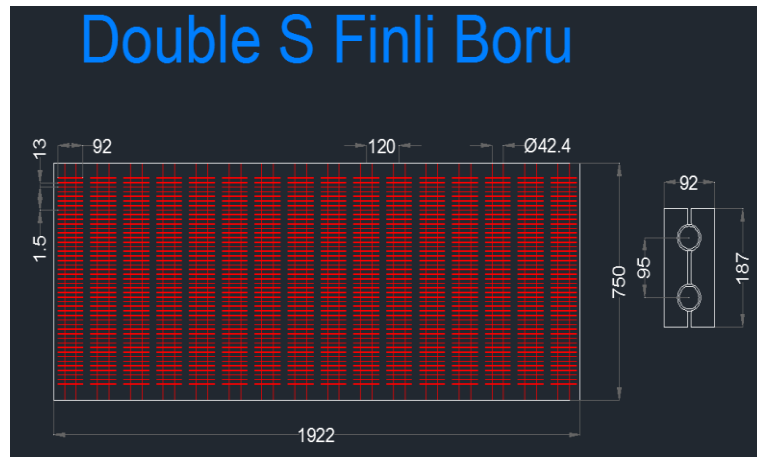
Gaz giriş sıcaklığı 200°C’de 1 bar ile gerçekleştirilmiştir.

Boru boyumuz L: 750 milimetre

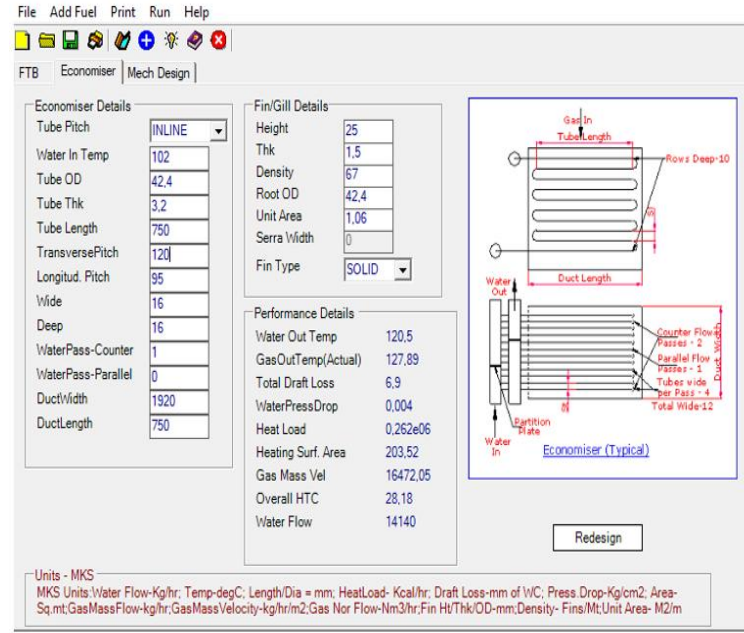
Boru çapı Ø42.4 mm’dir.

Gaz giriş hızı v=6.38m/sn’dir

Yapılan analiz sonucunda gaz çıkış sıcaklığı 127°C çıkmıştır.

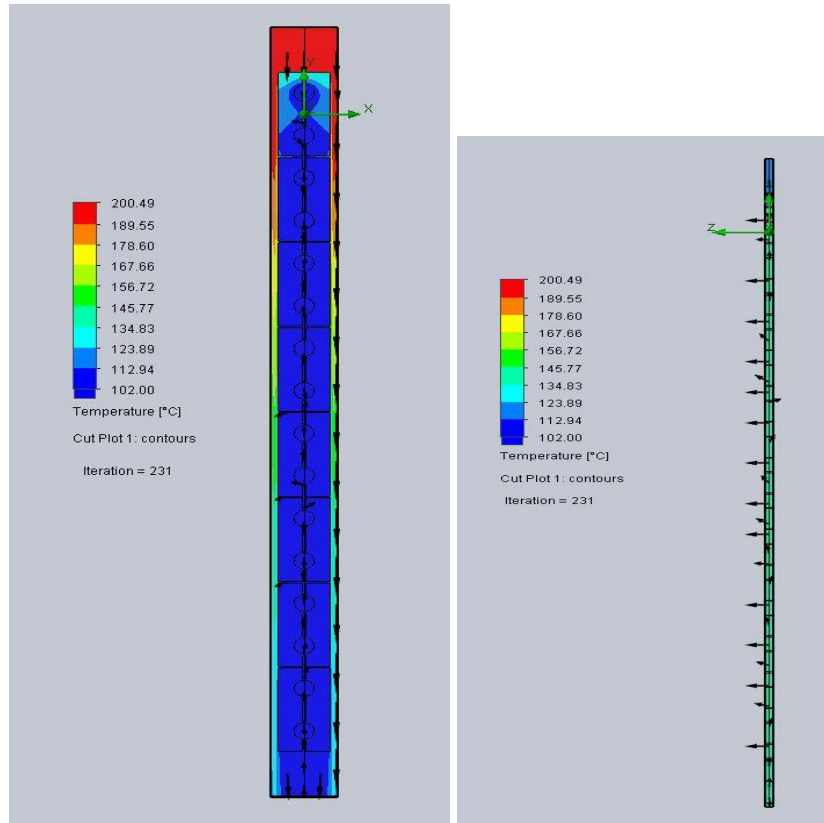


Görsel 9. Double S Finli Boru Tasarım Parametresi

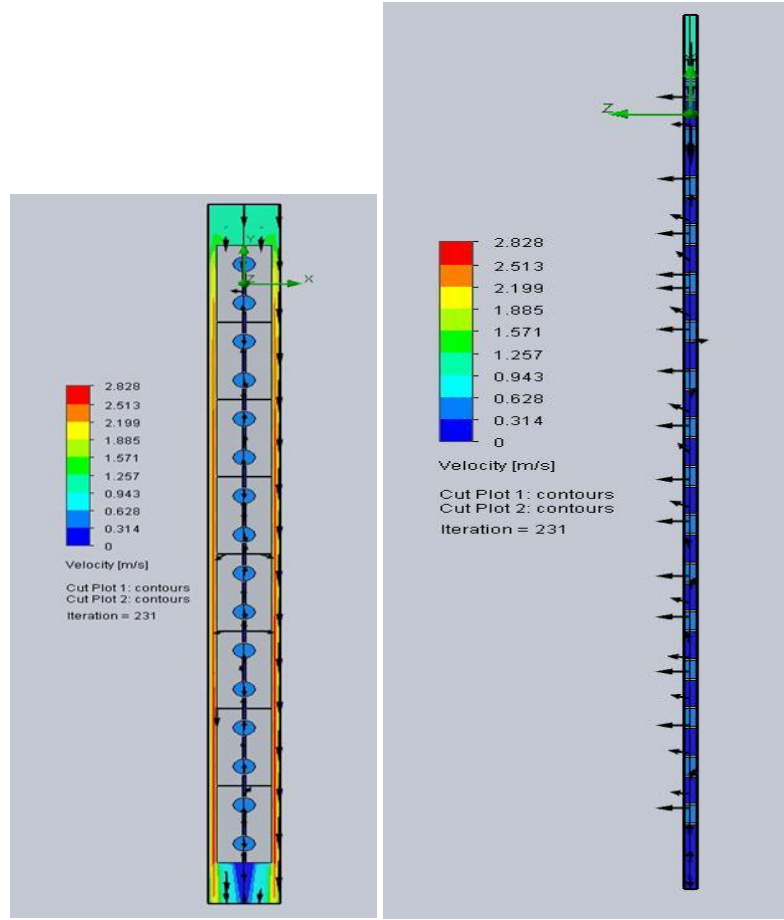


Görsel 10. Ekonomizer Performans Etkisi

FireCAD programından alınan verilere göre; basınç kaybı 6,9 kg/cm², ısıtma yüzey alanı 203,52 m² bulunmuştur.



Görsel 11. Double S Finli Borulu Ekonomizer Sıcaklık Gösterim Analizi



Görsel 12. Double S Finli Borulu Ekonomizer Hız Gösterim Analizi

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan Solidworks Flow Simulation analizi ile FireCAD ekonomizer performans ölçüm programı sonuçlarına göre;

Basınç kaybının en düşük değeri double s finli borunun olduğu sistemde olmuştur. Basınç kaybı düz borulu sistemde 9.52kg/cm², double s finli boruda ise 6.9 kg/cm² olmuştur.

Aynı sıcaklığa sahip gaz ve su akışkanlarında farklı yüzey alanları verileri tespit edilmiştir. Düz borulu ekonomizerde 141.98m², double s finli borulu ekonomizerde 203.52m² elde edilmiştir.

Baca gazından çıkan gazın sıcaklığı da düz borulu ekonomizerde 127.75 oC, double S finli borulu ekonomizerde 127.89 oC çıkmıştır. Yani 2 sistemde de baca gazı çıkış sıcaklığı neredeyse aynı değerlere sahip olmuştur.

Yapılan analizler ışığında boru tipini değiştirerek maliyet açısından azalmalar meydana gelmiştir. Kazan verim artışını en iyi sağlayan düz borulu ekonomizer ile elde edilmiştir. Kazan verimi artışı sayesinde yakıt tüketiminde azalmalar meydana gelmiştir. Düşük baca gazı sıcaklığı sayesinde emisyon değerlerinde azalma sağlanmıştır. Bu sayede daha çevreci sistemler oluşturulabilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Akmeşe, B., *Gaz Yakıtlı Bir Kazanda Farklı Tipteki Türbülatorlerin Termal Performansa Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya,2023.
2. Balıkcı, A., Çeri, B., Koca, T.,Kendinden Kanatlı (Finli) Borulu Ekonomizerlerin Termal Performansa Etkisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2022.
3. Çakar, N., *Bir Ekonomizer Tasarımı ve Nümerik Analizi* , Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ,2022.
4. Çeri, B., Koca, T., Farklı Açılı Kanatçıklara Sahip Türbülatorlerin Gaz Yakıtlı Kazanda Kullanımının Isı Transferine Etkisi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2022.
5. Çıtır, H., *Endüstriyel Tav Fırınında Ekonomizer Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü,Karabük Üniversitesi, Karabük, 2013.

BORU TİPİNE GÖRE EKONOMİZER PERFORMANSI

ECONOMIZER PERFORMANCE BY PIPE TYPE

Öğr. Gör. Berna AKMEŞE

Tarsus Üniversitesi,

bernaakmese@tarsus.edu.tr - 0000-0002-0454-6495

Doç. Dr. Tarkan KOCA

İnönü Üniversitesi,

tarkan.koca@inonu.edu.tr - 0000-0002-6881-4153

ÖZET

Enerji, iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifadeyle, enerji bir sistemin ya da nesnenin iş yapabilme kapasitesini belirleyen bir özelliktir. Günümüzde enerji kaynaklarının giderek azalması ve enerji maliyetlerinin artması, enerji verimliliği kavramını her zamankinden daha önemli hale getirmiştir. Özellikle sanayi tesislerinde ve enerji üretiminde kullanılan kazan sistemleri, büyük miktarda enerji tüketmekte ve önemli ölçüde atık ısı üretmektedir. Bu sistemlerde enerji kayıplarını en aza indirerek verimliliği artırmak, hem ekonomik kazanç sağlamakta hem de çevresel etkileri azaltmaktadır. Bu bağlamda, atık ısı geri kazanım sistemlerinden biri olan ekonomizerler, enerji verimliliğini artırmada önemli bir rol üstlenmektedir.

Bu çalışmada, ekonomizer sistemlerinde kullanılan farklı boru tiplerinin (düz boru ve finli boru) ısı transfer performansına olan etkileri teorik ve sayısal analizler yardımıyla incelenmiştir. Boru tipi, ısı transfer yüzeyi üzerinde doğrudan etkili olan bir parametre olup, sistem verimliliği üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle finli borular, artırılmış yüzey alanı sayesinde daha yüksek ısı transferi sağlayabilmekte, bu da daha kompakt ve verimli sistemlerin tasarlanmasına olanak tanımaktadır. Analizler, Solidworks Flow Simulation ve FireCAD programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Solidworks Flow Simulation ile borular içerisindeki akışkan davranışı, sıcaklık dağılımları ve ısı akışı gibi parametreler incelenmiş; FireCAD yazılımı ile ise kazan ve ekonomizer sisteminin genel ısı performansları hesaplanmıştır. Elde edilen veriler ışığında, farklı boru tiplerinin sistem performansına etkisi karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kazan, Ekonomizer, Isı değiştiriciler

ABSTRACT

Energy is defined as the ability to do work. In other words, energy is a property that determines the capacity of a system or object to do work. Today, the gradual decrease in energy resources and the increase in energy costs have made the concept of energy

efficiency more important than ever. Boiler systems, especially those used in industrial facilities and energy production, consume large amounts of energy and produce significant waste heat. Increasing efficiency by minimizing energy losses in these systems provides both economic gains and reduces environmental impacts. In this context, economizers, one of the waste heat recovery systems, play an important role in increasing energy efficiency.

In this study, the effects of different pipe types (straight pipe and finned pipe) used in economizer systems on heat transfer performance were examined with the help of theoretical and numerical analysis. The type of pipe is a parameter that has a direct effect on the heat transfer surface and plays a decisive role in the efficiency of the system. Finned pipes, in particular, can achieve higher heat transfer due to their increased surface area, which allows for the design of more compact and efficient systems. The analyses were performed using Solidworks Flow Simulation and FireCAD programs. With Solidworks Flow Simulation, parameters such as fluid behavior, temperature distributions and heat flux in pipes were examined; With FireCAD software, the general thermal performance of the boiler and economizer system was calculated. In the light of the data obtained, the effect of different pipe types on system performance was evaluated comparatively.

Key Words: Boiler, Economizer, Heat exchangers

1. GİRİŞ

Isı değiştiricileri, farklı sıcaklıklarda olan ve birbirine karışmayan akışkanlar arasındaki ısı transferini sağlayan cihazlardır (Çeri, B., Koca, T.,2022). Isı değiştiricilerinin kullanım alanlarına örnek olarak; termik santraller, ısıtma, ilaç endüstrisi, taşıtlarda, demir elik endüstrisi, soğutma tesisatları vb. verebilir. Kullanım yerlerine göre değişik tiplerde imalatları yapılabilmektedir. Isı değiştiricisi seçiminde etkili faktörler; akışkan sayısı, akışkanın yapısal özellikleri, akışkanların faz değişimleri, akışkanın akış şekli, ısı transfer mekanizması gibi etkenlerdir.

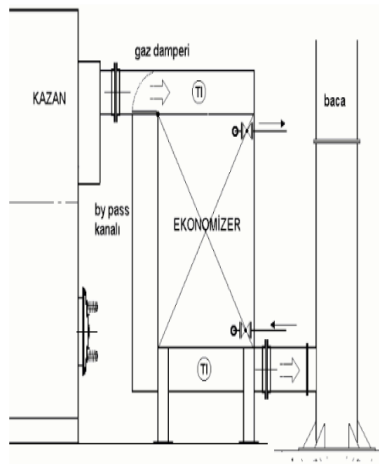
Isı değiştiricilerinde ısı taşınım katsayısının yüksek olması istenilmektedir (Akmeşe, 2023). Isı değiştiricilerinde, boruların iç yüzeyinden yüksek basınçlı gazlar geçerken, dış yüzeyinde daha düşük basınçlı gazlar dolaır. Bu durum, boru içindeki ısı transfer katsayısının dış tarafa göre daha yüksek olmasına neden olur. Borunun dış yüzeyindeki ısı transfer katsayısını artırmak için, boru üzerine çapraz akış yönlendirmesi uygulanabilir.

Enerji geri kazanımı, hem maliyetleri düşürerek işletmelerin rekabet gücünü koruması hem de emisyonları azaltarak çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından günümüzde büyük önem taşımaktadır. Bu ereve, özellikle fosil yakıt tüketiminin yoğun olduğu kazan sistemlerinde, enerji verimliliğini artırmaya yönelik teknolojiler büyük önem kazanmıştır. Bu teknolojilerin başında yer alan ekonomizerler, atık baca gazlarındaki ısının geri kazanılmasında etkin bir rol oynar.

Ekonomizerler, kazan sistemlerinden çıkan yüksek sıcaklıktaki baca gazlarının içerdiği atık ısıyı geri kazanarak, bu ısıyı kazan besleme suyuna aktaran ısı değiştirici cihazlardır (Balıkcı, A., Çeri, B., Koca, T. (2022). Bu sayede, su kazana girmeden önce belirli bir sıcaklığa ulaır ve bu ön ısıtma işlemi sayesinde yakıt tüketimi azalırken sistem verimliliği artar. Ekonomizerlerde kazanılan ısı, kazan besleme suyuna verilebileceği gibi, tesiste ısıtma, banyo, yıkama, vb. amaçlar için kullanılacak suya da verilebilir. (Çıtır, H., (2013).

Çakar, N. (2022) çalışmasında ekonomizer tasarımında LMTD ve ε -NTU yöntemleri kullanılmış, 120 kanatçıklı serpantinli, 6 geçişli ve 5 sıralı bir sistem tasarlamıştır. Etkenliği 0,71 olan bu sistemde, bakır malzeme tercih edilmiştir. 500 litrelik su, 435 saniyede 20°C'den 60°C'ye ısıtılmış, baca gazı sıcaklığı 71,2°C'den 50°C'ye düşürülmüştür. Sistem, ANSYS CFD ile analiz edilmiş ve teorik sonuçlarla uyumlu bulunmuştur. Özağdaş, E. (2020) çalışmasında, doğal gazla çalışan bir kazanda oluşan atık baca gazı ısısından yararlanılarak bir ekonomizer tasarlanmış ve sistemin ekonomik verimliliği incelemiştir. Tasarım sürecinde logaritmik ortalama sıcaklık farkı ve NTU yöntemi kullanılmıştır. Ekonomizer, paslanmaz çelik yatay borulardan oluşturulmuş olup, yoğunlaşmaz tiptedir. Sistemin uygulanabilirliği, kazan bacalarındaki ısı kaybının geri kazanımı ile değerlendirilmiş ve amortisman süresi ile ekonomik ömrü analiz edilmiştir.

Enerji geri kazanımı sağlayan bu sistemler, başta buhar kazanları olmak üzere, kızgın yağ, sıcak su ve kızgın su kazanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.



Görsel 1. Tipik Bir Ekonomizer Uygulaması Yerleşim Şeması

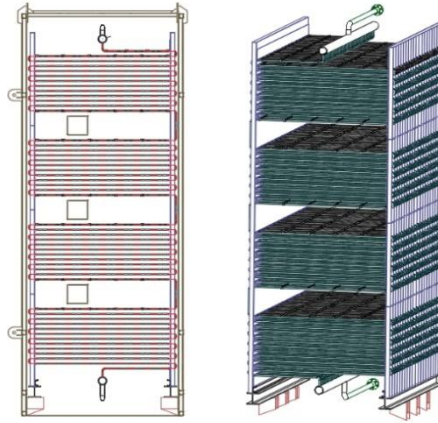
Ekonomizerlerde ısı transferi esas olarak konveksiyon yoluyla gerçekleşmektedir. Duman gazlarına göre, suyun ısı iletim katsayısı daha yüksek olduğundan, sistemdeki toplam ısı transfer katsayısı, genellikle duman gazı tarafındaki katsayıya yakın değerlerde oluşur. Bu katsayının değeri; duman gazının giriş hızı ve sıcaklığı, ekonomizerin geometrik tasarımı, ısı transfer yüzeylerinin temizlik durumu gibi birçok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Isı transferini artırmak amacıyla, özellikle duman gazı tarafında kanatlı borular tercih edilmektedir. Bu tür borular, yüzey alanını artırarak ısı geçişini iyileştirirken, aynı zamanda yüzey sıcaklıklarını yükselttiği için yoğunlaşma riskini de azaltır. Bu da özellikle düşük sıcaklık korozyonunun önüne geçilmesinde önemli bir avantaj sağlar. Tipik olarak, ekonomizerlerde duman gazı hızı 4 ila 15 m/s aralığında seçilir.

1.4. Boru Tiplerine Göre Ekonomizer Çeşitleri

1.1.1 Düz Borulu Ekonomizerler

Kömür, fuel oil, vb. yakıtlardan elde edilen nispeten kirli duman gazlarından ısı geri kazanımı amacıyla kullanılırlar. Çıtır, H., (2013). Düşük basınçlı sistemlerde düz borulu tipler, yüksek basınçlı uygulamalarda ise dirsek dönüşlü (U borulu) tipler tercih edilir.

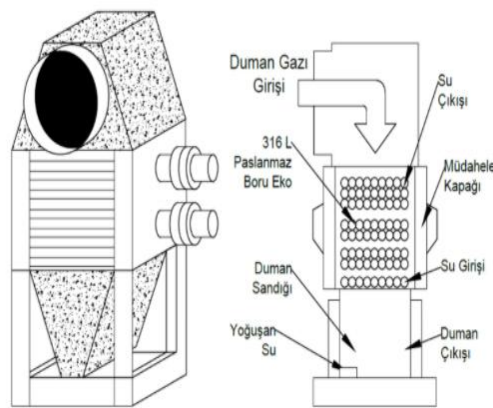


Görsel 2. Düz Borulu Ekonomizer

Bu tip ısı değıştircilerinde, akışkanlardan biri iç borudan, diğeri ise iç ve dış boru arasındaki boşluktan farklı yönlerde akar. Isı transfer verimini artırmak amacıyla seri veya paralel bağılı çeşitli tasarım uygulamaları geliştirilmiştir. Birçok farklı sistemde kullanım alanı bulur. Teorik hesaplamaları, diğeri ısı değıştirci tiplerine göre daha kolaydır; ayrıca, kolay sökülüp takılabilme özelliğı temizlik ve bakım işlemlerini de pratik hale getirir.



Görsel 3. Düz Boru



Görsel 4. Düz Borulu Ekonomizer Şematik Gösterimi

1.1.2 Finli Borulu Ekonomizer

Finli borular çeşitleri farklı imalat yöntemleriyle üretilerek kullanıma sunulur. Finli borular;

- Standart Punta Kaynaklı
- Sürekli Kaynaklı
- Yüksek Frekans Kaynaklı
- G-Finli
- L- Finli şeklinde sınıflandırılırlar.

Bu sistemlerde, ısı transfer yüzeyini artırmak amacıyla boruların dış yüzeyine fin (kanatçık) adı verilen ince metal yüzeyler eklenir. Böylece daha fazla ısı transferi sağlanarak enerji verimliliği artırılır.



Görsel 5. Finli Boru

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Düz Borulu Ekonomizer Parametreleri

Yapılan analizdeki parametreler;

Su giriş sıcaklığı 102°C’de 5 bar ile gerçekleştirilmiştir.

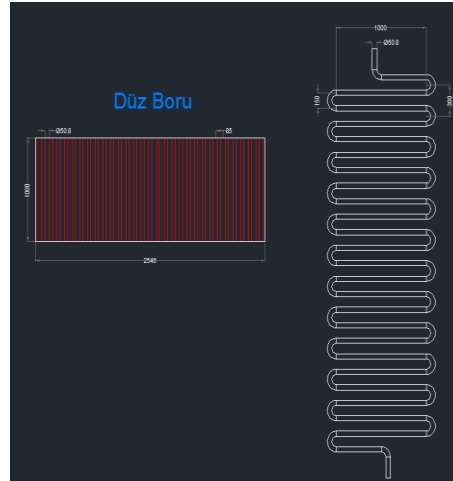
Gaz giriş sıcaklığı 200°C’de 1 bar ile gerçekleştirilmiştir.

Boru boyu L:1000 milimetre

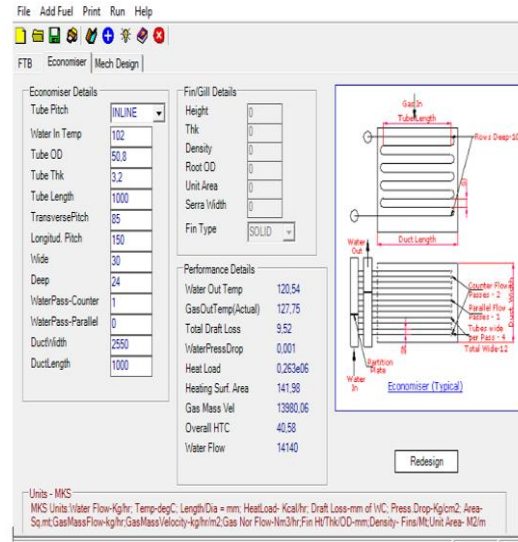
Boru çapı Ø50.8 mm’dir.

Gaz giriş hızı $v=6.59\text{m/sn}$ ’dir.

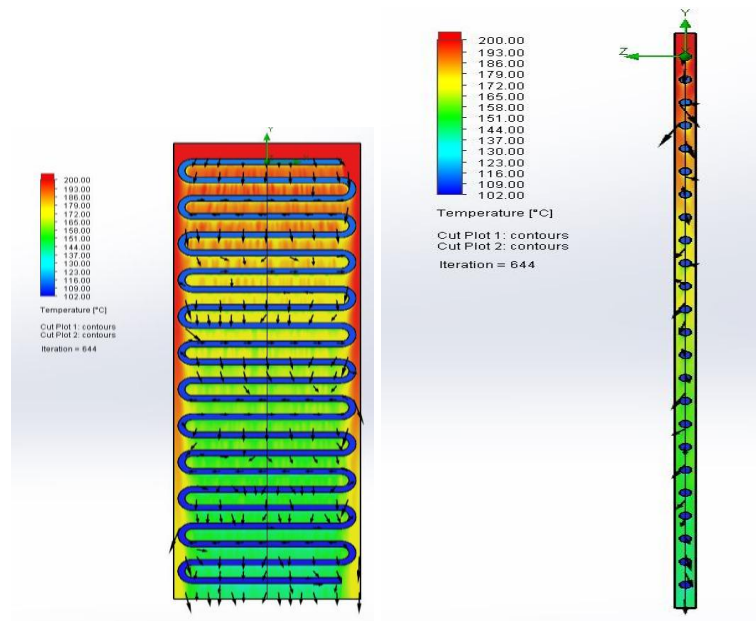
Yapılan analiz sonucunda gaz çıkış sıcaklığı 126.5°C çıkmıştır.



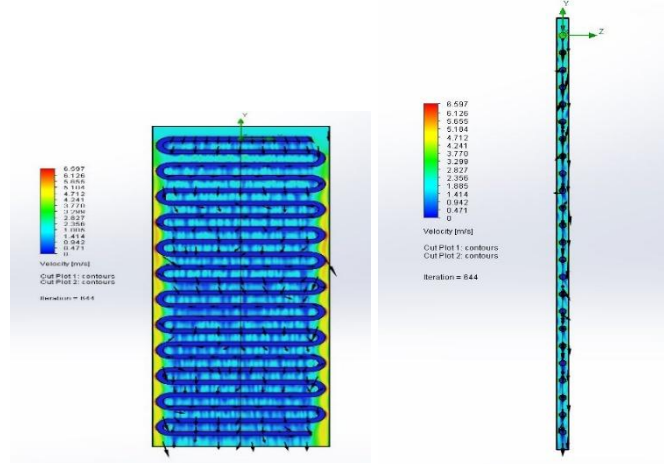
Görsel 6. Düz Boru Tasarım Parametresi



Görsel 7. Ekonomizer Performans Etkisi



Görsel 8. Düz Borulu Ekonomizer Sıcaklık Analiz Gösterimi



Görsel 9. Düz Borulu Ekonomizer Hız Analiz Gösterimi

2.2. Finli Borulu Ekonomizer Parametreleri

Yapılan analizdeki parametreleri;

Su giriş sıcaklığı 102°C’de 5 bar ile gerçekleştirilmiştir.

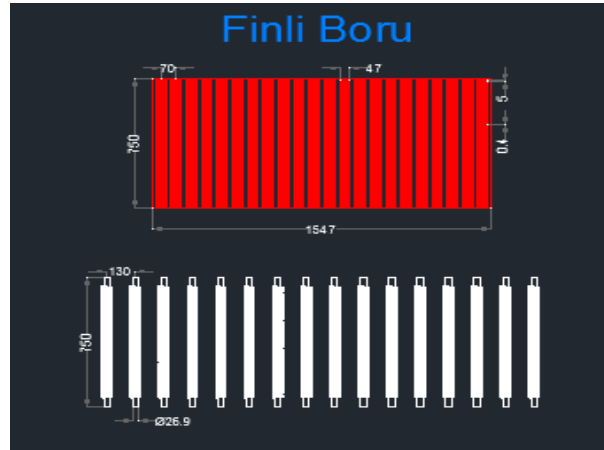
Gaz giriş sıcaklığı 200°C’de 1 bar ile gerçekleştirilmiştir.

Boru boyu L: 750 milimetre

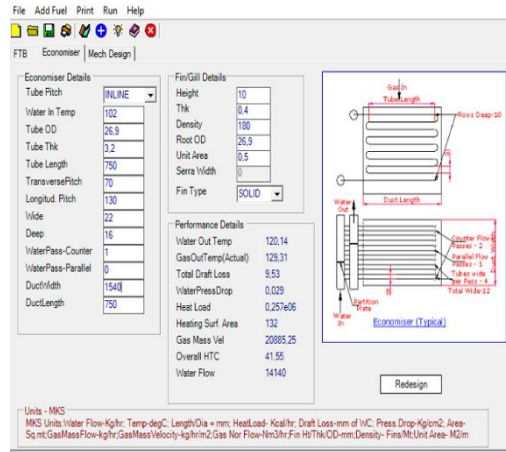
Boru çapı Ø26.9 mm’dir.

Gaz giriş hızı $v=8.16\text{m/sn}$ ’dir

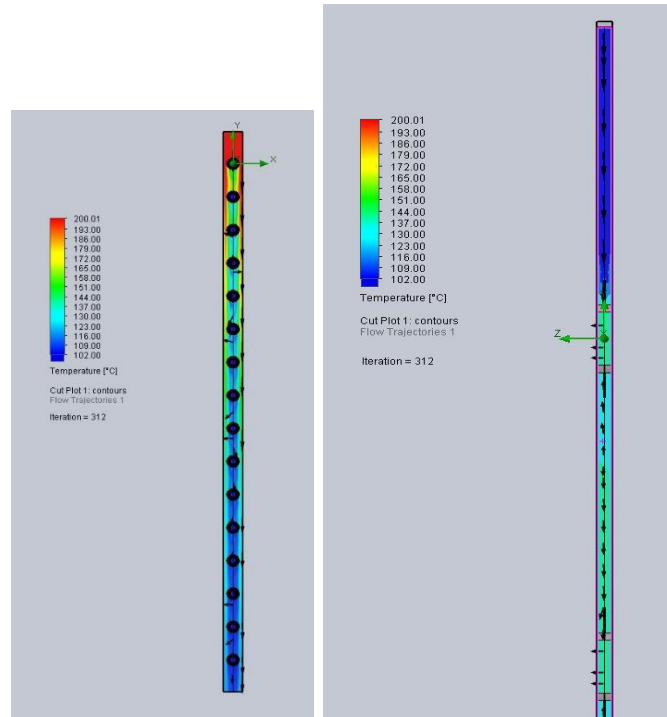
Yapılan analiz sonucunda gaz çıkış sıcaklığı 128°C çıkmıştır.



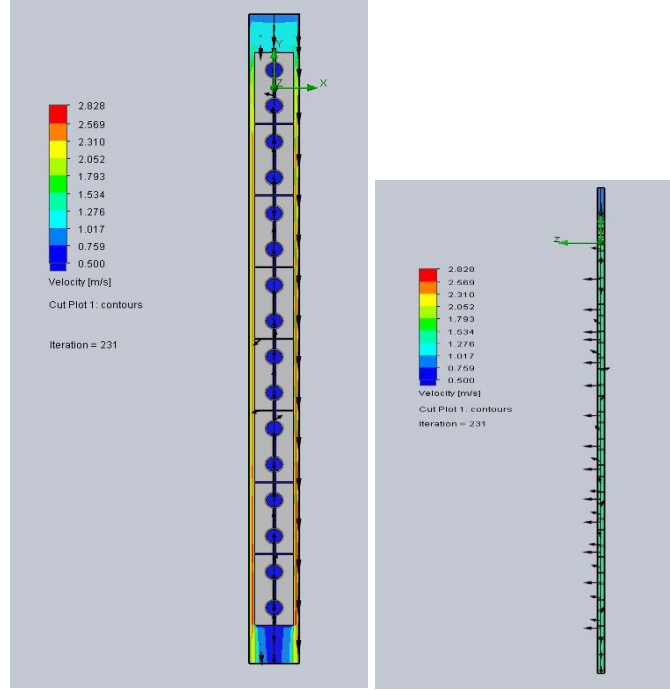
Görsel 10. Finli Boru Tasarım Parametresi



Görsel 11. Ekonomizer Performans Etkisi



Görsel 12. Finli Borulu Ekonomizer Sıcaklık Gösterim Analizi



Görsel 13. Finli Borulu Ekonomizer Hız Gösterim Analizi

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan Solidworks Flow Simulation analizi ve FireCAD ekonomizer performans ölçüm programı sonucunda;

Basınç kaybı en düşük Double S Finli Borulunun olduğu sistemde olmuştur. Basınç kaybı düz borulu sistemde 9.52 kg/cm^2 , finli borulu sistemde 9.53 kg/cm^2 olmuştur.

Aynı sıcaklığa sahip gaz ve su akışkanlarında farklı yüzey alanları elde edilmiştir. Düz borulu ekonomizerde 141.98 m^2 , finli borulu ekonomizerde 132 m^2 elde edilmiştir.

Baca gazından çıkan gazın sıcaklığı da düz borulu ekonomizerde $127.75 \text{ }^\circ\text{C}$, finli borulu ekonomizerde $129.31 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye çıkmıştır. Yani 2 sistemde de baca gazı çıkış sıcaklığı hemen hemen aynı değerlere sahip olmuştur.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yapılan analizler ışığında boru tipini değiştirerek maliyet açısından azalmalar meydana gelmiştir. Kazan verim artışını en iyi sağlayan düz borulu ekonomizer ile elde etmişizdir. Kazan verimi artışı sayesinde yakıt tüketiminde azalmalar meydana gelmiştir. Düşük baca gazı sıcaklığı ve buna bağlı olarak azalan emisyon değerleri sağlanmıştır. Bu sayede daha çevreci sistemler oluşturulabilmektedir.

Yapılan analiz sonucunda en iyi hızı finli borulu ekonomizerde elde edilmiştir. Finli Boruda basınç kayıpları ve ısı transferi artmaktadır.

Ekonomizer, baca gazı sıcaklığını düşürdüğü için, baca gazında bulunan fazla hava da soğutularak dışarı atılmaktadır. Bu şekilde hava fazlalık katsayısının artışından kaynaklanan verim kaybı önemli miktarda azaltılmaktadır.

KAYNAKÇA

6. Akmeşe, B., *Gaz Yakıtlı Bir Kazanda Farklı Tipteki Türbülatorlerin Termal Performansa Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 2023.
7. Aktacir, M. A., Enerji Verimli Binalarda Farklı Ekonomizer Kontrol Yöntemlerinin Performans Değerlendirilmesi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 2011.
8. Balıkcı, A., Çeri, B., Koca, T., Kendinden Kanatlı (Finli) Borulu Ekonomizerlerin Termal Performansa Etkisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2022.
9. Çakar, N., *Bir Ekonomizer Tasarımı ve Nümerik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2022.
10. Çeri, B., Koca, T., Farklı Açılı Kanatçıklara Sahip Türbülatorlerin Gaz Yakıtlı Kazanda Kullanımının Isı Transferine Etkisi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2022.
11. Çıtır, H., *Endüstriyel Tav Fırınında Ekonomizer Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2013.
12. Özağdaş, E., *Bölgesel Isıtma Sisteminde Ekonomizer Tasarımı ile Enerji Geri Kazanım Potansiyelinin Araştırılması*, Yüksek lisans tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars, 2020.

YAPIŞTIRICI İLE BİRLEŞTİRİLMİŞ BAĞLANTILARDA BİNDİRME BÖLGESİNDE TAKVİYE METAL KULLANIMININ BAĞLANTI DAYANIMINA ETKİLERİNİN ANALİZİ

Makine Müh. Rumeysa ÇELİK

Fırat Üniversitesi

rumeyscelk@gmail.com – 0009-0002-4232-5922

Prof. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ

Fırat Üniversitesi

mysolmaz@firat.edu.tr - 0000-0001-6394-0313

ÖZET

Yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantıların mekanik davranışları, bağlantıyı oluşturan yapışan yüzeyler ile yapıştırıcı malzemenin özelliklerine ve geometrik şekillerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada, yapıştırıcı malzeme olarak Neoxil CE 92 N8, yapışan ve takviye elemanı olarak ise yapı çeliği kullanılmıştır. Analizlerde, sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan ANSYS Workbench yazılımı tercih edilmiştir.

Yapılan analizlerde; bindirme mesafesi (a), yapıştırıcı kalınlığı (n), yapışan malzeme kalınlığı (t) ve takviye uzunluğu (d) gibi parametrelerin bağlantı dayanımına etkileri incelenmiş, elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basit bindirmeli bağlantı, Yapıştırıcı bağlantı, Bindirme mesafesi, Takviye uzunluğu,

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF REINFORCEMENT METAL USAGE IN THE OVERLAP REGION ON THE STRENGTH OF ADHESIVE-BONDED JOINTS

ABSTRACT

The mechanical behavior of adhesively bonded joints varies depending on the properties and geometrical configurations of the adherend surfaces and the adhesive material. In this study, Neoxil CE 92 N8 was used as the adhesive material, while structural steel was employed as both the adherend and reinforcement material. The analyses were conducted using the ANSYS Workbench software, which is based on the finite element method.

In the analyses, the effects of parameters such as overlap length (a), adhesive thickness (n), adherend thickness (t), and reinforcement length (d) on the joint strength were examined, and the results obtained were comparatively evaluated.

Keywords: Single lap joint, Adhesive joint, Overlap length, Reinforcement length

4. GİRİŞ

Yapıştırıcı bağlama, yüzeyler arasında katılaşarak kimyasal bir bağ oluşturan yapıştırıcı bir malzeme kullanılarak iki yüzeyi bir arada tutma, bir bütün oluşturma işlemidir.

Yapıştırıcıların makine ve yapı elemanlarının bağlantılarında kullanımı giderek artmaktadır. Özellikle uzun zaman periyotlarında bağlantı güvenilirliğinin gerektirdiği havacılık, uzay, otomotiv, altyapı sistemi, tıp, elektronik paketleme, spor, inşaat ve deniz endüstrilerinde yapıştırıcılar, gün geçtikçe geleneksel bağlantı yöntemleri olan civata, perçin, lehim ve kaynağın yerini almaktadır (Adin,2007).

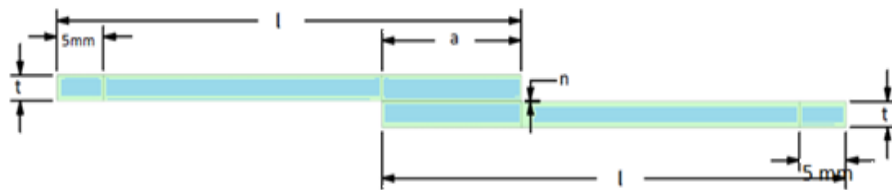
Malzemelerin birleştirilmesinde yapıştırıcı kullanmak, mekanik bağlantı elemanları kullanılmasına kıyasla daha fazla avantaj sunar. Yapıştırıcı, yük ve gerilmeleri birleşim yüzeyinin tamamına yayarak dinamik ve statik yüklerin düzgün dağılmasını sağlar, gerilmelerin bir noktada yoğunlaşmasını engeller. Bu sebeple, yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılar mekanik yöntemlerle (kaynak, perçin, lehim) birleştirilen bağlantılara göre bükülme ve titreşime karşı daha dayanıklıdır (Solmaz,2018).

Bir yapıştırıcı ASTM tarafından ‘yüzey teması ile malzemeleri bir arada tutabilen madde’ olarak tanımlanmıştır (ASTM D1002, 1983). Yapıştırıcının bir başka tanımı ise, ‘yüzeylere uygulandığında onları bir arada tutabilen ve ayrılmayı önleyen polimerik malzemedir. (Adams and Wake, 1984).

Bu çalışmada basit bindirmeli bir bağlantıda bindirme bölgesinde takviye malzeme kullanımının bağlantı dayanımına olan etkileri incelenmiştir. Çalışmada takviye malzeme kullanımına ilave olarak yapışan malzeme ve yapıştırıcı kalınlığı, bindime bölgesi ve takviye uzunluğunun dayanıma olan etkileri de analiz edilmiştir.

5. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada yapıştırıcı ile birleştirilmiş basit bindirmeli bağlantılar sayısal olarak analiz edilmiştir. Basit bindirmeli bağlantının geometrik modeli, teknik resimleri (Görsel 1) Ansys Workbench’te oluşturulmuştur. Görsel 1’de gösterilen model baz alınarak, yapışan malzeme kalınlığı (t), bindirme mesafesi (a) ve yapıştırıcı kalınlığı (n) değerleri değiştirilip (Çizelge 1 ve Çizelge 2) farklı parametrelerde toplam 9 analiz gerçekleştirilmiştir.



Görsel 1. Bağlantı Tasarımı ve Teknik Çizimi

Yapışan malzemelerin kalınlığını (t) 2 mm ve 3 mm olarak değiştirilerek farklı ölçülerde seçilmiştir. t kalınlığının değişimi Çizelge 1’de verilmiştir. Yapıştırıcı için bindirme mesafesi (a) ve yapıştırıcı kalınlığı (n) Çizelge 2’de verilmiştir.

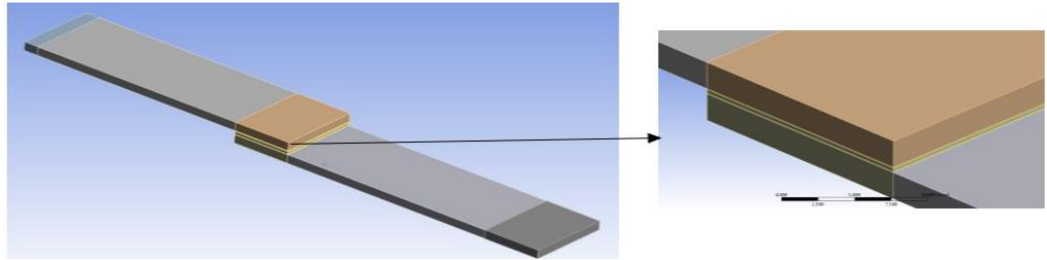
Çizelge 1. Yapışan malzemenin kalınlık ölçüleri

t (mm)	t (mm)
2,00	3,00

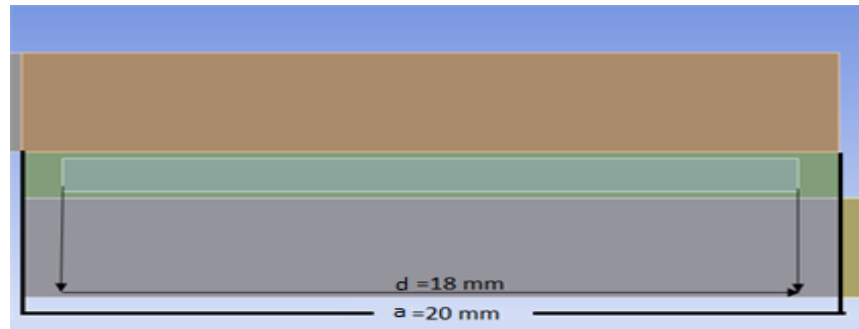
Çizelge 2. Yapıştırıcı için bindirme mesafesi ve kalınlık ölçüleri

Yapıştırıcı Kalınlığı	Bindirme Mesafesi		
	$a=15$ mm	$a = 18$ mm	$a=20$ mm
n_1 (mm)	0,1	0,1	0,1
n_2 (mm)	0,2	0,2	0,2

Bu parametrelere ek olarak bindirme bölgesinde takviye malzemesi kullanılarak bu takviye malzemesinin uzunluğu (d) değiştirilip analizler gerçekleştirilmiştir. Takviyeli bağlantı modelinin resmi Görsel 2’de ve Görsel 3’te verilmiştir. Takviye malzemesinin uzunluğunun değişimi Çizelge 3’te verilmiştir.



Görsel 2. Takviyeli bağlantı modelinin resmi



Görsel 3. Takviyeli bindirme bölgesinin önden görünümü

Çizelge 3. Takviye uzunluğunun ölçüleri

d (mm)	d (mm)	d (mm)
15	18	20

Yapışan malzeme ve takviye malzemesi olarak yapı çeliği, yapıştırıcı malzeme olarak NEOXİL CE 92 N8'in özellikleri kullanılmıştır. Yapı çeliğinin özellikleri Çizelge 4'te NEOXİL CE 92 N8'in özellikleri ise Çizelge 5 ve Görsel 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Yapışan malzemelere ait mekanik özellikler

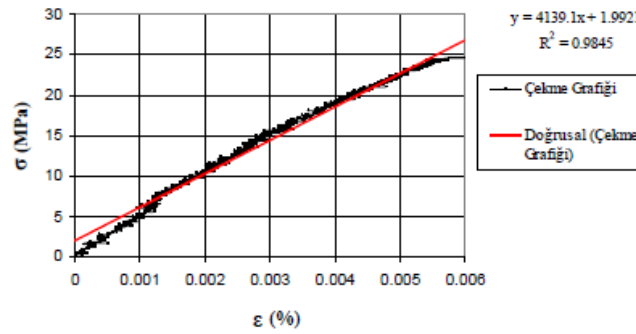
Özellikler	Malzeme
	Yapı Çeliği
Elastite Modülü (MPa) - E	200000 ^a
Çekme Mukavemeti (MPa) – σ_u	460 ^a
Akma Mukavemeti (MPa) – σ_y	250 ^a
Kayma Modülü (MPa) - G	76923 ^a
Poisson Oranı - ν	0,30 ^a

^a Ansys Workbench

Çizelge 5. Yapıştırıcıya ait mekanik özellikler

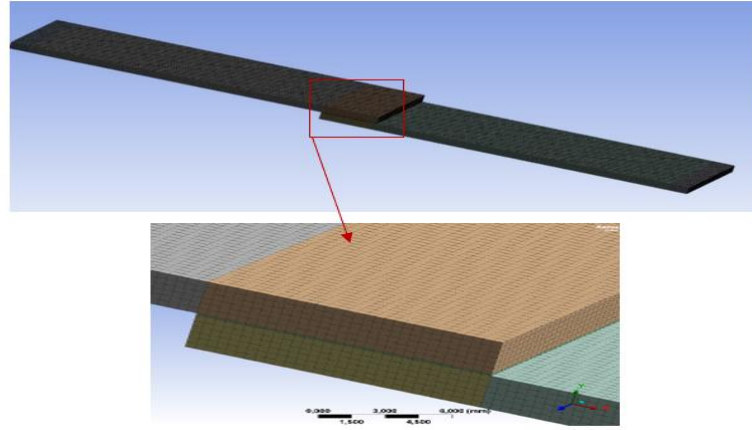
Özellikler	Malzeme
	Neoxil CE92N8
Elastite Modülü (MPa) - E	4152 ^b
Poisson Oranı - ν	0,35 ^b
Çekme Mukavemeti (MPa) – σ_u	24,7 ^b
Kayma Modülü (MPa) - G	1540 ^b

^b Solmaz, 2008



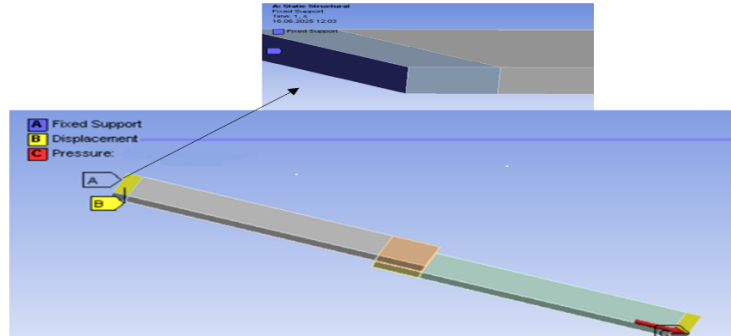
Görsel 4. NEOXİL CE 92 N8'in gerilme-şekil değiştime diyagramı (Solmaz, 2008).

Analizde kullanılacak geometri ANSYS Workbench üzerinden oluşturulmuştur. Yapışan malzeme ve yapıştırıcı malzeme özellikleri programa tanımlanmıştır. Modelin meshlenmiş görüntüsü Görsel 5'te verilmiştir.



Görsel 5. Örnek mesh yapısı

Modeller oluşturulduktan sonra geometri sonlu elemanlara bölünerek sınır şartları uygulanmış (Görsel 6) ve analiz yapılmıştır. Analizde sınır şartları Görsel 5'te görüldüğü üzere üst yapışan parça tek taraftan ankastre mesnet olarak sabitlenmiş olup alt ve üst yapışan parçalar eğilme momentini engellemek için alt ve üst yüzeylerinden $u_y=0$ olacak biçimde 5 mm mesafede sabitlenmiştir. Alt yapışan parça aksenal çekme yüküne maruz bırakılmıştır.



Görsel 6. Örnek sınır şartları

Yapıştırıcı birleştirmeli bağlantı yüklendiğinde yapıştırıcı tabakasında üç eksenli gerilme durumu oluşmaktadır. Eş değer gerilmeler (σ_{eq}), Von Mises akma kriterine göre hesaplanmış ve bu eş değer gerilmeler yapıştırıcı tabakanın herhangi bir noktasında yapıştırıcının çekme dayanımına ($\sigma_{Neoxil} = 24,7 \text{ MPa}$) ulaştığında hasarın meydana geldiği kabul edilmiştir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

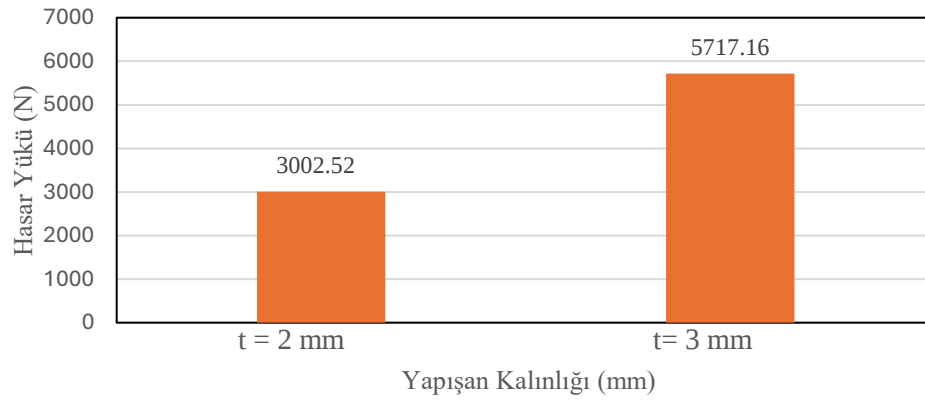
Bu araştırmada, yapıştırıcı ile birleştirilen bağlantıların mekanik davranışlarını derinlemesine incelemek amacıyla ANSYS Workbench programında modellemesi yapılan basit bindirmeli bağlantılarda, bindirme mesafesi, yapıştırıcının kalınlığının değiştirilmesi, bindirme kalınlıkları, bağlantının takviyelendirilmesi sağlanarak farklı parametrelerde aksenal çekme yükü altında lineer elastik gerilme analizi yapılmıştır.

3.1 Yapışan malzeme (adherent) kalınlığının (t) dayanıma olan etkisi

Parametre olarak belirlenen t değerinin değişimi nedeniyle uygulanan hasar yükü, maksimum gerilme değerleri ve bu değerlerin hangi elemanlarda meydana geldiği Çizelge 6 ve Görsel 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. Yapışan malzeme kalınlığına (t) bağlı olarak ortaya çıkan değerler

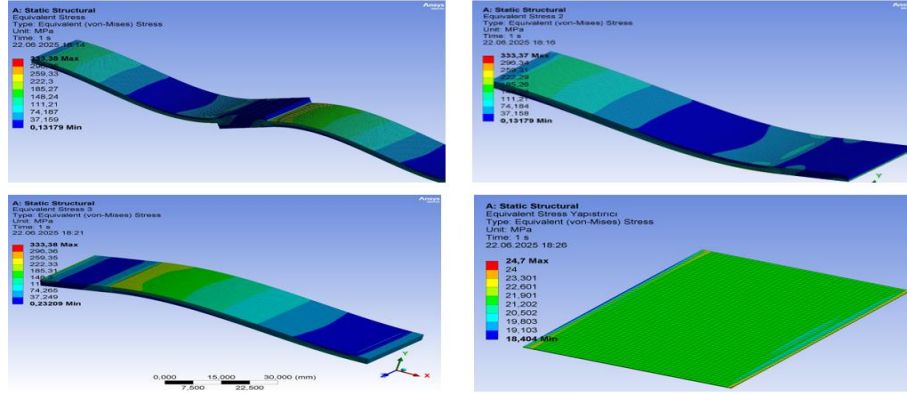
Sabit Parametreler: n=0,1 mm, a=20 mm, w=30 mm		
t (mm)	2	3
Max.Gerilme- σ (MPa)	206,67	333,38
Uygulanan Yük- P (MPa)	50,042	63,524
Hasar Yükü- F (N)	3002,52	5717,16
Adhesive- σ_{Max} (MPa)	24,7	24,7
Adherent 1- σ_{Max} (MPa)	206,67	333,38
Adherent 2- σ_{Max} (MPa)	206,67	333,38



Görsel 7. Yapışan malzeme kalınlığının (t) hasar yüküne etkisi

Yapıştırıcının kalınlığı (n) 0,1 mm, bindirme mesafesi (a) 20 mm olarak alınan, alt ve üst malzemenin kalınlığı (t) değiştirilerek yapılan analiz sonucunda kalınlık 2 mm iken alınan hasar yükü 3002.52 N, kalınlık 3 mm iken alınan hasar yükü ise 5717.16 N olarak elde edilmiştir.

Yapışan malzeme kalınlığına bağlı olarak hasar yükünün en yüksek olduğu bağlantının gerilme dağılımı Görsel 7’de verilmiştir. Yapışan kalınlığının 3 mm olması durumunda yapıştırıcının çekme dayanımını 24,7 MPa olunca bağlantının hasar yükü 5717.16 N olduğu tespit edilmiştir. Bu tasarımda maksimum gerilme değerinin 333,38 MPa olduğu görülmüştür.



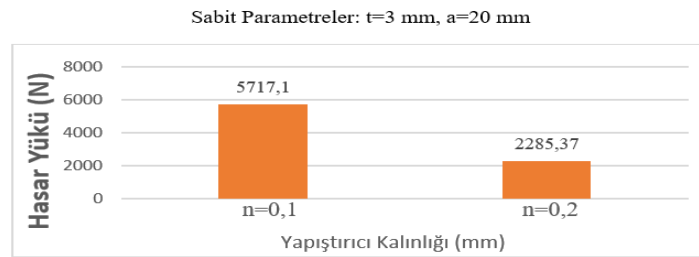
Görsel 8. $t=3$ mm, $n=0,1$ mm, $a=20$ mm ölçülerindeki modelin gerilme dağılımı

3.2 Yapıştırıcı kalınlığının (n) bağlantı dayanımına etkisi

Yapıştırıcı kalınlığının (n) değişimine göre uygulanan yük, maksimum gerilme değerleri Çizelge 7’de ve Görsel 8’de verilmiştir.

Çizelge 7. Yapıştırıcı kalınlığı (n) değişimine bağlı olarak ortaya çıkan sayısal veriler

Sabit Parametreler: $t=3$ mm, $a=20$ mm, $w=30$ mm		
n (mm)	0,1	0,2
Max. Gerilme- σ (MPa)	333,38	93,8
Uygulanan Yük- P (MPa)	63,524	25,393
Hasar Yüğü- F (N)	5717,16	2285,37
Adhesive- σ_{Max} (MPa)	24,7	24,7
Adherent 1- σ_{Max} (MPa)	333,37	93,8
Adherent 2- σ_{Max} (MPa)	333,38	93,8



Görsel 9. Yapıştırıcı kalınlığı (n) değişimi ile hasar yükü arasındaki ilişki

İkinci parametre olarak belirlenen yapıştırıcı malzeme kalınlığının (n) değişimi incelendiğinde yapıştırıcı kalınlığı artınca hasar yükünün azalmıştır. Yapıştırıcı kalınlığı değişiminin olduğu modeller incelendiğinde yapıştırıcı malzeme kalınlığı 0,1 mm iken hasar yükü 5717.16 N, yapıştırıcı malzeme kalınlığı 0,2 mm iken hasar yükü 2285.37 N’dir. Yapıştırıcı malzeme kalınlığı azaltıldığı zaman %150 oranında dayanımı arttırdığı görülmüştür.

Yapıştırıcı malzemenin kalınlık değişimine bağlı olarak hasar yükünün en yüksek olduğu modellenmenin gerilme dağılımı Görsel 8’de verilmiştir. İki analizin hasar yüklerinin karşılaştırılması ise Görsel 9’da verilmiştir. Bu analize bakıldığında yapıştırıcı malzemenin çekme dayanımının 24,7 MPa elde edilmesi için 5717.16 N’luk bir hasar yükü uygulanmıştır. Bu tasarımda maksimum gerilme 333.38 MPa olarak elde edilmiştir.

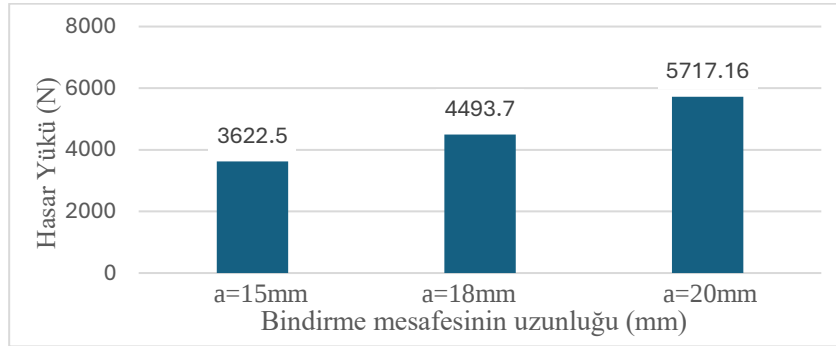
3.3 Bindirme Mesafesi (a) Değişiminin Dayanıma Etkisi

Bindirme mesafesinin dayanıma etkisini anlamak için a değerini 15 mm, 18 mm, 20 mm olarak değiştirilerek analizler gerçekleştirildi. Bindirme mesafesi (a) değişimine göre uygulanan yük, maksimum gerilme değerleri Çizelge 8 ve Görsel 10’da verilmiştir.

Çizelge 8. Bindirme mesafesinin (a) değişimine bağlı ortaya çıkan değerler

Sabit Parametreler: $t=3$ mm, $n=0,1$ mm			
a (mm)	15	18	20
Max. Gerilme- σ (MPa)	222,19	278,98	333,38
Uygulanan Yük- P (MPa)	40,25	49,93	63,524
Hasar Yüğü- F (N)	3622,5	4493,7	5717,16
Adhesive- σ_{Max} (MPa)	24,7	24,7	24,7
Adherent 1- σ_{Max} (MPa)	222,18	278,97	333,37
Adherent 2- σ_{Max} (MPa)	222,19	278,98	333,38

Sabit Parametreler: $t=3$ mm, $n=0.1$ mm



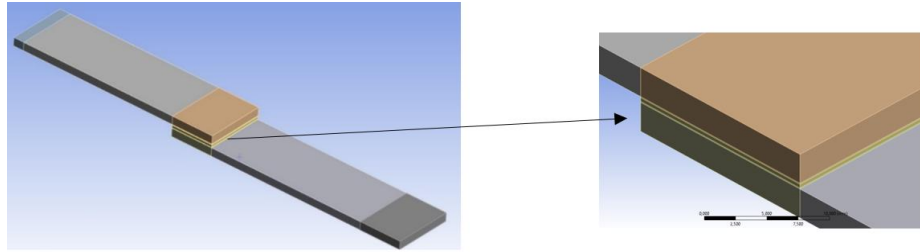
Görsel 10. Bindirme mesafesinin (a) değişimi ile hasar yükü arasındaki ilişki

Bindirme mesafesi 15 mm iken hasar yükü 3622,5 N, bindirme mesafesi 18 mm iken hasar yükü 4493,7 N, bindirme mesafesi 20 mm olduğu zaman ise analizin hasar yükü 5717.16 N olduğu Görsel 10’da görülmüştür. Bu sebeple bindirme mesafesi artışının bu tip bağlantıların dayanımını arttırıcı yönde etki ettiği belirlenmiştir. Bu tasarım Görsel 8’de verilmiş olan tasarımdır.

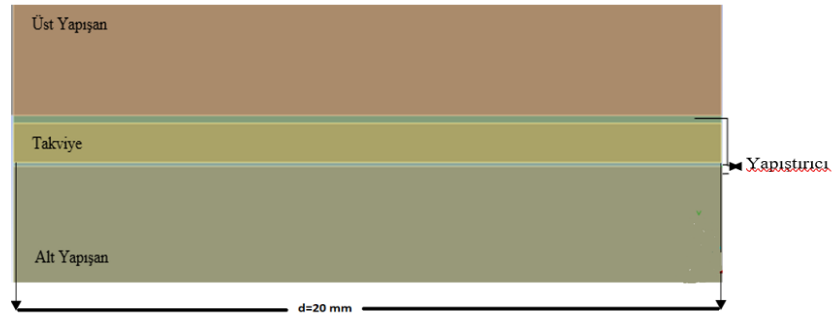
3.4 Takviyenin Bağlantı Dayanımına Etkisi

Gerçekleştirilen çalışmalara ilave olarak bindirme bölgesinde bağlantıyı takviyelendirmenin bağlantı dayanımına nasıl etki edeceği incelenmek istenmiştir. Takviyesiz olarak incelenen bağlantılarda dayanımı en yüksek olan numune ($t=3$ mm, $a=20$ mm, $n=0.1$ mm) takviyelendirme için tercih edilmiştir. Dördüncü parametre olarak ise bindirme bölgesi 1 mm kalınlığında (c) yapı çeliği ile takviyelendirilerek bu bağlantıda yine bindirme mesafesinin (a) ve takviyenin uzunluğunun (t) değişiminin bağlantı dayanımına etkisi incelenmiştir.

Görsel 11’de bindirme bölgesi takviyelendirilmiş olan modelin şekli verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere bu modelde bindirme bölgesi uzunluğu ile takviye uzunluğu eşit olarak alınmıştır.



Görsel 11. Takviyeli bağlantı modelinin resmi ($d=20$ mm)

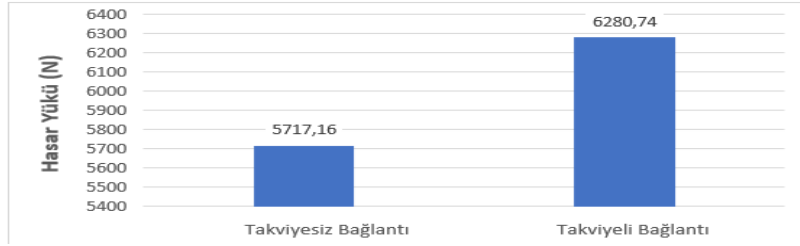


Görsel 12. Takviyeli bağlantı modeli bindirme bölgesi ($d=20$ mm)

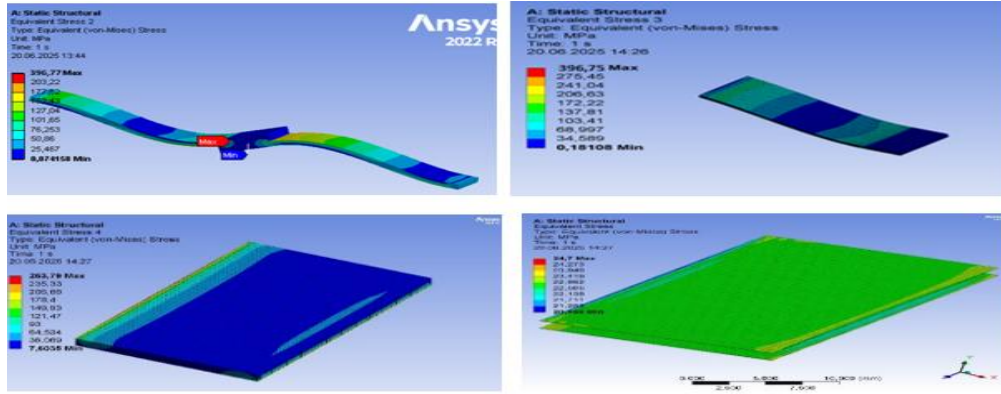
Çizelge 9. Takviyesiz ve takviyeli modelin karşılaştırılması

Sabit Parametreler: $t=3$ mm, $a=d=20$ mm, $n=0,1$		
Takviye	Takviyesiz	Takviyeli
Max. Gerilme- σ (MPa)	333,8	396,75
Uygulanan Yük- P (MPa)	63,254	69,786
Hasar Yüğü- F (N)	5717,16	6280,74
Adhesive- σ_{Max} (MPa)	24,7	24,7
Adherent 1- σ_{Max} (MPa)	333,38	396,75
Adherent 2- σ_{Max} (MPa)	333,38	396,77
Takviye- σ_{Max} (MPa)	-	263,79

Sabit Parametreler: $t=3$ mm, $a=d=20$ mm, $n=0,1$



Görsel 13. Takviyenin hasar yüküne etkisi



Görsel 14. $t=3$ mm, $d=a=20$ mm, $c=1$ mm, $n=0,1$ mm ölçülerindeki modelin gerilme dağılımı

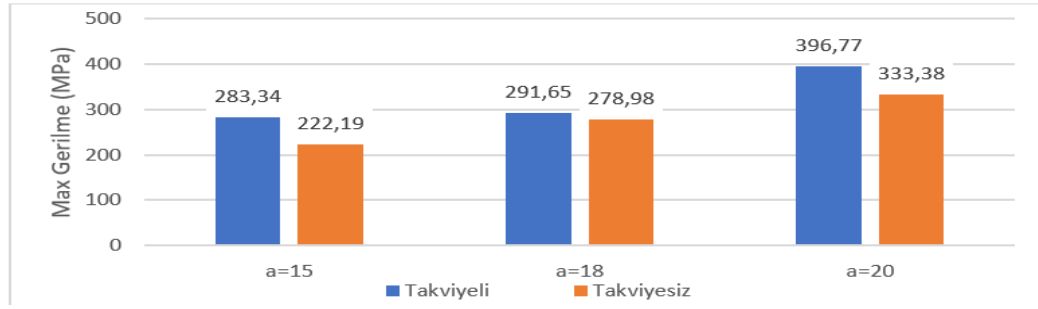
3.5 Takviyeli Bağlantılarda Bindirme Mesafesinin (a) Dayanıma Etkisi

Takviyesiz bağlantılarda bindirme mesafesinin (a) dayanıma olan etkisi incelendiğinde bindirme mesafesi uzunluğu 15,18,20 mm olarak alınıp, bağlantının en iyi dayanıma 20 mm bindirme mesafesinde ulaştığı yapılan analizler neticesinde tespit edilmiştir. Bu sebeple takviyeli bağlantı modeli için de bindirme mesafesi uzunluğu 15,18,20 mm alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Aynı bindirme mesafesine sahip takviyeli ve takviyesiz bağlantıların analizlerinden elde edilen gerilme ve hasar kuvvetleri Çizelge 10 ve Görsel 15'te verilmiştir

Çizelge 10. Takviyeli bağlantıda bindirme mesafesinin (a) değişimine bağlı elde edilen değerler

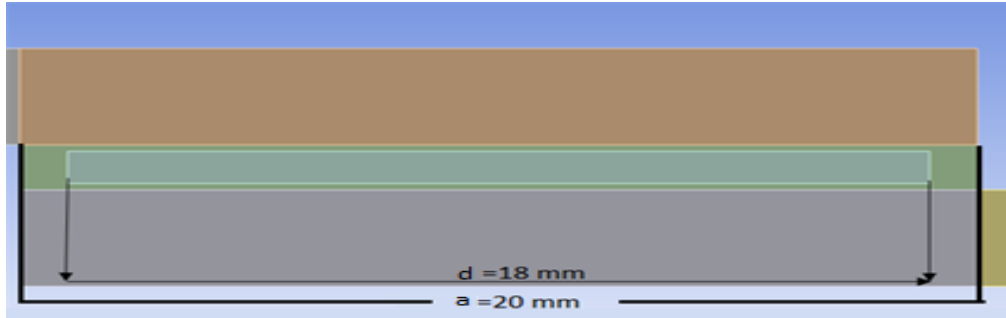
Sabit Parametreler: $t=3$ mm, $d=20$ mm, $n=0,05$ mm, $c=1$ mm						
a (mm)	15		18		20	
Takviyeli-Takviyesiz	Takviyeli	Takviyesiz	Takviyeli	Takviyesiz	Takviyeli	Takviyesiz
Max Gerilme- (MPa)	238,34	222,19	291,65	278,98	396,77	333,38
Uygulanan Yük- P (MPa)	42,214	40,25	54,653	49,93	69,78	63,524
Hasar Yüğü- F (N)	3799,26	3622,5	4918,77	4493,7	6280,74	5717,16
Adhesive- σ_{Max} (MPa)	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7
Adherent 1- σ_{Max} (MPa)	283,33	222,18	291,64	278,97	396,75	333,37
Adherent 2- σ_{Max} (MPa)	283,34	222,19	291,65	278,98	396,77	333,38
Takviye- σ_{Max} (MPa)	224,19	-	230,22	-	263,79	-



Görsel 15. Takviyeli-takviyesiz bağlantılarda bindirme mesafelerinin hasar yüküne etkisi

3.6 Takviye Uzunluğunun (d) Bağlantı Dayanımına Etkisi

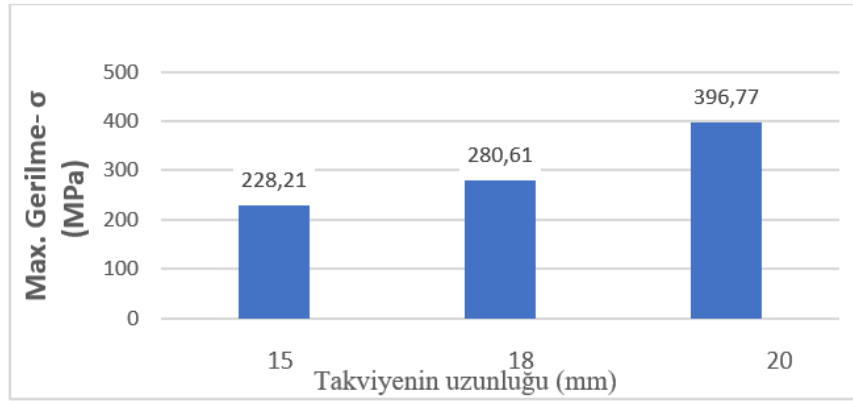
Çalışmanın bu kısmında bindirme mesafesi 20 mm olarak sabit tutulmuş ve takviye uzunluğu (d) 15, 18 ve 20 mm seçilerek oluşturulan üç farklı modelin analiz sonuçları elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Görsel 16’da 18 mm takviye uzunluğuna sahip modelin bindirme bölgesinin önden görünümü, Çizelge 11’de ve Görsel 17’de ise gerçekleştirilen analizler neticesinde tespit edilen gerilme ve hasar yükleri verilmiştir.



Görsel 16. Takviyeli bindirme bölgesinin önden görünümü (a=20 mm, d=18 mm)

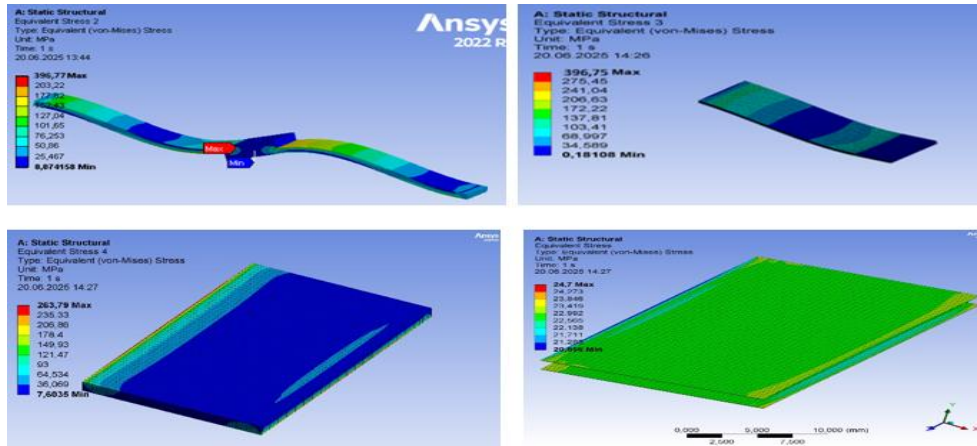
Çizelge 11. Takviyeli bağlantıda takviye uzunluğu değişimine bağlı olarak elde edilen değerler

Sabit Parametreler: t=3 mm, n=0,05 mm, a=20 mm, c=1 mm			
d (mm)	15	18	20
Max. Gerilme- σ (MPa)	228,21	280,61	396,77
Uygulanan Yük- P (MPa)	39,915	54,61	69,78
Hasar Yükü- F (N)	3592,35	4914,9	6280,74
Adhesive- σ_{Max} (MPa)	24,7	24,7	24,7
Adherent 1- σ_{Max} (MPa)	228,21	280,60	396,75
Adherent 2- σ_{Max} (MPa)	228,21	280,61	227,94
Takviye- σ_{Max} (MPa)	79,724	188,61	263,79



Görsel 17. Takviyenin uzunluğunun hasar yüküne etkisi

Yapılan analizlerden elde edilen veriler sonucunda takviye uzunluğu 20 mm olarak seçilen modelden (Görsel 18) elde edilen von-Mises gerilme değerlerinin daha yüksek olduğu yani bu modelin diğer modellere göre hasar yükünün daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Takviye uzunluğu 20 mm olarak yapılan analizde hasar yükü 6280,74 olarak elde edilmiştir.



Görsel 18. $t=3$ mm, $d=a=20$ mm, $c=1$ mm, $n=0,1$ mm ölçülerindeki modelin gerilme analizi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yapıştırıcı ile birleştirilen basit bindirme bağlantılarında; yapışan malzeme kalınlığı, bindirme mesafesi, yapıştırıcı kalınlığı ve takviye malzeme kullanımının bağlantı dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapışan ve takviye malzemesi olarak yapı çeliği, yapıştırıcı malzeme olarak ise **Neoxil CE 92 N8** tercih edilmiştir.

Gerilme analizlerinde; **yapıştırıcı kalınlığı (n)**, **yapışan malzeme kalınlığı (t)**, **bindirme mesafesi (a)** ve **takviye elemanının uzunluğu (d)** parametrelerinin farklı değerleri esas alınarak, yapıştırıcının 24,7 MPa olan çekme dayanımına ulaştığında bağlantıda hasarın meydana geldiği kabul edilmiştir. Değerlendirmeler **von-Mises akma kriteri** esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Analizler, **ANSYS Workbench** yazılımı kullanılarak hazırlanmış 11 farklı model üzerinde, lineer elastik davranış varsayımıyla yapılmıştır. Bu modellerde; iki farklı yapışan malzeme kalınlığı, iki farklı yapıştırıcı kalınlığı ve üç farklı bindirme mesafesi kullanılmıştır.

İlk parametre olarak değerlendirilen **yapışan malzeme kalınlığının (t)** artmasının, modelde oluşan gerilme değerlerini artırdığı gözlemlenmiştir. Bağlantıda yapıştırıcı gerilme değerinin 24.7 MPa elde edilmesi için uygulanan yük $t=3$ mm olduğu zaman daha fazladır. Uygulanan yükün artması hasar yükünü de arttırdığından dolayı 3 mm olan kalınlık dayanım açısından daha etkili sonuç vermektedir. Yapışan malzeme kalınlığını 3 mm olarak alındığında elde edilen hasar yükü; 2 mm olarak alınan analize kıyasla %81 oranında artmıştır. Bu nedenle, yapışan malzeme kalınlığının artırılmasının bağlantı dayanımını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Bu bulgu doğrultusunda, sonraki analizlerde yapışan malzeme kalınlığı **3 mm** olarak sabitlenmiştir.

İkinci parametre olarak ele alınan **yapıştırıcı kalınlığı (n)** için, 0,1 mm ve 0,2 mm olmak üzere iki farklı değer alınarak analiz yapılmıştır. Analizler sonucunda, 0,1 mm yapıştırıcı kalınlığı kullanıldığında hasar yükünün daha yüksek olduğu ve buna bağlı olarak bağlantı dayanımının arttığı görülmüştür. Bu nedenle, sonraki analizlerde **n = 0,1 mm** olarak belirlenmiştir.

Üçüncü parametre olan **bindirme mesafesi (a)** için 15 mm, 18 mm ve 20 mm uzunluklarında modeller oluşturulmuştur. Analiz sonuçları, bindirme mesafesi arttıkça bağlantının hasar dayanımının da arttığını göstermiştir. Özellikle **bindirme mesafesi 20 mm, yapışan kalınlığı 3 mm ve yapıştırıcı kalınlığı 0,1 mm** olan model, tüm modeller arasında en yüksek hasar dayanımına sahip model olarak belirlenmiştir.

Analiz yapısını biraz daha farklılaştırarak yapışan malzemeler arasına bir adet takviye malzemesi kullanılmıştır. Takviyeli bağlantı modelindeki bindirme mesafesi ve takviyenin uzunluğu eşit alınıp 15 mm, 18 mm ve 20 mm alınarak analizler yapılmıştır. Basit bindirmeli bağlantı modeliyle kıyasladığımız zaman takviyeli bağlantı modelinin hasar yükü %9 oranında artmıştır. Takviyeli bağlantı modelinin hasar dayanımının daha fazla olduğu bu şekilde tespit edilmiştir.

Son olarak, **takviye malzemesinin uzunluğu** değiştirilerek yapılan analizlerde, takviye uzunluğunun bindirme mesafesiyle eşit olduğu (20mm) durumda bağlantı dayanımının en yüksek seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. Bu durum, takviye elemanının uygun uzunlukta tasarlanmasının bağlantı performansı açısından kritik bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

- AKÇAKALE, N. Yapıştırıcılar ve Yapıştırıcıların Genel Özellikleri. *Bütün Yayın Hakları Saklıdır Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.*, 373.Özenç, M. (2007). Yapıştırma bağlantılarının darbe yükleri altındaki davranışlarının incelenmesi (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Demir, M. E. (2016). Tek bindirmeli yapıştırma bağlantılarının üç boyutlu gerilme analizi (Master's thesis, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Adams, R. D., and Wake, W. C., (1984). Structural Adhesive Joint in Engineering. Elsevier Science Publisher, London
- Hepburn, C. (1992). Polyurethane Elastomers. Springer.
- Adin, H. (2007). Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Ters Z Tipi Kompozit Malzemelerinin Mekanik Analizi (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yanen, C., (2017). Yapıştırıcı ile Birleştirilmiş Tek ve Çift Alın Açılı Bağlantıların Mekanik Dayanımlarının Araştırılması, Doktora Semineri, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- Yıldırım, M. (2011). Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların düşük hızlı darbe davranışları (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri).
- Solmaz, M. Y., & Taş, B. (2018). Yapıştırıcıyla Birleştirilmiş Konik Geçme Bağlantıların Burulma Momenti Etkisindeki Davranışları. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(2), 73-86.
- Kodakoğlu, L. (1996). Yapıştırıcıların Genel Özellikleri Ve Çekme Gerilmesine Maruz Yapışma Birleşmesinin Analitik Ve Nümerik Olarak İncelenmesi.
- Karakaya, Ş., & Soykasap, Ö. (2008). Yapıştırıcı İle Birleştirilmiş Tek Bindirmeli Dokumalı Kompozit Yapıların Eğilme Hasarı. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(2), 43-52.
- 3M. (t.y.). Anaerobik Yapıştırıcılar. https://www.3m.com.tr/3M/tr_TR/bonding-and-assembly-tr/structural-adhesives/anaerobic-adhesives/#discover
- Loctite Corporation. (1998). Loctite Worldwide Design Handbook. Loctite Corporation.
- Morrissey, M.A. and Johnson, W.R., (1985). Douglas Aircraft Company Design Handbook, Adhesive and Cements, California.
- Taib, A.A., Boukhili, R., Achion, S. and Boukehili, A., (2006). Bonded joints with composite adherends. Part II. Finite element analysis of joggle lap joints, International Journal of Adhesion & Adhesives, vol 26, ss. 237- 248
- Topçuoğlu, S. (2023). Yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların mukavemeti üzerine takviye edilmiş bindirme bölgesinin etkilerinin araştırılması [Yüksek Lisans Tezi] Fırat Üniversitesi.
- Türk Standardları Enstitüsü. (2013). TS EN ISO 10365: Yapıştırıcılar – Bağlantı türlerinin adlandırılması (Türk Standardı). Türk Standardları Enstitüsü.

DEVELOPMENT OF A CU-BTC MODIFIED PENCIL GRAPHITE ELECTRODE FOR ELECTROCHEMICAL DETERMINATION OF GLUTATHIONE IN DIETARY SUPPLEMENT SAMPLES

Chemist PhD Student, DENİZ KÜPÇÜK

Istanbul University, Faculty of Sciences, Department of Chemistry

d.kupcuk.95@ogr.iu.edu.tr - 0009-0005-1417-6503

Öğr. Gör. Dr. GİZEM YILDIRIM BAŞTEMUR

Istanbul University, Faculty of Sciences, Department of Molecular Biology and Genetics,

gizemyildirimbastemur@istanbul.edu.tr - 0000-0002-4634-4525

Prof. Dr. SABRİYE PERÇİN ÖZKORUCUKLU

Istanbul University, Faculty of Sciences, Department of Molecular Biology and Genetics,

sabriyeo@istanbul.edu.tr - 0000-0001-9778-2034

Abstract

Glutathione (GSH), the primary antioxidant in cellular redox homeostasis, plays a role in critical biological processes such as cell growth, protein synthesis, and the cell cycle. Therefore, accurate measurement of GSH content is of fundamental importance in determining biological mechanisms. Among the various analytical approaches used in the determination of glutathione, electrochemical methods offer notable advantages such as low cost, rapid analysis, minimal or no pretreatment, and compatibility with diverse sample matrices. In this study, a sensitive, selective, and cost-effective electrochemical sensor was developed for the quantification of GSH using minimal sample volumes. The sensor was fabricated by modifying a pencil graphite electrode (PGE) with a copper-based metal-organic framework (Cu-BTC), and its performance was comprehensively optimized in terms of adsorption time, modifier concentration, pH, deposition time, and applied potential. The optimized sensor exhibited a wide linear detection range (1–1500 $\mu\text{mol L}^{-1}$), a low detection limit of 0.16 $\mu\text{mol L}^{-1}$, and excellent long-term stability for up to 60 days. In interference tests with co-existing compounds such as amino acids, urea, and inorganic ions, it was determined that the sensor exhibited high selectivity. Furthermore, the recovery experiment yielded a recovery rate of 98.67% in the dietary supplement sample, confirming the practical applicability of the proposed sensor.

Keywords: Glutathione, copper metal-organic framework (MOF), electrochemical sensor.

The research was supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Istanbul University under project number FYL-2023-4001.

HALIÇ BÖLGESİNDEKİ RADON (^{222}Rn) KONSANTRASYONLARININ MEVSİMSSEL İNCELENMESİ

Laman Seyfiyeva¹

¹İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, İstanbul, Türkiye

lili.seyfi@icloud.com - ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5500-0202>

Dr. Benin Toklu Alicli²

²İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, İstanbul, Türkiye

benin@istanbul.edu.tr - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9538-7396>

ÖZET:

Doğal radyasyonun en büyük kaynağı olan Radon (^{222}Rn) gazı, uranyum (^{238}U) doğal radyoaktif serisinin bozunumu sonucu oluşan radyoaktif bir gazdır. Radon gazı toprak, kayaç, yeraltı suyu, atmosfer ve yapı malzemelerinden bulunduğu ortama salınmaktadır. Radon gazı ve bozunma ürünleri, suda çözünerek çevresel radyasyon seviyelerini artırabilmekte ve sudaki partiküllere bağlanarak biyolojik dokularda birikim potansiyeli taşımaktadır. Bu da sucul organizmalar ve ekosistem üzerinde negatif etkiler oluşturabilmektedir. Sucul ekosistemlerdeki radon miktarının ve dağılımının belirlenmesi, su kalitesi ve radyolojik risk değerlendirmeleri açısından önemlidir. Bu çalışmada, İstanbul'da kentsel ve endüstriyel faaliyetlerin yoğun olduğu Haliç bölgesinden alınan su örneklerinde radon (^{222}Rn) konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelenmiştir. Çalışma kapsamında 2025 yılında ilkbahar (Nisan) ve yaz (Temmuz) olmak üzere iki farklı mevsimde 12 istasyondan örnekler toplanmıştır. Haliç ekosisteminden alınan örnekler AlphaGUARD Aktif Radon Ölçüm Cihazı kullanılarak analiz edilmiş ve ^{222}Rn konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır. Aynı zamanda örnekleme bölgesindeki yüzey suyunun sıcaklık, tuzluluk, çözünmüş oksijen ve pH değerleri çoklu parametre cihazlarıyla ölçülmüş ve bu değerler ile radon gazı arasındaki korelasyon belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler, hem kentsel etkilerin sucul ekosistemler üzerindeki radon dinamiklerine etkisini anlamak hem de çevresel risk değerlendirmeleri yapmak açısından önemlidir. Çalışma dört mevsimi kapsayacak şekilde tamamlandıktan sonra bütüncül olarak incelenip literatürdeki benzer çalışmalar ile karşılaştırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Radon-222, Radyoaktivite, Haliç

SEASONAL DETERMINATION OF RADON (RN-222) CONCENTRATIONS IN THE GOLDEN HORN

Laman Seyfiyeva¹

¹Istanbul University, Institute of Graduate Studies in Sciences, Department of Physics,
Istanbul, Türkiye

lili.seyfi@icloud.com - ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5500-0202>

Benin Toklu Alicli²

²Istanbul University, Faculty of Science, Department of Biology, Istanbul, Türkiye

benin@istanbul.edu.tr - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9538-7396>

ABSTRACT:

Radon gas (^{222}Rn), the largest source of natural radiation, is a radioactive gas formed as a result of the decay of the natural radioactive series of uranium (^{238}U). Radon gas is released into the environment from soil, rock, groundwater, the atmosphere, and building materials. Radon gas and its decay products can dissolve in water, increasing environmental radiation levels, and bind to particles in water, carrying the potential to accumulate in biological tissues. This can have negative effects on aquatic organisms and ecosystems. Determining the amount and distribution of radon in aquatic ecosystems is important for water quality and radiological risk assessments. In this study, the seasonal variation in radon (^{222}Rn) concentrations was examined in water samples taken from the Golden Horn region of Istanbul, where urban and industrial activities are intense. Water samples were collected from 12 stations in two different seasons spring (April) and summer (July) in 2025 during the study. Samples taken from the Golden Horn ecosystem were analyzed using the AlphaGUARD Active Radon Measurement Device, and ^{222}Rn concentration values were calculated. At the same time, the temperature, salinity, dissolved oxygen, and pH values of surface water in the sampling area were measured using multi-parameter devices, and the correlation between these values and radon gas was determined. The data obtained as a result of the study are important both for understanding the effect of urban impacts on radon dynamics in aquatic ecosystems and for conducting environmental risk assessments. After the study is completed covering all four seasons, it will be comprehensively examined and compared with similar studies in the literature.

Keywords: Radon-222, Radioactivity, Golden Horn

İKİ BOYUTLU AgI VE AuI MALZEMELERİNİN TERMoeLEKTRİK ÖZELLİKLERİ

Burak ARAS

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

Burakaras19@gmail.com - <https://orcid.org/0009-0002-5809-3599>

Doç. Dr. , Yelda KADIOĞLU

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

ykadioglu@adu.edu.tr- <https://orcid.org/0000-0002-3138-5420>

ÖZET

Termoelektrik etki, ısı enerjisini doğrudan elektrik enerjisine veya elektrik enerjisini ısı farkına dönüştürebilen bir fiziksel olgudur ve temel olarak Seebeck, Peltier ve Thomson etkilerini kapsar. Bu etki, malzeme içerisindeki serbest taşıyıcıların (elektron veya boşlukların) sıcaklık gradyanı boyunca hareket etmesiyle ortaya çıkar. Termoelektrik malzemelerin performansı genellikle boyutsuz termoelektrik kalite faktörü (ZT) ile ifade edilir: $ZT = \frac{S^2 \sigma T}{\kappa}$, burada S Seebeck katsayısı, σ elektriksel iletkenlik, κ toplam ısı iletkenlik ve T mutlak sıcaklıktır. Yüksek ZT değerine sahip malzemeler, verimli enerji dönüşümü sağlayarak atık ısı geri kazanımı, soğutma ve enerji hasadı gibi uygulamalarda büyük önem taşır. Son yıllarda nano yapılandırma ile termoelektrik performansın artırılması üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Özellikle grafenin keşfinden sonra büyük önem kazanan iki boyutlu yapılar bu alanda öncü olmaktadır.

Bu çalışmada iki boyutlu AgI ve AuI yapılarının termoelektrik özellikleri yoğunluk fonksiyonel teori kullanılarak incelenmiştir. AgI ve AuI tek tabakalarının stabil fazları elde edilmiş yapısal parametreleri hesaplanmıştır. Bu malzemelerin termoelektrik özellikleri kapsamında Seebeck katsayısı, termal iletkenliği ve elektriksel iletkenlikleri hesaplanmış ve yüksek Seebeck katsayısı ile düşük termal iletkenlik gösterdiği bulunmuştur. Bu sonuçlar ise AgI ve AuI tek tabakalarının yüksek termoelektrik özellik gösteren malzemeler olduğunu doğrulamaktadır. Bu çalışmanın hem nanoteknolojide termoelektrik malzeme üretimi konusunda hem de deneysel çalışmalara yol gösterici olacağını öngörmekteyiz.

Anahtar Kelimeler : Termoelektrik malzemeler, AgI, AuI, İki boyutlu yapılar, Seebeck katsayısı

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

Prof. Dr. Arjun Mehta, Dr. Kavita Ramesh, Anil Verma

Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Delhi, India

Abstract

This study explores the synthesis and detailed characterization of bio-based polymer nanocomposites tailored for environmental purposes, such as pollutant removal and sustainable barrier materials. The research focuses on biodegradable polymer matrices integrated with naturally derived or eco-friendly nano-fillers through solution casting and melt blending techniques. Advanced characterization methods such as FTIR, SEM, and XRD reveal improved mechanical, thermal, and barrier properties compared to neat polymers. Environmental performance assessments show enhanced adsorption of heavy metals and organic contaminants, facilitating efficient water and soil remediation. The work also addresses key challenges in scaling up production, discussing cost, functionalization, and lifecycle impacts. Findings demonstrate that bio-based nanocomposites exhibit significant promise for replacing petroleum-based materials in environmental engineering and conservation applications. The paper encourages further multidisciplinary research to develop application-specific nanocomposite formulations that can be adopted globally.

Keywords: bio-based polymers, nanocomposites, environmental applications, sustainable materials, pollutant removal

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

**Assoc. Prof. Dr. Priya Nair, Rajesh Menon, Prof. Dr. Harish Venkatesh, Dr. Sandeep
Choudhary, Ryo Tanaka**

Department of Chemistry, Kyushu University, Japan

Abstract

This paper investigates the catalytic performance of transition metal oxides in water-splitting reactions for green hydrogen production. The study explores various oxide catalysts including Fe, Co, Ni, and Mn oxides, deployed as thin films and powders, and evaluates their activity under solar-powered electrolysis and thermochemical conditions. The research combines experimental electrochemical measurements, surface analysis, and kinetic modeling to understand reaction pathways and identify structural factors influencing efficiency. Key findings reveal that certain doped oxides significantly lower activation energy and increase hydrogen evolution rates, especially under visible light irradiation. The environmental benefits of these materials are considered, particularly regarding energy efficiency and sustainability. The paper concludes with recommendations for further improving catalyst stability, cost-effectiveness, and scale-up potential, supporting broader adoption of green hydrogen technologies in energy transitions.

Keywords: catalytic activity, transition metal oxides, green hydrogen, water splitting, sustainable energy

DESIGN OF NOVEL ORGANOMETALLIC COMPLEXES AS EFFICIENT PHOTOCATALYSTS UNDER VISIBLE LIGHT

Dr. Neha Kapoor

Department of Materials Science, University of Tokyo, Japan

Abstract

This study presents the design, synthesis, and photophysical characterization of novel organometallic complexes aimed at efficient photocatalysis under visible light illumination. The research employs rational ligand design and metal center selection to optimize electronic transitions and catalytic properties. Characterization techniques such as UV-Vis spectroscopy, cyclic voltammetry, and photoreactivity assays are used to assess structure-function relationships. The complexes demonstrate enhanced decomposition of organic dyes and pollutants and facilitate oxidation-reduction reactions relevant to solar fuel production. Mechanistic studies indicate improved charge separation and light absorption compared to existing photocatalysts. Challenges in catalyst stability, scalability, and recyclability are addressed. The results show that these organometallic complexes offer a promising route for clean energy and environmental remediation technologies, especially in low-resource and solar-rich regions.

Keywords: organometallic complexes, photocatalysis, visible light, ligand design, environmental remediation

ENHANCED SUPERCAPACITOR PERFORMANCE USING GRAPHENE-BASED HYBRID MATERIALS

Prof. Dr. Kenji Nakamura, Dr. Aiko Matsuda

Department of Materials Science, University of Tokyo, Japan

Abstract

The development of graphene-based hybrid materials has catalyzed major advances in supercapacitor technology. This study synthesizes and characterizes several graphene composites combined with conductive polymers, metal oxides, and carbon nanotubes. Electrochemical tests reveal significantly improved specific capacitance, energy density, and charge-discharge cycling stability. The research evaluates how nano-structural tuning and interface engineering maximize ions' mobility and storage capacity. Environmental impact analyses suggest that these hybrids can be manufactured with lower energy input and raw materials compared to conventional electrodes. The scalability, cost efficiency, and future integration with renewable energy systems are discussed. The findings position graphene-based hybrids as leading candidates for next-generation high-power energy storage solutions.

Keywords: supercapacitors, graphene hybrid materials, energy storage, nano-structural tuning, cycling stability

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

Assoc. Prof. Dr. Haruto Yamashita, Ayaka Fujimoto, Takuya Morimoto

Department of Applied Chemistry, Kyoto University, Japan

Abstract

This work explores the electrochemical synthesis and properties of cerium-doped oxide thin films tailored for advanced sensor applications. The films are produced via pulsed electrodeposition, allowing precise control over dopant concentration and film thickness. Extensive characterization—including Raman spectroscopy, XPS, and electrical conductivity measurements—demonstrates high sensitivity towards gases such as hydrogen, ammonia, and NO_x. The study details how cerium doping modifies the electronic structure, enhances surface reactivity, and improves sensor selectivity. Long-term stability and response times are compared under laboratory and simulated environmental conditions. The research underscores the potential of cerium-doped oxides for use in environmental monitoring, industrial safety, and healthcare diagnostics, especially as part of portable sensing technologies.

Keywords: cerium-doped oxides, thin films, sensor applications, electrochemical synthesis, gas sensitivity

DEVELOPMENT OF ADVANCED THERMALLY STABLE POLYIMIDES FOR SPACE MATERIALS

Dr. Naoki Sugahara, Prof. Dr. Emi Kobayashi, Hanae Watanabe

Institute of Space Materials Science, Osaka University, Japan

Abstract

This research develops novel polyimide materials with enhanced thermal stability and mechanical robustness specifically for space applications. The synthesis process involves incorporating aromatic and heterocyclic monomers to improve polymer backbone integrity. The polyimides demonstrate elevated glass transition temperatures, oxidation resistance, and resilience under extreme radiation conditions. Characterization by TGA, DMA, and high-altitude simulation chambers confirm superior property retention compared to standard aerospace polymers. The work addresses material compatibility for satellite structures, payload enclosures, and lightweight construction. Environmental sustainability and recyclability are considered to align with green space initiatives. Conclusions support further customization for commercial and scientific missions, paving the way for new generations of space-qualified polymeric materials.

Keywords: polyimides, thermal stability, space materials, polymer synthesis, radiation resistance

SPECTROSCOPIC ANALYSIS OF METAL-LIGAND INTERACTIONS IN RARE EARTH COMPLEXES

Assoc. Prof. Dr. Viktor Kuzniatsou, Dr. Hanna Barysava, Aliaksandr Ramanau

Department of Chemistry, Belarusian State University, Belarus

Abstract

This paper examines the structure and bonding dynamics in rare earth metal complexes via advanced spectroscopic techniques, including NMR, EPR, and X-ray absorption. The study investigates ligand field effects, electron transfer characteristics, and their implications for luminescent and catalytic properties. Results highlight significant variations in metal-ligand bonding with different chelating agents, offering insights into tailored molecular design for applications in optoelectronics and catalysis. The findings further elaborate on the role of solvation and temperature in modulating complex stability and reactivity. Methodological innovations are introduced for real-time spectroscopic monitoring. These discoveries contribute to the rational design of functional rare earth complexes for industrial and research utilization.

Keywords: rare earth complexes, metal-ligand interactions, spectroscopy, catalytic properties, molecular design

STRUCTURAL AND OPTICAL CHARACTERIZATION OF SILVER-DOPED ZINC OXIDE NANOPARTICLES

Dr. Maryia Karatkevich, Prof. Dr. Pavel Zhurko, Dzmitry Asanau

Department of Physics, Belarusian State University, Belarus

Abstract

This study details the synthesis and comprehensive characterization of silver-doped zinc oxide nanoparticles for potential optoelectronic and photonic applications. Chemical precipitation and sol-gel methods are used to incorporate silver ions precisely, and the resulting nanoparticles are characterized by XRD, TEM, UV-Vis, and PL spectroscopy. The research reports on size distribution, morphological features, and optical bandgap modifications as a function of silver concentration. Enhanced photoluminescence, stability, and antimicrobial properties are observed, suggesting suitability for sensors, UV-blocking coatings, and transparent electronics. Environmental, biological, and scalability aspects are analyzed to optimize real-world implementation. The study calls for further investigation into doping mechanisms and surface functionalization to unlock broader application possibilities.

Keywords: silver-doped, zinc oxide, nanoparticles, optical characterization, photoluminescence

UNDERSTANDING THE MECHANICAL BEHAVIOR OF NOVEL COMPOSITE MATERIALS UNDER HIGH STRESS CONDITIONS

Prof. Dr. Karim Bensalem

Ahmed Ziane

Department of Materials Engineering, University of Algiers, Algeria

Abstract

This research explores the mechanical performance of newly developed composite materials when subjected to extreme stress conditions. The study comprehensively investigates the effects of fiber and matrix arrangements, interfacial bonding strength, and the influence of nano-fillers on enhancing durability. Using a combination of tensile, compressive, and impact testing, it examines failure modes and deformation mechanisms, offering insight into the structural integrity of these advanced composites. The work also employs finite element modeling to predict performance under various loading strategies. The analyses indicate the composites maintain superior mechanical resilience, making them promising candidates for automotive, aerospace, and civil engineering applications. The findings are vital for optimizing composite design, enabling targeted development for high-stress environments.

Keywords: composite materials, high stress, mechanical behavior, structural integrity, finite element modeling

ADVANCES IN NANOSTRUCTURED CERAMIC COATINGS FOR HIGH-TEMPERATURE APPLICATIONS

Assoc. Prof. Dr. Samira Haddad

Department of Ceramic Engineering, University of Batna 1, Algeria

Dr. Mourad Belkacem

Department of Ceramic Engineering, University of Batna 1, Algeria

Leila Ould Amar

Department of Ceramic Engineering, University of Batna 1, Algeria

Abstract

This paper investigates the synthesis and properties of nanostructured ceramic coatings designed for high-temperature environments. The research details novel fabrication processes such as plasma spraying and sol-gel methods, optimizing coating thickness and microstructure for maximum thermal resistance. The thermomechanical analysis demonstrates significant improvements in oxidation resistance and adherence under cyclic heat exposure. Additionally, the study addresses the role of dopants and layered architectures in inhibiting crack formation and degradation. The coatings' performance is further validated in simulated industrial conditions, showcasing their suitability for turbine blades, heat shields, and energy conversion devices. The results support the implementation of these advanced ceramics in harsh thermal environments, while providing guidelines for further development.

Keywords: ceramic coatings, nanostructures, high-temperature, thermal stability, fabrication

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FOR MEDICAL USE

Noureddine Boukhalfa

Department of Biomedical Engineering, University of Milan, Italy

Prof. Dr. Farida Benamara

Department of Biomedical Engineering, University of Milan, Italy

Yuki Matsumoto

Department of Biomedical Engineering, University of Milan, Italy

Abstract

This research focuses on producing and characterizing biodegradable polymer blends tailored for medical applications, including drug delivery and tissue engineering. Through solvent casting and melt blending methods, various natural and synthetic polymers are combined and analyzed for cytocompatibility, mechanical strength, and degradation rates. The research employs spectroscopy, thermal analysis, and scanning electron microscopy for thorough material assessment, revealing excellent biocompatibility and customizable degradation profiles. The study highlights optimization strategies for target drug release kinetics and scaffold architectures to facilitate regenerative medicine. Results emphasize the potential of biodegradable blends for safe, effective biomedical devices, advancing clinical application prospects and sustainability in medical technology.

Keywords: biodegradable polymers, medical devices, characterization, tissue engineering, drug delivery

ENHANCING THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF GRAPHENE-BASED COMPOSITES

Hiroshi Tanaka

Department of Physics, Kyoto University, Japan

Assoc. Prof. Dr. Keiko Sato

Department of Physics, Kyoto University, Japan

Abstract

The study investigates methods to enhance the electrical conductivity of graphene-based composites for electronic and energy storage applications. By varying graphene morphology and concentration within polymer matrices, the research evaluates electrical transport mechanisms via four-point probe and impedance spectrometry. The influence of interfacial engineering, dopants, and hybridization with metal nanoparticles is examined for conductivity optimization. Results demonstrate that tailored dispersion and surface functionalization markedly improve charge carrier mobility, thermal stability, and overall electrical performance. The findings have direct implications for flexible electronics, batteries, and sensors. Recommendations for scalable fabrication and further functional studies are provided to support commercial adoption.

Keywords: graphene composites, electrical conductivity, charge transport, doping, flexible electronics

DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT METAL ALLOYS FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY

Dr. Akira Fujimoto

Department of Metallurgical Engineering, University of Tokyo, Japan

Abstract

This paper describes recent progress in the design and fabrication of lightweight metal alloys for use in automotive manufacturing. Experimental alloys comprising aluminum, magnesium, and titanium are synthesized using casting and powder metallurgy techniques, and their physical and mechanical properties are systematically tested. The research assesses tensile strength, ductility, and corrosion resistance, optimizing compositions for vehicle safety and fuel efficiency. Microstructural analysis via electron microscopy is included to correlate alloying elements with performance enhancements. The study identifies several promising alloy formulations suitable for chassis, engine, and structural components, contributing to weight reduction and sustainability initiatives.

Keywords: lightweight alloys, automotive industry, magnesium, aluminum, mechanical properties

OPTIMIZATION OF THERMOELECTRIC MATERIALS FOR ENERGY HARVESTING

Assoc. Prof. Dr. Yumi Kagawa

Department of Materials Science, Osaka University, Japan

Abstract

This study presents strategies to optimize thermoelectric materials for improved energy harvesting in sustainable technology systems. The research covers fabrication of nanostructured semiconductors, enhancement of Seebeck coefficient, and minimization of thermal conductivity using controlled doping techniques. Analytical models combine experimental data with simulation to predict conversion efficiency under varying temperature gradients. Performance testing under realistic operational conditions confirms elevated energy output and operational stability. Applications in wearable electronics, remote sensors, and renewable energy systems are discussed. The findings demonstrate significant progress toward efficient, cost-effective thermoelectric energy solutions.

Keywords: thermoelectric materials, energy harvesting, nanostructures, Seebeck coefficient, doping

CORROSION RESISTANCE IMPROVEMENT IN ADVANCED STEEL GRADES

Dr. Martijn de Vries

Department of Engineering Materials, Delft University of Technology, Netherlands

Lars van den Berg

Department of Engineering Materials, Delft University of Technology, Netherlands

Sander Visser

Department of Engineering Materials, Delft University of Technology, Netherlands

Femke de Groot

Department of Engineering Materials, Delft University of Technology, Netherlands

Abstract

This research evaluates corrosion resistance enhancements in advanced steel grades developed for marine and industrial uses. The effects of alloy composition, surface treatments, and environmental exposures are investigated through a combination of immersion experiments and electrochemical analysis. Results show that alloying with chromium, molybdenum, and nickel significantly improves resistance to pitting and uniform corrosion. Surface passivation and nano-coating techniques are also compared for long-term durability. The paper presents guidelines for optimal material selection, processing, and maintenance schedules to extend the service life of steel structures in aggressive environments.

Keywords: steel grades, corrosion resistance, alloying, surface treatments, durability

3D PRINTING OF FUNCTIONAL POLYMER COMPOSITES FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS

Prof. Dr. Anneke Jansen

Department of Polymer Engineering, Eindhoven University of Technology, Netherlands

Abstract

The paper reviews engineering approaches for 3D printing of functional polymer composites targeted at industrial applications. Material selection is based on evaluating thermal, mechanical, and electrical properties suited for end-use demands. The research describes novel printing techniques including multi-material extrusion and in-situ curing, analyzing their effects on composite integrity and performance. Case studies in aerospace, automotive, and biomedical sectors demonstrate the economic, design, and sustainability benefits of additive manufacturing. The study addresses scaling challenges for large-scale production and recommends integration strategies for advanced digital design workflows.

Keywords: 3D printing, polymer composites, additive manufacturing, performance, industrial production

UNDERSTANDING THE IMPACT OF NURSING INTERVENTIONS ON PATIENT RECOVERY RATES

**Prof. Dr. Ahsan Malik, Dr. Sana Qureshi, Ali Raza,
Hamid Ali**

Aga Khan University, Pakistan

Abstract

This study explores the relationship between specific nursing interventions and patient recovery rates across multiple hospital settings. The research employed a mixed-methods approach, utilizing quantitative data from over 400 patient records sourced from post-surgical and medical inpatient units, complemented by in-depth interviews with frontline nurses. The analysis focused on the frequency, type, and adherence to evidence-based nursing interventions, such as early mobilization, patient education, wound care protocols, and psychosocial support, as well as their direct association with clinical recovery indicators including length of stay, incidence of complications, and patient-reported outcomes. Results revealed a statistically significant correlation between the structured implementation of critical nursing practices and enhanced recovery rates, particularly in reducing hospital-acquired infections, readmission, and recovery time after major procedures. The findings underscore the essential role of nurse-led initiatives in multidisciplinary care teams and highlight the value of ongoing professional development and policy support to optimize intervention delivery. The study concludes that investment in nursing capacity-building and the integration of standardized care pathways can substantially advance patient outcomes, recommending further multicenter research to standardize best practices in diverse healthcare settings.

Keywords: nursing interventions, patient recovery, evidence-based practice, clinical outcomes, hospital care

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF COMMUNITY HEALTH NURSING PROGRAMS IN RURAL AREAS

Assoc. Prof. Dr. Farah Naz

Allama Iqbal Open University, Pakistan

Abstract

This research assesses the performance of community health nursing programs implemented in rural districts, focusing on maternal and child health, vaccination coverage, and chronic disease management. Employing program evaluation methodologies, the study triangulated health outcome statistics, nurse field reports, and surveys of beneficiaries to generate a comprehensive impact profile. The results demonstrate increased immunization rates, improved prenatal visit adherence, and a reduction in unmanaged hypertension and diabetes cases. Notably, community nursing interventions also fostered health literacy, empowered women in family health decision-making, and expanded access to preventive services. Yet, significant barriers related to resource allocation, nurse workload, and outreach in remote regions persisted. The conclusion affirms that community health nursing programs are integral to rural healthcare improvement and calls for policy interventions to address staffing and infrastructure gaps, reinforcing the importance of community engagement in sustainable rural health development.

Keywords: community nursing, rural health, program evaluation, public health, healthcare access

NURSES' ROLE IN PROMOTING MENTAL HEALTH AWARENESS AMONG ADOLESCENTS

Dr. Maria Lopez

Universidad de los Andes, Colombia

Catalina Rojas

Universidad de los Andes, Colombia

Sofia Alvarez

Universidad de los Andes, Colombia

Abstract

This paper investigates the proactive roles nurses play in advancing mental health awareness and early intervention among adolescent populations. Through focus groups with secondary school nurses and a cross-sectional survey involving over 500 high school students, the research identifies nursing-led strategies, such as psychoeducation workshops, peer-support initiatives, and early symptom screening, that contribute to destigmatizing mental illness and increasing help-seeking behaviors. Data analysis reveals that students exposed to regular nurse-facilitated education sessions displayed significantly higher mental health literacy and willingness to access school-based health resources. The study highlights the necessity of cross-sector collaboration between health and education sectors, suggesting the integration of mental health promotion into standard school curricula and emphasizing ongoing training in youth mental health for school nurses. Ultimately, strengthening the school nursing infrastructure offers substantial potential for addressing unmet adolescent mental health needs at the community level.

Keywords: mental health, adolescents, health education, school nursing, awareness

ASSESSING THE QUALITY OF CARE IN INTENSIVE CARE UNITS THROUGH NURSING AUDITS

Claudia Herrera, Prof. Dr. Ignacio Soto
Universidad de Buenos Aires, Argentina

Abstract

This study examines the effectiveness of nursing audit methodologies in evaluating and enhancing quality of care in intensive care units (ICUs). Using a multi-institutional case study approach involving four tertiary care hospitals, the research systematically audited nursing records, adherence to care bundles, and incident reporting over a twelve-month period. Quantitative outcomes demonstrated that regular audits facilitated improvements in infection control, medication management, and compliance with ICU protocols. Qualitative feedback from staff revealed that audit practices not only heightened accountability but also promoted a culture of collective problem-solving and professional growth. The implementation of audit findings was linked to a marked reduction in adverse patient events and improved satisfaction among both staff and patients' families. The study concludes by recommending the institutionalization of nursing audits as a continuous quality improvement strategy in critical care environments and the provision of targeted audit training for nurse leaders.

Keywords: intensive care, nursing audit, quality of care, patient safety, continuous improvement

THE INFLUENCE OF CONTINUOUS PROFESSIONAL DEVELOPMENT ON NURSING PERFORMANCE

Isabel Vargas

Dr. Felipe Molina

Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile

Abstract

This research explores the impact of continuous professional development (CPD) programs on the clinical competencies and performance of hospital nurses. Through structured observations, competency assessments, and semi-structured interviews with CPD participants, the study found that targeted educational interventions—including simulation training, workshops, and interdisciplinary collaboration—significantly enhanced nurses' technical skills, communication abilities, and confidence in patient care settings. The findings reveal a positive association between CPD engagement and improved patient care metrics, including reduced error rates and higher patient satisfaction scores. The study also discusses organizational facilitators and barriers to CPD participation, highlighting leadership support and protected learning time as critical enablers. In conclusion, the authors advocate for the formal integration of CPD into institutional policy and resource planning, emphasizing its centrality to workforce retention, adaptation to evolving medical standards, and sustained improvement in care quality.

Keywords: nursing education, professional development, workforce training, performance, competency

EXPLORING PATIENT SATISFACTION LEVELS IN HOSPITAL NURSING SERVICES

Marie Santos

Assoc. Prof. Dr. Juan dela Cruz

University of the Philippines, Philippines

Abstract

This study evaluates patient satisfaction with nursing services in a major metropolitan hospital. Using validated patient satisfaction questionnaires, the researchers collected and analyzed data from over 600 recently discharged patients, focusing on key service dimensions such as nurse-patient communication, responsiveness, empathy, and professionalism. The results indicate that clear communication and compassionate bedside care are the most influential factors in overall satisfaction, while areas related to nurse availability and wait times require further improvement. Demographic variables such as age and education also affect satisfaction ratings. The findings underscore the importance of patient-centered care approaches, ongoing feedback collection, and regular staff training to enhance the patient experience. The study advocates that patient satisfaction metrics should be systematically integrated into hospital quality management practices.

Keywords: patient satisfaction, nursing services, hospital care, patient-centered care, service quality

NURSES' PERCEPTIONS OF TELEHEALTH IMPLEMENTATION DURING PANDEMIC TIMES

Dr. Angelica Reyes

Ramon Bautista

University of São Paulo, Brazil

Abstract

Focusing on the COVID-19 pandemic, this paper examines nurses' perceptions and experiences with telehealth adoption in both acute and primary care settings. Through qualitative interviews with front-line nurses, the study identifies perceived benefits of telehealth—including continuity of care, greater accessibility for vulnerable patients, and reduced infection risks—as well as challenges such as digital literacy barriers, technology fatigue, and the limitations of remote assessment for critical conditions. Nurses stress that successful telehealth integration depends heavily on institutional support, adequate training, and clear communication protocols. The findings offer strategic recommendations for designing telehealth programs that meet both provider and patient needs, emphasizing equity, data privacy, and professional collaboration to optimize remote healthcare delivery.

Keywords: telehealth, nursing, pandemic, digital health, COVID-19

INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN NURSE STAFFING AND PATIENT SAFETY OUTCOMES

Lea Fernando, Prof. Dr. Michael Tan, Cristina Lopez

National University of Singapore, Singapore

Abstract

This study investigates the association between nurse staffing levels and patient safety outcomes in high-volume hospital environments. Using retrospective analysis of staffing logs and adverse event records, the research demonstrates that higher nurse-to-patient ratios correlate with significant reductions in falls, medication errors, and patient mortality. The analysis also considers contextual factors such as nurse skill mix, unit acuity, and staff turnover. The authors discuss resource allocation challenges and policy implications, advocating for evidence-based staffing standards and the adoption of real-time workload monitoring systems. The conclusion emphasizes that optimal nurse staffing is a fundamental determinant of patient safety, highlighting the need for ongoing research and advocacy to shape safe staffing policies across healthcare systems.

Keywords: nurse staffing, patient safety, hospital outcomes, healthcare policy, workforce planning

STRATEGIES FOR IMPROVING NURSING CARE IN CHRONIC DISEASE MANAGEMENT

Dr. Josefa Mendoza

Assis. Prof. Dr. Ricardo Pineda

Angela Cruz

Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico

Abstract

This paper reviews and analyzes strategies for enhancing nursing care in the management of chronic diseases such as diabetes, hypertension, and COPD. Drawing on case studies and clinical practice guidelines, the research highlights multidisciplinary coordination, patient education, and regular monitoring as central strategies. The effective use of technology—such as electronic health records and remote monitoring devices—is also examined for its impact on care continuity and early intervention. Barriers to implementation, including limited resources and patient adherence challenges, are discussed with recommendations for targeted nurse training, patient engagement initiatives, and system-level reforms. The findings argue that empowering nurses as coordinators of chronic disease management not only improves health outcomes but also optimizes healthcare system efficiency.

Keywords: chronic disease management, nursing care, patient education, multidisciplinary care, clinical guidelines

PHARMACEUTICAL NANOPARTICLE DELIVERY SYSTEMS FOR TARGETED CANCER THERAPY

Prof. Dr. Adeel Khan

Dr. Maria Iqbal

Assis. Prof. Dr. Salman Ahmed

Department of Pharmacy, Aga Khan University, Pakistan

Abstract

This study presents advanced pharmaceutical nanoparticle delivery systems engineered for targeted cancer therapy, addressing limitations of conventional treatments such as off-target toxicity and limited drug bioavailability. The research focuses on nanoparticle formulations including liposomes, dendrimers, and polymeric micelles designed to enhance drug solubility, stability, and tumor site specificity. Experiments utilize surface modifications with targeting ligands (e.g., antibodies, peptides) to improve selectivity and cellular uptake in tumor cells, verified by in vitro and in vivo analyses. Safety profiles, pharmacokinetics, and therapeutic efficacy are assessed with comparative studies showing increased tumor suppression and reduced systemic side effects. The paper discusses translation challenges, regulatory considerations, and strategies for scaling up nanoparticle drug production. Emphasis is placed on multidisciplinary approaches integrating nanotechnology, pharmacology, and oncology to optimize personalized cancer treatments. These findings demonstrate that nanoparticle-based delivery offers significant potential to transform the future landscape of cancer therapy.

Keywords: nanomedicine, targeted delivery, cancer therapy, nanoparticles, drug bioavailability

ADVANCES IN HERBAL MEDICINE FORMULATIONS AND THEIR PHARMACOLOGICAL EFFECTS

Dr. Hina Shah

Assoc. Prof. Dr. Farhan Ali

Department of Pharmacognosy, University of Karachi, Pakistan

Abstract

This research explores advances in herbal medicine formulations, focusing on novel extraction, standardization, and blending methods that maximize pharmacological efficacy and safety. The study reviews a spectrum of phytochemicals isolated from plants with anti-inflammatory, antioxidant, and antimicrobial properties, and assesses their bioactivity through cell-based and animal models. Innovative delivery vehicles such as encapsulation and controlled-release systems are trialed to improve stability and bioavailability of active plant ingredients. Comparative clinical evaluations highlight reduced side effects, improved patient compliance, and synergistic efficacy with conventional therapies. The research highlights advances in molecular-level understanding of mechanisms, quality control standards, and the regulatory landscape required for pharmaceutical integration. Conclusions advocate for continued development of scientifically validated herbal medicines and their application in integrative medicine.

Keywords: herbal medicine, phytochemistry, pharmacological effects, formulation, integration

NOVEL SYNTHETIC ROUTES FOR ANTI-DIABETIC DRUGS AND THEIR BIOAVAILABILITY

Prof. Dr. Rizwan Qureshi

Dr. Sana Tariq

Dr. Imran Bashir

Department of Pharmaceutical Chemistry, University of Hyderabad, India

Abstract

The study details innovative synthetic pathways for the development of anti-diabetic drugs designed to improve molecular stability, selectivity, and absorption profiles. A variety of strategies involving green chemistry principles, catalytic methodologies, and high-throughput screening are employed to synthesize novel compounds with optimal pharmacokinetic characteristics. Bioavailability is quantified through in vitro permeability assays and in vivo pharmacokinetic tests, demonstrating improved absorption and extended half-life compared to existing therapies. The work examines glycemic control effects, metabolic safety, and side-effect profiles, with particular attention on formulation optimization for oral delivery. The research underlines challenges like cost-effectiveness, scalability, and regulatory hurdles. The study suggests future research directions in personalized anti-diabetic therapy, highlighting the growing role of innovative synthetic chemistry in combating diabetes worldwide.

Keywords: anti-diabetic, synthesis, bioavailability, pharmacokinetics, drug design

APPLICATION OF LIPOSOMAL CARRIERS IN ANTIVIRAL THERAPY

Dr. Mei-Ling Chen

Assis. Prof. Dr. Wei-Hao Lin

Department of Pharmaceutical Sciences, National Taiwan University, Taiwan

Abstract

This research examines the use of liposomal carriers as a platform for effective antiviral drug delivery, focusing on improving drug targeting, uptake, and retention in infected tissues. Experimental liposomal formulations encapsulate a variety of antiviral agents, enhancing their stability and prolonging systemic circulation. Methods include characterization of particle size, surface charge, and encapsulation efficiency using imaging and analytical techniques. Preclinical and clinical data show increased antiviral activity, minimized toxicity, and improved patient compliance. Mechanisms such as immune modulation and fusion with cellular membranes are investigated, supporting robust drug delivery in challenging viral infections. The study reviews manufacturing processes, regulatory issues, and advances in personalized liposomal therapy. Liposomal carriers are positioned as a promising frontier for both current and future antiviral strategies.

Keywords: liposomes, antiviral therapy, drug delivery, nanocarriers, clinical efficacy

PHARMACOKINETIC MODELING OF NEW ANTI-INFLAMMATORY COMPOUNDS

Prof. Dr. Chun-Yi Huang

Department of Pharmacology, National University of Singapore, Singapore

Abstract

The paper presents comprehensive pharmacokinetic modeling and simulation of newly synthesized anti-inflammatory compounds to optimize dosage regimens and predict clinical performance. Utilized models include compartmental analysis, nonlinear mixed-effects modeling, and physiologically-based pharmacokinetic models validated with experimental absorption, distribution, metabolism, and excretion data. Results reveal significant differences in compound bioavailability and clearance rates, suggesting tailored dosing for special populations. The simulations are correlated with efficacy and safety profiles to support rational clinical trial design. The study emphasizes the synergy between experimental pharmacokinetics and computational modeling, underscoring its value in early-phase drug development. Policy implications include regulatory support for modeling and simulation in pharmaceutical approval processes.

Keywords: pharmacokinetics, anti-inflammatory, drug modeling, dosage regimen, simulation

EVALUATION OF DRUG INTERACTIONS IN POLYPHARMACY AMONG ELDERLY PATIENTS

Dr. Salim Al-Mahri

Department of Clinical Pharmacy, Sultan Qaboos University, Oman

Abstract

This study analyzes the prevalence and clinical consequences of drug-drug interactions among elderly patients experiencing polypharmacy in hospital and primary care settings. Data are collected via electronic medical records, structured patient interviews, and automated drug interaction screening tools. The analysis identifies common interaction patterns, risk factors, and associated adverse drug events, highlighting the complexity of managing multifaceted medication regimens in older adults. Clinical guidelines for medication reconciliation, patient education, and pharmacist intervention are proposed to minimize risks and improve safety. The study draws attention to the need for multidisciplinary approaches and continuous monitoring in elderly patient care, offering a knowledge base for policy development and clinical practice optimization.

Keywords: polypharmacy, drug interactions, elderly, clinical pharmacy, medication safety

DESIGN AND DEVELOPMENT OF SUSTAINED-RELEASE ORAL DOSAGE FORMS

Prof. Dr. Khalid Al-Riyami

Department of Pharmaceutics, Oman Medical College, Oman

Dr. Mariam Al-Busaidi

Department of Pharmaceutics, Oman Medical College, Oman

Dr. Saif Al-Hinai

Department of Pharmaceutics, Oman Medical College, Oman

Abstract

This research focuses on the formulation strategies and industrial development of sustained-release oral dosage forms to improve therapeutic efficacy and patient adherence. Innovative matrix systems, polymer blends, and osmotic delivery mechanisms are designed, tested for release kinetics, and optimized through in vitro dissolution and in vivo bioavailability studies. The paper examines applications for cardiovascular, diabetic, and neuropharmacological medications, presenting data on enhanced steady-state plasma concentrations and reduced dosing frequency. Manufacturing challenges, stability testing, and regulatory considerations are discussed, with emphasis on cost-effectiveness and scalability for the local pharmaceutical sector. The study concludes that sustained-release formulations significantly enhance medication management for chronic diseases, supporting personalized therapeutic approaches.

Keywords: sustained-release, oral dosage forms, drug development, formulation, kinetics

INVESTIGATING THE ANTICANCER POTENTIAL OF MARINE-DERIVED COMPOUNDS

Dr. Layla Al-Farsi

Assis. Prof. Dr. Nasser Al-Hadhrami

Department of Pharmacognosy, University of Nizwa, Oman

Abstract

This study investigates the bioactivity and pharmacological mechanisms of marine-derived compounds for anticancer therapy. Collection and extraction protocols utilize unique marine sources including sponges, algae, and marine bacteria from Oman's coastal regions. Bioassays in cell lines and animal models indicate cytotoxic, apoptotic, and anti-metastatic properties, with molecular docking and pathway analysis identifying novel compound classes and molecular targets. The challenges of sustainable sourcing, scale-up of extraction, and regulatory approval are explored. The research underscores marine environments as hotspots for drug discovery and the integration of marine-based therapeutics into cancer treatment pipelines. Implications for personalized medicine and conservation strategies are discussed.

Keywords: marine-derived compounds, anticancer, pharmacognosy, drug development, cellular mechanisms

INNOVATIVE STRUCTURAL DESIGN APPROACHES FOR EARTHQUAKE-RESISTANT BUILDINGS USING ADVANCED SIMULATION TOOLS

Prof. Dr. Nurzat Sadykova

Department of Civil Engineering, Kyrgyz Technical University, Kyrgyzstan

Assoc. Prof. Dr. Bakytbek Tursunov

Department of Civil Engineering, Kyrgyz Technical University, Kyrgyzstan

Aizada Kalykova

Department of Civil Engineering, Kyrgyz Technical University, Kyrgyzstan

Abstract

Recent advancements in earthquake-resistant building design have leveraged sophisticated simulation tools to enhance structural resilience. This paper systematically reviews innovative design methodologies incorporating finite element analysis (FEA), computational fluid dynamics (CFD), and performance-based design to optimize structural response under seismic loads. Emphasis is placed on integrating shear walls, cross-bracing, and base isolation techniques for energy dissipation and torsional stability. The utility of Building Information Modeling (BIM) and structural health monitoring (SHM) technologies is explored concerning risk assessment and real-time damage prediction. Challenges related to material costs, implementation complexity, and code compliance in developing nations are discussed. Through case studies and simulation data, the study highlights improvements in safety margins for critical infrastructure including hospitals and emergency facilities. It proposes a framework for interdisciplinary collaboration among engineers, architects, and computational scientists aiming to produce cost-effective, sustainable earthquake-resistant designs adaptable to diverse geotechnical conditions. Finally, policy implications for advancing seismic safety regulations with simulation-driven evidence are considered.

Keywords: earthquake-resistant design, structural simulation, finite element analysis, seismic energy dissipation, building information modeling

OPTIMIZATION OF HYDROPOWER TURBINE BLADES THROUGH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANALYSIS

Dr. Ulan Bekturov

Nursultan Tashiev

Zhympargul Aitmatova

Department of Mechanical Engineering, Kyrgyz National University, Kyrgyzstan

Abstract

Hydropower remains a pivotal renewable energy source, wherein turbine blade design critically influences system efficiency and reliability. This study employs computational fluid dynamics (CFD) to optimize turbine blade geometries for enhanced hydrodynamic performance and reduced cavitation. CFD simulations explore variables such as blade curvature, angle of attack, and surface roughness, assessing their effects on fluid flow, pressure distribution, and turbulent wake formation. The research integrates multi-objective optimization algorithms targeting maximized power output and durability in variable flow conditions. Results demonstrate significant efficiency gains through refined blade shapes, offering potential for extending turbine lifespan and decreasing maintenance costs. Application considerations for integration into existing hydropower facilities in Kyrgyzstan's topographically challenging regions are discussed. This work contributes valuable insights guiding the next generation of hydropower technology toward sustainable and efficient energy production.

Keywords: hydropower, turbine blade, computational fluid dynamics, blade optimization, renewable energy

SMART SENSOR INTEGRATION FOR IMPROVED ROAD SAFETY IN AUTONOMOUS VEHICLE SYSTEMS

Assoc. Prof. Dr. Aibek Mamatov , Tilek Kudaibergenov, Asel Zhantoro

Department of Electrical Engineering, Asmara University, Eritrea

Abstract

The integration of smart sensor networks into autonomous vehicle systems plays a critical role in enhancing road safety and operational efficiency. This paper investigates the deployment of multi-modal sensors including LiDAR, radar, and ultrasonic devices, and their algorithmic fusion to improve object detection, environmental perception, and decision-making processes. Utilizing simulation models and field tests conducted in Eritrean traffic environments, the study analyzes sensor accuracy, latency, and reliability under diverse weather and lighting conditions. Outcomes indicate substantial improvements in collision avoidance and pedestrian safety when applying advanced sensor fusion algorithms. The research addresses limitations in sensor coverage and the need for real-time data processing capabilities to ensure fail-safe operation. The paper advocates for policy frameworks encouraging sensor technology standardization and infrastructure upgrades to support autonomous vehicle adoption in developing countries. These findings underscore the future potential of sensor-enhanced autonomous transport systems for safer urban mobility.

Keywords: autonomous vehicles, smart sensors, road safety, sensor fusion, traffic management

DEVELOPMENT OF LOW-COST SOLAR WATER HEATING SYSTEMS FOR RURAL COMMUNITIES

Prof. Dr. Mekdes Abebe

Abel Getachew

Fikirte Degu

Department of Renewable Energy Engineering, Asmara College of Health Sciences, Eritrea

Abstract

Energy access remains a significant challenge in rural communities, where solar water heating systems offer sustainable solutions to meet domestic and agricultural needs. This research presents the design, prototyping, and field testing of affordable and locally manufacturable solar water heaters tailored to Eritrea's climate and socio-economic context. The system features optimized collector designs, insulation materials, and storage tanks to maximize thermal efficiency while minimizing costs. Thermodynamic modeling and energy performance simulations guide iterative enhancements under seasonal variability. Field data demonstrate substantial reductions in fuelwood consumption and indoor air pollution, contributing to health and environmental benefits. Social acceptance and maintenance practices are assessed through user surveys. Findings suggest that widespread adoption can significantly improve living standards and promote renewable energy uptake. The paper concludes with recommendations for scaling production, government incentives, and community training programs to foster sustainable energy independence.

Keywords: solar water heating, rural energy, renewable energy, energy efficiency, Eritrea

ENHANCED BIOMASS GASIFICATION TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE ENERGY PRODUCTION

Dr. Tesfaye Alemu
Assoc. Prof. Dr. Mulugeta Fikadu
Sara Kidane

Department of Mechanical Engineering, Addis Ababa University, Ethiopia

Abstract

Biomass gasification offers a promising pathway for sustainable energy generation, converting agricultural and forest residues into clean syngas fuel. This study evaluates recent technological advancements improving gasifier design, feedstock preparation, and system control to enhance energy efficiency and gas quality. Experimental setups and computational models analyze the impact of operating parameters such as temperature, pressure, and gasifying agents. The research highlights the integration of catalytic tar reforming and novel reactor geometries to reduce tar and particulate emissions. Applications for decentralized power generation in rural Ethiopian communities are explored, emphasizing socio-economic and environmental benefits. Challenges regarding cost, maintenance, and feedstock logistics are discussed with potential solutions. The paper advocates policies supporting biomass energy infrastructure development as a component of Ethiopia's renewable energy portfolio aiming at rural electrification and climate mitigation.

Keywords: biomass gasification, renewable energy, sustainable energy, syngas, environmental technology

STRUCTURAL OPTIMIZATION OF BAMBOO-BASED COMPOSITE MATERIALS FOR GREEN CONSTRUCTION

Hanna Girma ,Dr. Yonas Tilahun ,Prof. Dr. Lemlem Tadesse

Department of Civil Engineering, Addis Ababa University, Ethiopia

Abstract

Sustainable construction materials are critical for reducing the carbon footprint of urban development. This research investigates structural optimization of bamboo-based composites to improve mechanical properties and durability while maintaining environmental benefits. Experimental and simulation techniques assess tensile strength, flexural rigidity, and impact resistance of composites reinforced with bamboo fibers. The study examines matrix-fiber bonding, moisture absorption, and thermal stability. Results demonstrate that optimized composites meet or exceed conventional material standards for certain load-bearing applications. The paper discusses challenges with manufacturing consistency and bio-degradation, proposing treatments to enhance longevity for Ethiopian climatic conditions. Implementing bamboo composites supports green building practices and resource efficiency for sustainable urban growth. Recommendations include developing standards and promoting bamboo plantations as renewable resources.

Keywords: bamboo composites, green construction, structural optimization, sustainable materials, Ethiopia

THERMAL MANAGEMENT IN ELECTRIC VEHICLES USING ADVANCED PHASE CHANGE MATERIALS

Assoc. Prof. Dr. Pavel Smirnov , Dr. Irina Volkova, Mikhail Andreev

Department of Mechanical Engineering, Saint Petersburg State University, Russia

Abstract

Effective thermal management of electric vehicle (EV) batteries is vital for performance, safety, and lifespan. This paper examines the utilization of advanced phase change materials (PCMs) as passive cooling solutions in EV battery systems. The study presents experimental characterization of novel PCM composites with tailored melting points and enhanced thermal conductivity. Thermal simulations model heat distribution and temperature regulation under varying driving conditions. Results highlight improved temperature uniformity and delay in overheating, contributing to battery efficiency and durability. The paper also considers PCM integration challenges, such as material containment and mechanical stability under cyclic thermal loads. It proposes design recommendations for optimizing PCM-based systems, with implications for EV manufacturers seeking environmentally friendly and cost-effective thermal management technologies in Russia's automotive industry.

Keywords: thermal management, electric vehicles, phase change materials, battery cooling, energy efficiency

AI-BASED PREDICTIVE CONTROL SYSTEMS FOR INDUSTRIAL ROBOTIC APPLICATIONS

Prof. Dr. Elena Kravchenko, Dmitry Belov, Alexei Ivanov

Department of Robotics and Automation, Moscow State University, Russia

Abstract

Artificial intelligence (AI) has transformed industrial robotics by enabling predictive control systems that enhance efficiency, accuracy, and adaptability. This study develops AI-driven control algorithms utilizing machine learning and real-time sensor data to optimize robotic task execution and fault prediction. Experimental implementation on robotic manipulators demonstrates reductions in operational downtime and improvements in precision for tasks such as assembly, welding, and material handling. The paper explores challenges in integrating AI systems with existing industrial infrastructures and outlines solutions for scalability and cybersecurity. It emphasizes the potential economic and labor benefits from adopting AI predictive controls in manufacturing processes. The results contribute to advancing smart factory technologies and promoting Industry 4.0 initiatives within Russia's industrial sector.

Keywords: artificial intelligence, predictive control, industrial robotics, machine learning, smart manufacturing

IMMUNE RESPONSE AND VACCINE EFFICACY IN DAIRY CATTLE

Prof. Dr. Reza Moradi, Dr. Sahar Ahmadi, Ali Tavakoli

Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Iran

Abstract

This study provides a comprehensive evaluation of immune response and vaccine efficacy in dairy cattle, focusing on both humoral and cellular immune mechanisms. Vaccination remains the cornerstone of preventive medicine in livestock, yet its effectiveness can be influenced by breed, age, nutrition, and environmental stressors. The authors conducted multi-phase field trials including serological assays, lymphocyte proliferation tests, and clinical monitoring on vaccinated herds in northern Iran. Key findings demonstrate variable antibody titers among different cattle breeds, temporal changes in immune markers following vaccination, and correlations between nutrition status and immunogenicity. Results reveal that while commercial vaccines are effective in reducing disease prevalence, instances of partial protection and booster necessity persist. Importantly, improved immune response is observed in herds managed with optimal nutrition and stress mitigation strategies. The study suggests targeting vaccine protocols to herd-specific characteristics and integrating proactive nutrition and welfare practices to optimize immunization outcomes, thus advancing dairy herd health and productivity.

Keywords: vaccine efficacy, dairy cattle, immune response, preventive medicine, serological assays

ADVANCES IN DIAGNOSIS AND TREATMENT OF CANINE PARVOVIRUS INFECTIONS

Assoc. Prof. Dr. Nima Ghasemi

Leila Farhadi

Department of Clinical Sciences, Shiraz University, Iran

Abstract

Canine parvovirus (CPV) remains a critical pathogen affecting global canine populations, causing severe gastroenteritis and high mortality rates in puppies. This paper reviews recent advancements in diagnostic techniques—especially molecular assays and rapid antigen testing—used in early detection of CPV infections. Treatment strategies now emphasize a combination of supportive care, immunomodulation, and targeted antiviral therapy. The authors detail clinical case studies highlighting improved prognosis with aggressive fluid therapy and adjunctive agents. The abstract assesses vaccine breakthroughs and the emerging role of oral and injectable biologics. The integration of molecular epidemiology enables tracking of viral variants and informs ongoing vaccine development. Results point to substantial decreases in fatality rates through early intervention and advanced therapeutic regimens. The paper concludes by recommending further research on CPV immunology and the development of novel antivirals to meet the evolving challenge of viral mutations and resistance.

Keywords: canine parvovirus, diagnosis, treatment, immunology, viral variants

EVALUATION OF ANTI-PARASITIC DRUGS IN SHEEP FLOCKS: RESISTANCE PATTERNS

Dr. Hossein Kiani

Mohammad Rezaei

Department of Parasitology, Tabriz University, Iran

Abstract

This research examines the efficacy and resistance patterns of anti-parasitic drugs used in sheep flocks under different management systems. Persistent drug resistance among gastrointestinal parasites threatens animal health and agricultural productivity. The study involved longitudinal sampling of fecal specimens, molecular resistance profiling, and drug rotation experiments across multiple flocks. Findings reveal rising trends in resistance against commonly used anthelmintics, correlated with improper dosage protocols and lack of drug rotation. The authors report success with integrated management strategies that combine targeted medication, pasture rotation, and parasite monitoring. Effective resistance management is shown to hinge on coordinated diagnostic surveillance and evidence-based treatment protocols. The paper recommends regular parasitological testing and strategic drug deployment to preserve treatment efficacy and reduce evolutionary pressure for resistance.

Keywords: anti-parasitic drugs, sheep flocks, resistance patterns, parasite management, anthelmintics

PREVALENCE AND MOLECULAR CHARACTERIZATION OF AVIAN INFLUENZA IN POULTRY FARMS

Dr. Meron Bekele

Assoc. Prof. Dr. Tsegaye Alemu

Department of Microbiology, Asmara College of Health Sciences, Eritrea

Abstract

Avian influenza poses significant risks to poultry farms due to its rapid transmission and potential for zoonotic outbreaks. This study investigates the prevalence and molecular characteristics of avian influenza viruses in commercial poultry operations near Asmara, Eritrea. By combining RT-PCR screening with phylogenetic analysis, the researchers identified predominant virus strains and mutation profiles. Epidemiological data highlight seasonal spikes in infection rates and link outbreaks to farm management practices and wild bird migration. The findings underscore the necessity of molecular surveillance for early detection and containment, as well as targeted biosecurity interventions, vaccination campaigns, and information dissemination among farm operators. These insights are crucial for national and regional disease control strategies aimed at mitigating economic losses and public health threats.

Keywords: avian influenza, poultry farms, molecular characterization, surveillance, biosecurity

NUTRITIONAL INTERVENTIONS TO IMPROVE REPRODUCTION IN DAIRY GOATS

Mesfin Tesfaye

Dr. Hana Belay

Department of Animal Science, Mazegga College of Agriculture, Eritrea

Abstract

The importance of diet in optimizing reproductive performance in dairy goats is the basis for this field research, which assesses targeted nutritional interventions over several breeding seasons. The authors conducted randomized trials on mineral supplementation, protein ratios, and forage quality in goat herds across the Maekel Region. Results detail marked improvements in fertility rates, kidding intervals, and offspring health indices associated with balanced micronutrient intake. Blood biochemistry and reproductive hormone monitoring confirm the physiological benefits of the intervention protocols. The study further explores the interactions between nutrition, environmental stress factors, and breed genetics. Conclusions emphasize the need for continued education, extension services, and policy support for smallholder farmers implementing such interventions to maximize herd productivity and economic resilience.

Keywords: nutrition, dairy goats, reproduction, fertility intervention, herd productivity

STRATEGIES FOR CONTROLLING BOVINE TUBERCULOSIS IN LARGE HERDS

Dr. Ahmed Hassan

Prof. Dr. Mohamed El-Sayed

Department of Veterinary Medicine, University of Belgrade, Serbia

Abstract

Bovine tuberculosis remains a significant challenge for animal health management and public safety, particularly in large herds. This study explores strategic control measures including improved diagnostics (e.g., interferon-gamma assays), robust quarantine protocols, and herd-level vaccination practices. By analyzing multi-year surveillance data, the authors demonstrate the impact of standardized testing and culling policies on reducing disease incidence. Case studies of herd-level implementations reveal the importance of farmer education, government-initiated monitoring, and financial incentives for compliance. Further discussion covers zoonotic implications, cross-species transmission concerns, and the role of molecular epidemiology in tailoring vaccination programs. The research supports comprehensive control strategies, advocating for coordinated multi-agency approaches to reduce TB prevalence and economic losses associated with large scale outbreaks.

Keywords: bovine tuberculosis, herd management, diagnostics, vaccination, control strategies

EPIDEMIOLOGICAL STUDY OF FLEA-BORNE DISEASES IN DOMESTIC CATS

Sara Kamal
Dr. Youssef Mansour
Ali El-Mahdy

Department of Epidemiology, University of Novi Sad, Serbia

Abstract

This epidemiological investigation examines flea-borne diseases in domestic cats across urban and rural households. The study systematically analyzes clinical records, owner surveys, and laboratory results for major pathogens (including *Rickettsia felis* and *Bartonella henselae*). Prevalence rates differ by household environment, grooming practices, and regional climate patterns. Molecular diagnostics and seroprevalence findings reveal seasonal variations and links to vector control failures. Case reports highlight zoonotic risks associated with cat ownership for immunocompromised populations. The abstract recommends integrated vector management, routine veterinary check-ups, and owner education to curtail flea-borne disease burdens. The research offers actionable insights for public health officials, veterinarians, and pet owners.

Keywords: flea-borne diseases, domestic cats, epidemiology, vector management, zoonosis

EFFECT OF ENVIRONMENTAL STRESS ON POULTRY IMMUNE FUNCTION

Dr. Hani Salah

Department of Animal Physiology, Cairo University, Egypt

Nouran Abdelrahman

Department of Animal Physiology, Cairo University, Egypt

Abstract

Environmental stressors such as heat, humidity, and overcrowding are major contributors to immune dysfunction in commercial poultry operations. This study evaluates the physiological and immunological consequences of acute and chronic stress exposure in broiler chickens and layers. Using biomarkers including cytokine profiles, lymphocyte counts, and oxidative stress markers, the authors document compromised flock immunity and increased susceptibility to infectious diseases. Experimental trials with stress mitigation interventions—such as cooling systems, dietary supplements, and optimized stocking densities—demonstrate partial restoration of immune health and improved disease resistance. The abstract highlights the imperative for environmental management in poultry production facilities to sustain avian health and maximize economic return. Policy recommendations encourage industry-wide adoption of welfare standards, preventive veterinary care, and environmental monitoring.

Keywords: environmental stress, poultry, immune function, biomarkers, disease resistance

