



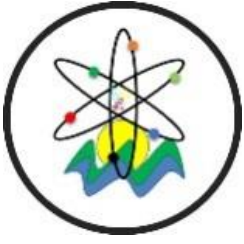
Black Sea Journal of Engineering and Science

Volume 7 | Issue 4



ISSN: 2619 - 8991


BS Journals



BLACK SEA JOURNAL OF ENGINEERING AND SCIENCE
(BSJ ENGIN SCI)


BS Journals

Black Sea Journal of Engineering and Science (BSJ Eng Sci) is a double-blind peer-reviewed, open-access international journal published electronically 6 times (January, March, May, July, September, and November) in a year by since January 2018. It publishes, in English and Turkish, full-length original research articles, innovative papers, conference papers, reviews, mini-reviews, rapid communications or technical note on advances in a wide range of scientific disciplines from all fields of engineering and science and from any source.

ISSN 2619 - 8991

Phone: +90 362 408 25 15

Fax: +90 362 408 25 15

Email: bsjsci@blackseapublishers.com

Web site: <http://dergipark.gov.tr/bsengineering>

Sort of publication: Periodically 6 times (January, March, May, July, September, and November) in a year

Publication date and place: July 15, 2024 - Samsun, TÜRKİYE

Publishing kind: Electronically

OWNER

Assoc. Prof. Dr. Uğur ŞEN

DIRECTOR IN CHARGE

Prof. Dr. Hasan ÖNDER

EDITOR BOARDS

EDITOR IN CHIEF

Prof. Dr. Hasan ÖNDER, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Uğur ŞEN, Ondokuz, Mayıs University, TÜRKİYE

SECTION EDITORS*

Prof. Dr. Ahmet UYANIK, Section Editor of Chemistry, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Amila Sandaruwan RATNAYAKE, Section Editor of Geological Engineering, Uva Wellassa University, SRI LANKA

Prof. Dr. Berna KILIÇ, Section Editor of Fisheries Engineering, Ege University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Çiğdem TAKMA, Section Editor of Statistics, Ege University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Ertan BUYRUK, Section Editor of Mechanical Engineering, Sivas Cumhuriyet University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Fahrul Zaman HUYOP, Section Editor of Biology, Universiti Teknologi Malaysia, MALAYSIA

Prof. Dr. Fauziatul FAJAROH, Section Editor of Chemical Engineering, Universitas Negeri Malang, INDONESIA

Prof. Dr. Fuad ALHAJOMAR, Section Editor of Electrical and Electronics Engineering, University of South Wales, UNITED KINGDOM

Prof. Dr. Gökhan CİVELEKOĞLU, Section Editor of Environmental Engineering, Akdeniz University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Hasan TANAK, Section Editor of Physics, Amasya University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Hasan TEMİZ, Section Editor of Food Engineering, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Hojjat SADEGHİ-ALIABADI, Section Editor of Chemistry, Isfahan University, IRAN

Prof. Dr. İbrahim Özgür DENEME, Section Editor of Civil Engineering, Aksaray University, TÜRKİYE

Prof. Dr. İbrahim UĞUR, Section Editor of Mining Engineering, Süleyman Demirel University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Jamrun EBBAH, Section Editor of Fisheries Engineering, Mindanao State University, PHILIPPINES

Prof. Dr. Messaoud SAIDANI, Section Editor of Civil Engineering, Coventry University, UNITED KINGDOM

Prof. Dr. Perarasu THANGAVELU, Section Editor of Aerospace Engineering, Anna University, INDIA

Prof. Dr. Sema PALAMUTCU, Section Editor of Textile Engineering, Pamukkale University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Ümit Cafer YILDIZ, Section Editor of Forest Engineering, Karadeniz Technical University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Belgin KARABACAKOĞLU, Section Editor of Chemical Engineering, Eskişehir Osmangazi University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Bülent BOSTANCI, Section Editor of Geomatics Engineering, Erciyes University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Edit MİKÓ, Section Editor of Agricultural Engineering, University of Szeged, HUNGARY

Assoc. Prof. Dr. Ergün EKİCİ, Section Editor of Industrial Engineering, Çanakkale Onsekiz Mart University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Helal Uddin MOLLA, Section Editor of Physics, Rajshahi University of Engineering and Technology, BANGLADESH

Assoc. Prof. Dr. Kadyrbay CHEKİROV, Section Editor of Biology, Kyrgyz Turkish Manas University, KYRGYZSTAN

Assoc. Prof. Dr. Mehmet EBEOĞLUGİL, Section Editor of Metallurgical and Materials Engineering, Dokuz Eylül University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Nilüfer YURTAY, Section Editor of Computer Engineering, Sakarya University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Özgür Hakan AYDOĞMUŞ, Section Editor of Mathematics, Social Sciences University of Ankara, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Rita ISMAİLOVA, Section Editor of Computer Engineering, Kyrgyz - Turkish Manas University, KYRGYZSTAN

Assoc. Prof. Dr. Samia Chehbi GAMOURA, Section Editor of Statistics, Strasbourg University, FRANCE

Assoc. Prof. Dr. Silvio DE OLIVEIRA JUNIOR, Section Editor of Mechanical Engineering, University of São Paulo, BRAZIL

Assoc. Prof. Dr. Sinan AKISKA, Section Editor of Geological Engineering, Ankara University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Abdul JABBAR, Section Editor of Textile Engineering, National Textile University, PAKISTAN

Asst. Prof. Dr. Arsheed Ahmad RATHER, Section Editor of Forest Engineering, Annamalai University, INDIA

Asst. Prof. Dr. Ezenwanyi OCHULOR, Section Editor of Metallurgical and Materials Engineering, University Of Lagos, NIGERIA

Asst. Prof. Dr. Francis INEGBEDION, Section Editor of Industrial Engineering, University of Benin, NIGERIA

Asst. Prof. Dr. Haniyeh RASOULI PIROUZIAN, Section Editor of Food Engineering, Tabriz University, IRAN

Asst. Prof. Dr. Jun-wei LIM, Section Editor of Environmental Engineering, Universiti Teknologi Petronas, MALAYSIA

Asst. Prof. Dr. Mehmet GÜÇYETMEZ, Section Editor of Electrical and Electronics Engineering, Kırşehir Ahi Evran University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Melahat CİHAN, Section Editor of Aerospace Engineering, Samsun University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Muhammad GULİSTAN, Section Editor of Mathematics, Hazara University, PAKISTAN

Asst. Prof. Dr. Sedat KARADAVUT, Section Editor of Agricultural Engineering, Trakya University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Seyedeh Narges SADATI, Section Editor of Mining Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, IRAN

Asst. Prof. Dr. Xinyi WANG, Section Editor of Geomatics Engineering, Henan Polytechnic University, CHINA

* The ranking is arranged alphabetically within the academic title

EDITORIAL - ADVISORY BOARD*

Prof. Dr. Aglaia (Litsa) LIOPA-TSAKALIDI, Institute of Western Greece, GREECE

Prof. Dr. Ercan EFE, Kahramanmaraş Sutcu Imam University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Mohammad Masood TARIQ, University of Balochistan, PAKISTAN

Prof. Dr. Mustafa Çağatay TUFAN, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Prof. Dr. Özkan GÖRGÜLÜ, Ahi Evran University, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Taner TUNÇ, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Emil OMURZAK, Kyrgyz-Turkish Manas University, KYRGYZSTAN

Asst. Prof. Dr. Yılmaz KAYA, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

* The ranking is arranged alphabetically within the academic title

STATISTIC EDITOR

Prof. Dr. Mehmet TOPAL, Kastamonu University, TÜRKİYE

ENGLISH EDITOR

Asst. Prof. Dr. Betül ÖZCAN DOST, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

TURKISH EDITOR

Prof. Dr. Serkan ŞEN, Ondokuz Mayıs University, TÜRKİYE

REVIEWERS OF THE ISSUE*

Prof. Dr. Ahmet ÜNVER, Necmettin Erbakan University, Department of Food Engineering, Food Chemistry and Food Sensory Science, TÜRKİYE

Prof. Dr. Gürkan Alp Kağan GÜRDİL, Ondokuz Mayıs University, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Agricultural Machinery, TÜRKİYE

Prof. Dr. Halil ÜNAL, Uludağ University, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Agricultural Machinery, TÜRKİYE

Prof. Dr. Kutalmış GÜMÜŞ, Niğde Ömer Halisdemir University, Department of Surveying Engineering, Geodesy, TÜRKİYE

Prof. Dr. Oğuzhan SARIKAYA, Bursa Technical University, Department of Forest Engineering, Forestry Sciences, TÜRKİYE

Prof. Dr. Osman GÖKDOĞAN, Isparta Applied Sciences University, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Agricultural Machinery, TÜRKİYE

Prof. Dr. Sabri ÜNAL, Kastamonu University, Department of Forest Engineering, Forest Entomology and Forest Protection, TÜRKİYE

Prof. Dr. Şükrü DURSUN, Konya Technical University, Department Environmental Engineering, Bioremediation, TÜRKİYE

Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU, Gebze Technical University, Department of Geomatics Engineering, Remote Sensing, TÜRKİYE

Prof. Dr. Uğur KÖKLÜ, Karamanoglu Mehmetbey University, Department of Mechanical Engineering, Machine Design and Machine Equipment, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÇELEBİ, Sakarya University, Department of Environmentally Engineering, Environmentally Sustainable Engineering, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Behçet Özgür ALAYDIN, Sivas Cumhuriyet University, Department of Electronics and Automation, Photonics, Optoelectronics and Optical Communications, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Berivan ÇEÇEN, Thomas Jefferson University, School of Design and Engineering, Biomaterial, US

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Zemheri NAVRUZ, Bartın University, Department of Molecular Biology and Genetics, Gene Expression, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Fatih Yavuz ILGIN, Erzincan Binali Yıldırım University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Electrical Engineering, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Hilal AYCI, Gazi University, Department of Architecture, Built Environment and Design, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Menderes KAM, Düzce University, Department of Machinery and Metal Technologies, Mechanical Engineering, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Nihat MOROVA, Isparta Applied Sciences University, Department of Civil Engineering, Transportation and Traffic, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Nizam Mustafa NİZAMLIOĞLU, Karamanoğlu Mehmetbey University, Department of Food Engineering, Food Sciences, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Oğuz ÖZBEK, Tokat Gaziosmanpaşa University, Department of Molecular Biology and Genetics, Organic Chemistry, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Pınar ACAR BOZKURT, Ankara University, Department of Chemistry, Metabolomic Chemical Sciences, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Rukiye UZUN ARSLAN, Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Data Mining and Knowledge Discovery, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Selçuk ASLAN, Kayseri Erciyes University, Department of Aeronautical Engineering, Simulation and Modelling, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Turgut ÖZSEVEN, Tokat Gaziosmanpaşa University, Department of Computer Engineering, Information and Computing Sciences, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Ummukülsüm ÖZEL AKDEMİR, Giresun University, Department Civil Engineering, Environmental Engineering, TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. Yener TEKELİ, Adıyaman University, Department of Pharmaceutical Technology, Metabolomic Chemistry, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Ayten EROĞLU, Van Yüzüncü Yıl University, Department of Biology, Plant Biotechnology, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Barış KÜÇÜKAYDIN, Kırklareli University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Electrical Energy Transmission, Networks and Systems, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Duygu YILDIRIM PEKSEN, Yalova University, Vocational School of Yalova, Aquaculture and Fisheries, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Emrehan YAVŞAN, Tekirdag Namık Kemal University, Department of Mechatronics Engineering, Neural Networks, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Esra YAVUZ, Şırnak University, Department of Accounting and Tax, Biometry, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Fikri Erdem ŞEŞEN, Kırıkkale University, Department of Metallurgy and Materials Engineering, Materials Science and Technologies, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Güfte Caner AKIN, İstanbul Gelişim University, Department of Occupational Health and Safety, Occupational Health and Safety, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Gül Fatma TÜRKER, Süleyman Demirel University, Department of Computer Engineering, Biomedical and Clinical Sciences, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Mehmet Emin USLU, Celal Bayar University, Department of Bioengineering, Biomaterial, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Merve BALLI YÜKSEL, İstanbul Topkapı University, Department of Medical Services and Techniques, Genetics, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Murat FIÇICI, Ardahan University, Department Geography, Physical Geography, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Mustafa YAĞIMLI, İstanbul Gedik University, Department of Occupational Health and Safety, Occupational Health and Safety, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Pelin CENĞİZOĞLU, Muğla Sıtkı Koçman University, Department of Architecture, Building Information, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Serdar PAÇACI, Isparta Applied Sciences University, Department of Computer Engineering, Artificial Intelligence, TÜRKİYE

Assist. Prof. Dr. Sinan YİĞİT, Turkish Energy, Nuclear and Mining Research Corporation, Turkish Energy, Nuclear and Mining Research Corporation, TÜRKİYE

Dr. Ali AKDAĞ, Tokat Gaziosmanpaşa University, Department of Computer Engineering, Deep Learning, TÜRKİYE

Dr. Aylin ALTINBAY, Yıldız Technical University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Composite and Hybrid Materials, TÜRKİYE

Dr. Burak Kürşat GÜL, Kayseri Erciyes University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Deep Learning, TÜRKİYE

Dr. Ebru ERGÜNEŞ BERKİN, Hassa Directorate of Agriculture, Bometry and Genetics, TÜRKİYE

Dr. Mehmet Serdar ÇELİK, Bandırma Onyedli Eylül University, Department of Maritime Businesses Management, Maritime Business Administration, TÜRKİYE

Dr. Mert ONAN, HATKO A.Ş. Reseach Center, Resource Technologies, TÜRKİYE

Dr. Mustafa Emre DÖŞ, Hatay Mustafa Kemal University, Department of Architecture and Urban Planning, Photogrametry, TÜRKİYE

Dr. Savaş ÇAĞLAK, TR Ministry of National Education Amasya, Physical Geography, TÜRKİYE

* The ranking is arranged alphabetically within the academic title

Table of Contents

Research Articles

1. **HAREKET TEKRARLI ÖRNEK İŞLERDE ERGONOMİK RİSK DEĞERLENDİRMESİ: OCRA YÖNTEMİ**
Tuğçe ORAL, Rüştü UÇAN.....610-615
2. **VEGETATION AND EVAPOTRANSPIRATION ANALYSES ON CLIMATE MAPS**
Nehir UYAR.....616-626
3. **TÜRKİYE'DEKİ KESİMHANE ATIKLARINDAN VE ÇİFTLİK HAYVANLARI GÜBRELERİNDEN ELDE EDİLEBİLECEK BİYOGAZ POTANSİYELİNİN TESPİTİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**
Salih SÖZER.....627-634
4. **FARKLI ÇÖZÜCÜLERLE HAZIRLANAN Elettaria cardamomum (L.) MATON EKSTRAKTLARININ ANTİBAKTERİYEL AKTİVİTELERİNİN İNCELENMESİ**
Hatice TANER SARAÇOĞLU.....635-640
5. **MİMARİDE BİYOFİLİK TASARIM İÇİN METİNDEN GÖRÜNTÜ ÜRETME POTANSİYELİ OLAN YAPAY ZEKA ARAÇLARININ KULLANIMI**
Güneş Mutlu AVİNÇ.....641-648
6. **DETERMINATION OF THE CHEMICAL CONTENT OF SHILAJIT IN TERMS OF TEN DIFFERENT POLYPHENOLIC COMPOUNDS BY UAE METHOD AND HPLC ANALYSIS**
Levent NURALIN.....649-653
7. **SUDOKU DENEME DESENİNİN TARIMSAL ARAŞTIRMALARDA KULLANIMI**
Buğra HOŞGÖNÜL, Hasan ÖNDER.....654-661
8. **ALTERNATİF AKIM MİKRO-ŞEBEKELERDE ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN KONUM OPTİMİZASYONU**
Tuncay ALTUN.....662-671
9. **ZAMAN GECİKMELİ KESİR DERECELİ KAOTİK SİSTEMLERİN SENKRONİZASYONU VE FPGA UYGULAMASI**
Semih Can DEĞİRMEN, Kenan ALTUN.....672-682
10. **TAŞKIN DUYARLILIĞININ BEST-WORST YÖNTEMLERİLE DEĞERLENDİRİLMESİ: SULUCA DERESİ HAVZASI (TOKAT) ÖRNEĞİ**
Kemal ERSAYIN, Mustafa YAŞ.....683-692
11. **EFFECTIVE CANCER DIAGNOSIS THROUGH HIGH-DIMENSIONAL MICROARRAY DATA ANALYSIS BY INTEGRATING DCT AND UFS**
Enes EFE.....693-704
12. **ALİAĞA BÖLGESİ GEMİ SÖKÜM TESİSLERİNİN VERİMLİLİK ANALİZİ**
Sibel BAYAR.....705-716
13. **EEG SİNYALLERİNDEN META-SEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMALARINA DAYALI ÖZELLİK SEÇİMİ**
Eyüp GEDİKLİ, Taner YURDUSEVER.....717-723

14. DEVELOPMENT AND EVALUATION OF STUDENTS' PRACTICE SKILLS IN VOCATIONAL AND TECHNICAL EDUCATION OF ELECTRIC VEHICLES

Bekir GÜNEY.....724-735

15. FAST RESPONSE UV PHOTODETECTOR BASED ON ALIGNED ARRAYS OF ANATASE TiO₂ NANOTUBES

Khaled M. N. CHAHROUR.....736-742

16. DIRECT REACTIVE EXTRUSION OF PLA IN THE PRESENCE OF A MULTIFUNCTIONAL CHAIN EXTENDER

Yonca ALKAN GÖKSU.....743-751

17. KEMİK KIKIRDAK DOKU DEFEKTLERİNDE YENİ TASARLANMIŞ YAPI İSKELELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bora UZUN.....752-755

18. MAKİNE ÖĞRENMESİ TEKNİKLERİNİN SÜRÜŞ STİLİ SINIFLANDIRMASINDA KULLANIMI

Doğan YILDIZ, Gülcan YILDIZ, Sercan DEMİRCİ.....756-763

19. DETERMINATION OF SUITABLE BEEKEEPING PLACES IN SİNOP PROVINCE (TÜRKİYE) BY WEIGHTED OVERLAY ANALYSIS

Şule YAMAN, Mustafa YAMAN.....764-770

20. PARAMETER IDENTIFICATION OF PHOTOVOLTAIC MODELS USING ENHANCED CRAYFISH OPTIMIZATION ALGORITHM WITH OPPOSITION-BASED LEARNING STRATEGIES

Burçin ÖZKAYA.....771-784

Reviews

21. BARKHAUSEN NOISE AS A MAGNETIC NONDESTRUCTIVE TESTING TECHNIQUE

Ömer ADANUR, Oğuz KOÇAR, Ahmet Serdar GÜLDİBİ, Engin KOCAMAN, Erhan BAYSAL.....785-796

22. GENERAL REVIEW OF SMARTPHONE USABILITY IN NOISE MAPPING

Faysal M. OMAR, Bülent BOSTANCI.....797-803

23. AN EVALUATION OF LONG NON-CODING RNAs IN CANCER

Ferzane VALİOĞLU.....804-814



HAREKET TEKRARLI ÖRNEK İŞLERDE ERGONOMİK RİSK DEĞERLENDİRMESİ: OCRA YÖNTEMİ

Tuğçe ORAL^{1*}, Rüştü UÇAN¹

¹Üsküdar University, Faculty of Health Science, Department of Occupational Health and Safety, 34662, İstanbul, Türkiye

Özet: Çalışanlarda karşılaşılan kas ve iskelet sistemi (KİS) hastalıklarının temelinde ergonomik uygunsuzluklar yatmaktadır. Bu çalışmada, çalışma alanı sınırlarındaki tehlike ve riskler göz önünde bulundurulduğunda 'az tehlikeli' olarak nitelendirilen işyerlerinde istihdam edilen çalışanların günlük iş saatleri içerisindeki tekrarlı hareketlerine bağlı olarak ergonomik risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu amaçla, genel olarak faaliyet alanına bakılmaksızın tüm işletmelerde ortak gereksinime yönelik iş akışında yer alabilen; servis şoförleri, yemek dağıtımında veya zincir marketlerde kasada görevi bulunan çalışanların ergonomik risk düzeyi belirlenmiştir. Araştırma da kullanılan OCRA yöntemi ile üç sektöre ait her iş istasyonu için yapılan tüm işlerin etkisi ayrı ayrı dikkate alınarak, OCRA indeksi hesaplanmıştır. Servis şoförleri için OCRA indeksi 6,015; kasa görevlileri için 8,163; yemek dağıtımında görevli çalışanlar için 4,2 olarak bulunmuştur. Bu üç sektöre ait OCRA indeks değerleri 'Kırmızı Bölge' olarak bulunmuştur. Bu durum servis şoförleri, kasiyerler ve yemek dağıtım görevlileri için ergonomik açıdan yüksek risk altında olduğu saptanmıştır. İş sağlığı ve güvenliği açısından her iş kolu için iş istasyonlarındaki mevcut çalışma koşullarının iyileştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Ergonomi, Kasiyerler, OCRA yöntemi, Servis şoförleri, Yemek dağıtım görevlileri


Ergonomic Risk Assessment in Repetitive Motion Sample Works: OCRA Method


Abstract: Ergonomic inconveniences lie in the basis of musculoskeletal system (CIS) diseases encountered in employees. In this study, ergonomic risk assessment was made depending on the repetitive movements of the employees employed in the workplaces described as 'less dangerous' considering the dangers and risks in the working area boundaries. For this purpose, regardless of the field of activity in general, all businesses can take part in the workflow for a common need; Ergonomic risk level of employees working in food distribution or cash registers in chain markets was determined. With the OCRA method used in the research, the OCRA index was calculated by taking into account the effect of all the work done for each workstation belonging to the three sectors. The OCRA index for shuttle drivers is 6.015; 8.163 for cashiers; it was found to be 4.2 for employees working in food distribution. The OCRA index values of these three sectors were found as the 'Red Zone'. This situation was found to be at high ergonomic risk for service drivers, cashiers and food delivery attendants. In terms of occupational health and safety, it reveals the necessity of improving the current working conditions at workstations for each business line.

Keywords: Ergonomics, Cashiers, OCRA method, Service drivers, Food delivery officers

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Üsküdar University, Faculty of Health Science, Department of Occupational Health and Safety, 34662, İstanbul, Türkiye

E mail: tgcmylmz@gmail.com (T. ORAL)

Tuğçe ORAL  <https://orcid.org/0000-0003-1795-1550>

Rüştü UÇAN  <https://orcid.org/0000-0003-2389-8231>

Gönderi: 17 Nisan 2024

Kabul: 10 Mayıs 2024

Yayınlanma: 15 Temmuz 2024

Received: April 17, 2024

Accepted: May 10, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Oral T, Uçan R. 2024. Ergonomic risk assessment in repetitive motion sample works: OCRA method. BSEng Sci, 7(4): 610-615.

1. Giriş

Çalışanlarda karşılaşılan kas ve iskelet sistemi (KİS) hastalıklarının temelinde ergonomik uygunsuzluklar yatmaktadır. Ergonomi, çalışanların yaptıkları işlere bağlı olarak fiziksel zorlanmalarını engellemek, bedensel ve ruhsal bütünlüğünü koruyarak işe devam edebilmelerini sağlayarak dolaylı olarak iş verimliliğini arttırmayı amaçlayan multidisipliner bir bilim dalı olarak tanımlanabilmektedir.

Bu çalışmada, çalışma alanı sınırlarındaki tehlike ve riskler göz önünde bulundurulduğunda 'az tehlikeli' olarak nitelendirilen işyerlerinde istihdam edilen çalışanların günlük iş saatleri içerisindeki tekrarlı hareketlerine bağlı olarak ergonomik risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu amaçla, genel olarak faaliyet alanına bakılmaksızın tüm işletmelerde ortak

gereksinime yönelik iş akışında yer alabilen; servis şoförleri, yemek dağıtımında veya zincir marketlerde kasada görevi bulunan çalışanların ergonomik risk düzeyi hesaplanmıştır.

Servis şoförleri, çalışma pozisyonları ergonomik olarak gözlemlendiğinde, çalışma süreleri içerisinde oturma pozisyonunda kısıtlı ve tekrarlı hareketleri yapmalarına bağlı olarak zamanla bel üstü eklemlerinde daralmaların oluşmasına maruz kalabilmektedir. Özellikle sık sık tekrarlanan hareketler veya sinir sıkışmasına neden olan dirseklerin eğilmesine bağlı olarak kübital tünel sendromu adı verilen KİS hastalığı oluşabilmektedir (Keener, 2015; Yılmaz ve ark., 2021). Ayrıca, tekrarlayan el aktiviteleri veya bileğin bükülü olduğu durumlar karpal tünel içindeki basıncın artmasına neden olmaktadır. Bu durumda karpal tünel sendromu olarak



ifade edilmektedir (Laçiner ve Yavuz, 2013). Araba kullanma pozisyonuna bağlı olarak titreşimi direksiyonu ile aktaran arabaların kullanılması da boyun ve omuz ağrılarının artmasına zemin hazırlamaktadır (Lagattuta ve Falco, 1996). Bu duruma engel olmak için direksiyon simidinin yumuşak malzemeyle kaplanması önleyici bir iş güvenliği uygulaması olarak değerlendirilebilir.

Zincir marketler, toptan veya perakende satış seçenekleri ile özellikle genç yaşta kişiler için istihdam edilmesine olanak sağlayan geniş bir ağa sahip sektördür. Özellikle zincir marketlerde kasada görevli çalışanlar, işin gereği müşterilerin alışveriş sürecini tamamlama sürecine dahil oldukları evrede yer almakla birlikte hızlı ve koordineli çalışmaya bağlı olarak tekrarlı hareketler nedeniyle KİS açısından risk altında bulunmaktadır. Boyundan kola giden damarlar ile sinirlerin göğüs kafesi çıkışında sıkışmasına bağlı olarak kolun iç kısmında ağrı veya uyuşukluk hissedilmesine bağlı olarak torasik çıkış sendromu gelişebilmektedir (Seçkiner ve Kurt, 2013; Fırat ve ark., 2013). Uzun süren fakat işin gereği küçük ve tekrar eden el hareketleri, uygun olmayan ergonomik koşullar, çalışan ve iş istasyonu arasındaki uyumsuzluk nedeniyle oluşan hatalı duruşlar bu sendromun oluşmasına zemin hazırlamaktadır (Seçkiner ve Kurt, 2013).

Yemekhane hizmetleri, insanların beslenme ihtiyaçlarını gidermek için talepte buldukları yerlerde gıda ürünlerinin tüketime hazırlanması, sunulması veya servis edilmesi sürecini kapsamaktadır. Bu süreçte, işin gereği uzun süreli ayakta çalışmaya bağlı olarak tekrar eden hareket veya uygunsuz duruş pozisyonları KİS hastalıkları oluşumuna neden olabilmektedir. Özellikle, hazırlanan gıdaların/yemeklerin servis edilmesi esnasında görevli çalışanlar; duruş bozukluklarına bağlı olarak ergonomik risk altındadır.

Üç farklı sektörde de tekrarlı minimal hareketlere bağlı olarak gelişebilecek boyun-omuz ağrıları da gelişebilmektedir. Yapılan bir araştırma da ise yaşanan boyun ağrılarının kadınlarda görülme sıklığı %13 iken, erkeklerde ise %9 olarak saptanmıştır (Lagattuta ve Falco, 1996). Yine aynı araştırma da işe bağlı yaşanan boyun ağrılarının çalışanların kötü postür duruşlarından, çalışırken harcadıkları kuvvet ve tekrarlayıcı hareketlerin neden olabileceği vurgulanmıştır (Lagattuta ve Falco, 1996).

Bu çalışmanın mevcut bilimsel literatüre en önemli

katkısı bu örnek sektörlerde işin yapısı gereği özellikle minimal hareketlerle işi gerçekleştirilen çalışanlar için OCRA yöntemi kullanılarak ergonomik açıdan değerlendirme yapılmasıyla ilktir. Böylece, gelecekte araştırma yapılacak çalışma alanları seçimi ile ilgili farkındalık yaratması beklenmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. OCRA Yöntemi

OCRA yöntemi, iş ile ilgili zaman içerisindeki performansın karşılaştırılması ve verimlilik analizi problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır.

OCRA yöntemi ile belirli bir iş istasyonunda yapılan tüm işlerin etkisi dikkate alınarak ortak bir OCRA indeksi değeri hesaplanmaktadır (Baykasoğlu ve Demirkol Akyol, 2014). Bu yöntem ile özellikle el, bilek, dirsek, boyun ve omuz gibi bel üstü çalışma duruşlarına bağlı olarak hesaplanmaktadır. OCRA indeksi, işin gereği tekrarlı hareketlerin sayısının, önerilen sıklığa bölünmesiyle hesaplanmaktadır (Eşitlik 1) (Baykasoğlu ve Demirkol Akyol, 2014).

$$OCRA \text{ indeksi} = \frac{\text{(Teknik Hareket Sıklığı (THS))}}{\text{(Önerilen Sıklık (ÖS))}} \quad (1)$$

Bir iş için bir dakikada gerçekleştirilen (tutma, döndürme, eğilme vb.) toplam hareket sayısı THS olarak tanımlanmaktadır (Eşitlik 2).

$$\text{Önerilen Sıklık} = SS * P * T * K * ERF * DP * TİS \quad (2)$$

SS= sabit sıklık, P= postür, T= tekrarlılık, K= kuvvet, ERF= ek risk faktörleri, DP= yetersiz dinlenme periyodu, TİS= tekrarlı işlerin süresi.

Burada verilen parametreler arasında, SS değeri 30 hareket olarak sayılarak sabit bir değer olarak hesaba katılmaktadır (Otto ve Scholl, 2011). Diğer tüm değerler (0-1) arasında değer almaktadır ve 1 değerine yaklaştıkça ergonomik olarak uygunluğu ifade etmektedir.

Postür, işin gereği çalışanın yaptığı teknik hareketlere bağlı olan çalışma duruşu olarak bilinmektedir. Önerilen sıklık değerinde hesaba katılan P değeri; hafif ve ciddi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. P değerini hesaplarken, Tablo 1' den faydalanılmaktadır.

Tablo 1. Postür değeri (Occhipinti, 1998)

Uygunsuz Duruş	Çevrim Süresi Yüzdesi				
	1-24%	25-50%	51- 80%	>%80	
Ciddi Uygunsuz Duruş (≥60°) Bileği içe veya dışa bükme (≥45°) Elle kısıtararak veya kenarından/ sapından veya avuçla tutma	1	0,7	0,6	0,5	
	Hafif Dirsekten döndürme veya bükme /uzanma (≥60°)	1	1	0,7	0,5

Tablo 2. Kuvvet çarpanı değer tablosu (Occhipinti, 1998)

Ortalama Harcanan Kuvvet	5	10	20	30	40	≥50
Borg Değeri	0,5	1	2	3	4	≥5
Değer	Çok Çok Zayıf	Çok Zayıf	Zayıf	Orta	Biraz Kuvvetli	Kuvvetli/Çok Kuvvetli
Kuvvet Çarpanı	1	0,85	0,65	0,35	0,2	0,01

OCRA İndeks Değeri		
<2,2 ise	Yeşil Bölge	Ergonomik olarak uygundur ve ergonomik riskler kabul edilebilir seviyededir.
2,2-3,5 ise	Sarı Bölge	Düşük risk seviyesinde ergonomik riskler vardır ve minimal değişiklikler ile kabul edilebilir seviyededir.
> 3,5 ise	Kırmızı Bölge	Ergonomik olarak yüksek risk seviyesindedir

Şekil 1. OCRA indeks değerleri yorumlama (Demirkol Akyol, 2022).

Tekrarlılık Çarpanı ise çalışanın vardiya süresi içerisinde aynı teknik hareketleri yapması durumu olarak tanımlanmaktadır. Önerilen sıklık değeri hesaplanırken, T değeri çevrim süresinin 15 saniyeden büyük olması durumunda yüksek tekrarlılık olarak, küçük olması durumunda ise düşük tekrarlılık olarak ifade edilir. Düşük tekrarlılık ise T değeri 1, yüksek tekrarlılık durumunda ise T değeri 0,7 olarak alınmaktadır.

Kuvvet Çarpanı değeri, iş için gerekli hareketi gerçekleştirmek için harcanan fiziksel gücün karşılığıdır. Fiziksel güç yani dolaylı olarak kuvvet çarpanı arttıkça K değeri 0'a yaklaşmaktadır. Kuvvet çarpanı hesaplanırken, Tablo 2' den faydalanılmaktadır.

Ek Risk Faktörleri değeri ise işin gereği sürekli olmayan fakat nadiren ortaya çıkan riskleri ifade etmektedir. ERF değeri belirlenirken, çevrim süresi referans alınarak hesaplanmaktadır. Eğer ERF değeri çevrim süresinin %25'inden küçükse 1, %26-50'si arasındaysa 0,95, %80'inden fazlaysa 0,80 olarak alınmaktadır.

DP ve TİS değerleri ise çalışma şartlarına göre belirlenmektedir. Çalışma şartları içerisinde 8 saatlik iş süresince düzenli mola ve ara dinlemeleri verebiliyorsa ideal çalışma ortamı söz konusu olmaktadır. Bu durumda DP* TİS değeri 1 olarak, aksi durumda ise 0,6 olarak hesaba katılmaktadır.

Elde edilen Ocra İndeks değeri yorumlanırken Şekil 1' de verilen referans aralıkları baz alınmaktadır ve buna göre çalışma istasyonunun ergonomik uygunluğu kırmızı, sarı veya yeşil bölge olarak değerlendirilmektedir.

3. Bulgular

OCRA yöntemine göre her bir iş kolu için hesaplanan değerler aşağıdaki gibi verilmiştir.

3.1. Servis Şoförleri için OCRA İndeks Değeri

OCRA indeksi için gerekli parametreler hesaplanırken, örnek bir servis şoförünün iş yoğunluğunun en fazla olduğu sabah 06:00-08:00 saatleri arasındaki vardiyası seçilmiştir.

İzlem sonucuna göre, şoförlerin en fazla direksiyon kullanımı ile el-bilek bükülmesine maruz kaldığı, eş

zamanlı olarak vites değiştirme ve uyarı işaretleri kullanımı için tekrarlı hareketlerde bulunduğu gözlemlenmiştir.

Örnek olarak izlenen şoförün bir dakikalık süre içerisinde; toplam 12 kere vites değiştirme veya uyarı işaretleri kullandığı, direksiyon tutulması veya döndürme için 10 kez teknik hareket yaptığı saptanmıştır. Bir dakikalık çevrim süresi içerisinde toplam 22 teknik hareket yapmıştır.

Postür değeri hesaplanırken, şoförün duruş ve direksiyon kavrama pozisyonları dikkate alınmıştır. Şoförün direksiyon kavradığında 450'den fazla bükülme, dirseğinde 600'den fazla dönüşlerin olduğu saptanmıştır. Teknik olarak bu hareketi yapma süresi 12 saniye ve çevrim süresinin %20'sine karşılık gelmektedir. P değeri ise Tablo 1'den 1 olarak okunur.

Tekrarlılık çarpanı ise aynı tip hareketlerin çevrim süresi içerisinde %50'sinden fazla tekrarlanmasına bağlı olarak, yüksek tekrarlılık yani 0,7 olarak alınmıştır.

Kuvvet çarpanı ise direksiyon çevirme ve uyarı işaretleri veya vites değiştirme gibi işlemlerin bir arada değerlendirilmesi ile %25'lik bir kuvvet uygulandığı kabul edilmiştir. Bu durumda, K değeri Tablo 2'den okunurken, ara değer olması nedeniyle interpolasyon yapılarak 0,5 olarak hesaplanmıştır.

ERF değeri şoförler için düzensiz şehir içi trafiği hesaba katılarak, çevrim süresinin %26-50'si arasında olduğu kabul edilmiş ve 0,95 olarak kabul edilmiştir.

Servis şoförleri için iş periyot süresinin başlangıç ve bitişinin belirli bir düzende olması nedeniyle çalışma şartları optimal olarak kabul edilmiş ve TİS ile birlikte çarpımı 1 olarak alınmıştır.

Tüm bu değerlere göre şoförler için Öneri Sıklık formülü kullanılarak OCRA indeksi hesaplanmıştır (Eşitlik 3 ve 4):

$$\text{Şoförler için } \text{ÖS} = 30 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 0,95 \cdot 1 = 9,975 \quad (3)$$

$$\text{OCRA indeksi} = 60 / 9,975 = 6,015 \quad (4)$$

3.2. Zincir Marketlerde Kasa görevlileri için OCRA İndeks Değeri

OCRA indeksi için gerekli parametreler hesaplanırken,

örnek bir kasa görevlisinin iş yoğunluğunun en fazla olduğu hafta sonuna denk gelen iş vardiyasındaki çalışma şekli gözlenmiştir.

İzlem sonucuna göre, kasiyer olarak görev yapan kişilerin el-bilek bükülmesi, uygunsuz postür ve eş zamanlı olarak ürünlerin gramajına bağlı olarak barkod okutması esnasındaki fiziksel güç gereksinimi nedeniyle tekrarlı hareketlerde bulunduğu saptanmıştır.

Örnek olarak bir minimum düzeydeki alışverişin kasadaki işlem süresi ortalama 2 dakikada tamamlanmaktadır. Bu süre içerisinde kasiyerin ortalama 16 teknik hareket içermektedir. Bir dakikalık çevrim süresi içerisinde toplam 8 teknik hareket yapmaktadır.

Postür değeri hesaplarken, kasiyerin barkod okutma sürecindeki duruş pozisyonu, müşteri ile maddi alışveriş süreci, paketleme süreci dikkate alınmıştır. Kasiyerin özellikle barkod okuturken 450'den fazla eğilme, dirseğinde 600'den fazla dönüşlerin olduğu saptanmıştır. Teknik olarak bu hareketi yapma süresi 4 saniye ve çevrim süresinin %6,7'sine karşılık gelmektedir. P değeri ise Tablo 1'den 1 olarak okunur.

Tekrarlılık çarpanı ise aynı tip hareketlerin çevrim süresi içerisinde %50'sinden fazla tekrarlanmasına bağlı olarak, yüksek tekrarlılık yani 0,7 olarak alınmıştır.

Kuvvet çarpanı ise minimal ürünlerin barkodlarının okutulması ve paketlenmesi gibi işlemlerin bir arada değerlendirilmesi ile %30'luk bir kuvvet uygulandığı kabul edilmiştir. Bu durumda, K değeri Tablo 2'den 0,35 olarak hesaplanmıştır.

ERF değeri kasiyerler için çevrim süresinin %25'inden küçük olduğu kabul edilmiş ve 1 olarak alınmıştır.

Kasiyerler için iş periyot süresinin başlangıç ve bitişinin belirli bir düzende olması nedeniyle çalışma şartları optimal olarak kabul edilmiş ve TİS ile birlikte çarpımı 1 olarak alınmıştır.

Tüm bu değerlere göre şoförler için Öneri Sıklık formülü kullanılarak OCRA indeksi hesaplanmıştır (Eşitlik 5 ve 6):

$$\text{Kasiyer için } \text{ÖS} = 30 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 1 = 7,35 \quad (5)$$

$$\text{OCRA indeksi} = 60 / 7,35 = 8,163 \quad (6)$$

3.3. Yemek Dağıtım görevlileri için OCRA İndeks Değeri:

OCRA indeksi için gerekli parametreler hesaplanırken, örnek bir yemek dağıtım görevlisi iş yoğunluğunun en fazla olduğu öğlen yemeğine denk gelen 12:00-14:00 saatleri arasındaki iş vardiyasındaki çalışma şekli gözlenmiştir.

İzlem sonucuna göre, yemek dağıtımında görev yapan kişilerin el-bilek bükülmesi, eğilmeye bağlı uygunsuz postür nedeniyle tekrarlı hareketlerde bulunduğu saptanmıştır.

Örnek olarak gözlenen yemek dağıtım görevlisinin bir servis süresi içerisinde tabağın alınması, tabaklara aktarılması ve servis edilmesi ile toplam 10 kere teknik hareket yaptığı saptanmıştır. Bir servis süresinin ortalama 1,5 dakikaya karşılık gelmektedir. Bir dakikalık

çevrim süresi içerisinde toplam 8 teknik hareket yapmaktadır.

Postür değeri hesaplarken, görevlinin tabaklara aktarma ve servis etme pozisyonları dikkate alınmıştır. Görevlinin bu hareketlerine bağlı olarak 450'den fazla bükülme, dirseğinde 600'den fazla dönme olduğu saptanmıştır. Teknik olarak bu hareketi yapma süresi 5 saniye ve çevrim süresinin %8,33'üne karşılık gelmektedir. P değeri ise Tablo 1'den 1 olarak okunmuştur.

Tekrarlılık çarpanı ise aynı tip hareketlerin çevrim süresi içerisinde %50 'sinden fazla tekrarlanmasına bağlı olarak, yüksek tekrarlılık yani 0,7 olarak alınmıştır.

Kuvvet çarpanı ise yemek servis sürecinde tabağın belli bir konumdan alınması, yemeğin aktarılması ve sunulması gibi işlemlerin bir arada değerlendirilmesi ile %10'luk bir kuvvet uygulandığı kabul edilmiştir. Bu durumda, K değeri Tablo 2.'den 0,85 olarak okunmuştur. ERF değeri yemek dağıtım görevlileri için maske, bone, eldiven kullanımına bağlı olarak çevrim süresinin %80'inden fazla olduğu kabul edilmiş ve 0,80 olarak kabul edilmiştir.

Yemek dağıtım görevlileri için iş periyot süresinin başlangıç ve bitişinin belirli bir düzende olması nedeniyle çalışma şartları optimal olarak kabul edilmiş ve TİS ile birlikte çarpımı 1 olarak alınmıştır.

Tüm bu değerlere göre şoförler için Öneri Sıklık formülü kullanılarak OCRA indeksi hesaplanmıştır (Eşitlik 7 ve 8):

$$\text{Yemek dağıtım görevlileri için, } \text{ÖS} = 30 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 1 = 14,28 \quad (7)$$

$$\text{OCRA indeksi} = 60 / 14,28 = 4,20 \quad (8)$$

Servis şoförleri, zincir marketlerde çalışan kasiyerler ve yemek dağıtımında görevlendirilen kişilerin bir iş vardiyasındaki sürecinin gözlemlenerek, yapıldığı hesaplamalara göre OCRA indeksi üç farklı sektör için Tablo 3'de verildiği şekilde bulunmuştur.

Tablo 3. OCRA indeksi değerleri

OCRA İndeksi	
Servis Şoförleri	6,015
Kasiyerler	8,163
Yemek Dağıtım Görevlileri	4,2

4. Tartışma

Ülkemizde servis şoförleri ve yemek dağıtımında görevli kişilerin her sektörde yer alabildiği düşünülürse, geniş bir potansiyele sahip olduğu söylenebilmektedir. Bu iki sektöre ek olarak, insanların hayati ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik talepleri zincir marketlerin oluşmasına ve geniş bir yayılım ağına katkı sağlamaktadır.

Özellikle, tekrarlı hareketlerin sıklıkla yapıldığı işyerlerinde ergonomik risklerin düzeyinin belirlenmesi, alınacak önleyici veya düzeltici faaliyetler için rehber niteliği taşımaktadır. Ergonomik risklerin önlenmesinde çalışma ortamındaki fiziksel koşulların görevlendirilen kişilere uygun hale getirilmesi veya görevli kişilere

yönelik risk değerlendirme yöntemleri ile durumların tespitinin yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, her üç sektördeki görevli çalışanların çalışma koşulları kendi sınırlarında ve bireysel olarak değerlendirilerek OCRA yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem sonucuna göre her üç sektör için mevcut çalışma koşullarının kabul edilemez seviyede olduğu belirlenmiştir. Düzeltici faaliyetler kapsamında her üç sektör için aşağıdaki iyileştirmelerin yapılması önerilmektedir.

1. Çalışanların vücut ölçülerine göre iş istasyonlarının düzenlenmesi gerekmektedir. Servis şoförleri için verilecek ergonomi eğitimleri ile araç kullanımı esnasında sürücü koltuklarının vücut ölçülerine uygun şekilde ayarlanmasının gerekliliği, el-bilek bükümlerini önleyici pozisyonlar hakkında bilgilendirilmesi gerekmektedir.
2. Kasiyer olarak çalışanlar için uygun postürde kalmalarını sağlayacak şekilde iş tezgahının uzanıp, eğilmeye gerek kalmayacak şekilde tasarlanması gelecek mühendislik yöntemleri sürecine dahil edilebilir. Ek olarak, barkod için sabit noktaya okutma yapılması yerine, çalışanların oturdukları yerden kablolu bir sistem ile ulaştırıp okutabilecekleri şekilde olması mevcut riskleri minimize edeceği düşünülmektedir.
3. Yemek dağıtımında görevli çalışanlar için çalışma tezgahlarının bel seviyesinde düzenlenmesi ile servis sürecinde rotasyonların sağlanması ile maruziyet süresi kısaltılarak, ergonomik zorlanmaları teknik olarak önenebilir.

Yukarıda sıralanan düzeltici ve önleyici uygulamalar ile üç sektör içinde çalışma ortamı ergonomik olarak iyileştirilerek, çalışanların KİS hastalıklarına yakalanma olasılığı da minimize edilebilir.

5. Sonuç

Servis şoförleri, zincir marketlerde çalışan kasiyerler ve yemek dağıtımında görevlendirilen kişilerin bir iş vardiyasındaki sürecinin gözlemlenerek, yapıldığı hesaplamalara göre OCRA indeksi üç farklı sektör için hesaplanmış ve Tablo 3'e göre bu üç sektöre ait OCRA indeks değerleri 'Kırmızı Bölge' olarak bulunmuştur. Bu durum servis şoförleri, kasiyerler ve yemek dağıtım görevlileri için ergonomik açıdan yüksek risk altında olduğu saptanmıştır. İş sağlığı ve güvenliği açısından her iş kolu için iş istasyonlarındaki mevcut çalışma koşullarının iyileştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Düzeltilen faaliyetlerin mutlaka kendi iş koşulları göz önünde bulundurularak yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde, üç sektördeki çalışanlarda KİS hastalıkları ortaya çıkması muhtemeldir.

Bu çalışmada uygulanan OCRA yöntemi ile servis şoförleri, zincir marketlerdeki kasiyerler ve yemek dağıtım görevlileri için çalışma koşulları ergonomik açıdan değerlendirilmiştir. Literatürde bu alanlarda yapılmış kısıtlı çalışma olup, araştırmanın yapıldığı iş

istasyonu ile ilgili mevcut duruma farkındalık yaratmamaktadır. Bu sektörlerdeki iş istasyonlarındaki duruma dikkat çekilmesi amaçlanarak, gelecekte farklı yöntemler ile araştırmaların yapılması önerilmektedir.

Özellikle Türkiye'de yoğun ve dinamik bir iş ağı olan Servis Şoförleri için tekrarlı hareket gözlemlerinin daha uzun bir periyot içerisinde, çalışma istasyonu teknik koşulları detaylandırılarak farklı yöntemler ile yapılması önerilmektedir. Zincir market çalışanları ve yemek dağıtım görevlileri için iş istasyonu düzenlenmesine dayalı yenilikçi mühendislik çözümleri üretilmeli ve etkinliği ile ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden faydalanılmalıdır. Kısaca, ülkemizin ekonomisinde önemli bir yer tutan, az tehlikeli ve minimal beden gücü ihtiyacı ile 18 yaşını dolduran yeterli donanımına sahip herkesin istihdam edilebildiği bu iş istasyonlarında çalışan sağlığı ve istihdam devamlılığı için düzeltici önlemler alınmalıdır.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	T.O.	R.U.
K	70	30
T	70	30
Y	50	50
VTI	50	50
VAY	50	50
KT	70	30
YZ	70	30
KI	50	50
GR	100	

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon.

Çalışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırma ile ilgili Üsküdar Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Değerlendirme Kuruluna başvuru yapılmış, gerekli incelemeler sonrasında etik açıdan uygun görülmüştür (onay tarihi: 04 Nisan 2024, onay kodu: 04/24). Ayrıca, örnek işletmelere ait görevlilerin araştırmaya dahil edilmesi konusunda gerekli izinler alınmıştır.

Kaynaklar

- Baykasoğlu A, Demirkol Akyol Ş. 2014. Ergonomik montaj hattı dengeleme. Gazi Üniv Müh Mim Fak Derg, 29(4): 785-792.
- Demirkol Akyol Ş. 2022. Bir tekstil işletmesinde ergonomik risk değerlendirme uygulaması. Ergonomi, 5(2): 72-83.
- Fırat T, Ayhan Ç, Tunç Y, Delioğlu K. 2013. Torasik çıkış sendromu'nda fizyoterapi ve rehabilitasyon yaklaşımları. Bull Thoracic Surg, 5(2): 119-127.

- Keener JD. 2015. Ulnar nerve entrapment at the elbow (cubital tunnel syndrome). URL: <https://orthoinfo.aaos.org/en/diseases--conditions/ulnar-nerve-entrapment-at-the-elbow-cubital-tunnel-syndrome> (Erişim tarihi: 03 Nisan 2023).
- Laçiner V, Yavuz K. 2013. Ekranlı araçlarla yapılan çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği. HAK-İŞ Uluslararası Emek Top Derg, 2(4): 115-129.
- Lagattuta FP, Falco FJE. 1996. Assessment and treatment of cervical spine disorders. Physical Medic Rehab, 1996: 728-751.
- Occhipinti E. 1998. OCRA: A concise index for the assessment of exposure to repetitive movements of upper limb. Ergonomics, 41(9): 1290-1311.
- Otto A, Scholl A. 2011. Incorporating ergonomic risks into assembly line balancing. European J Operat Res, 212: 277-286.
- Seçkiner S, Kurt M. 2013. Ofis güvenliğinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş ergonomi teknolojisi: KAIROS, örnek uygulama. Gazi Üniv Müh Mim Fak Derg, 19(1): 37-41.
- Yılmaz Ş, Bilici M, Zengin A. 2021. Ofis ortamlarında ekranlı araçlarla yapılan çalışmalarda sağlık ve güvenlik önlemleri. OHS Acad, 4(2): 43-48. <https://doi.org/10.38213/ohsacademy.798882>.



VEGETATION AND EVAPOTRANSPIRATION ANALYSES ON CLIMATE MAPS

Nehir UYAR^{1*}

¹Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak Vocational School, 67150, Zonguldak, Türkiye

Abstract: This study focuses on the investigation of Evapotranspiration (ET) processes under the climatic and geographical characteristics of Türkiye. ET refers to the process by which plants transfer water vapor to the atmosphere and is an important part of the water cycle. This research analyzes ET in Türkiye using imagery data from NASA Global Land Data Assimilation System Version 2 (GLDAS-2), MODIS, TerraClimate, SMAP Level-4, and Penman-Monteith-Leuning ET V2 (PML_V2). Surface Soil Moisture (SSM) data for Türkiye between 2016 and 2022 and Land Surface Temperature (LST) data between 2000 and 2022 were obtained from MODIS images. In the study, regression analyses were performed with ET values and SSM and LST data. The best result was a moderate correlation (R 0.57) between ET produced from SMAP Level-4 data and LST. A high correlation (R 0.59) was observed with SSM. Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS) 1981 and 2023 precipitation data and 1981 and 2023 Surface Pressure (PS) data were obtained from MERRA image. Regression analyses were performed between ET data and PS and precipitation values. A moderate relationship (R 0.37) was observed between ET and PS produced from MOD16A2 V105 data. A moderate relationship (R 0.50) was observed between ET and precipitation obtained from TerraClimate data. This study aims to contribute to the development of strategies to effectively manage water resources and improve agricultural sustainability by analyzing ET in various regions of Türkiye.

Keywords: ET, GLDAS-2, MODIS, TerraClimate, SSM, LST

*Corresponding author: Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak Vocational School, 67150, Zonguldak, Türkiye

E mail: nehiruyar@beun.edu.tr (N. UYAR)

Nehir UYAR  <https://orcid.org/0000-0003-3358-3145>

Received: January 26, 2024

Accepted: May 15, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Uyar N. 2024. Vegetation and evapotranspiration analyses on climate maps. BŞJ Eng Sci, 7(4): 616-626.

1. Introduction

Starting in the 1970s, remote sensing techniques have been used to determine parameters such as surface turbulent energy fluxes and soil water content. This method was initially adopted by geologists to level out mineral deposits and later by meteorologists to estimate the surface. Some geologists have used remote sensing techniques to detect ore deposits. They developed remote sensing methods to study turbulent energy flows at the surface and to determine soil water content. These studies were among the first examples where remote sensing techniques were used to determine soil properties. Later, meteorologists adopted this method and developed remote sensing techniques to measure and predict surface parameters. Researchers such as Price (1980), Soer (1980), Carlson et al. (1981), Price (1982), Wetzal et al. (1983) and, Carlson et al. (1984) used remote sensing techniques to determine important parameters such as surface turbulent energy fluxes and soil water content. Throughout the 1990s, this trend continued, and many papers were published on this topic.

ET, in conjunction with precipitation and runoff, plays a pivotal role in determining water availability and the distribution of turbulent energy fluxes across the Earth's

surface (McCabe and Wood, 2006). The utilization of satellite remote sensing for observing surface fluxes and soil water content has evolved across various spatial and temporal scales, especially following the recognition of the appeal and functionality of thermal infrared remote sensing in the 1980s (Kalma et al., 2008). This evolution has led to the development of diverse modeling schemes, each with its distinct mechanisms and levels of complexity.

ET, combining both evaporation and transpiration, involves the absorption of water by plants from their root zones (Brooks et al., 2003). ET not only tracks the amount of water essential for efficient water management but also contributes to the surface energy balance (Bogawski and Bednorz, 2014). As water efficiency improves globally and locally, preserving water in irrigation planning becomes more challenging (Krishna, 2019). ET can be used to measure plant water stress since the rates of water uptake by vegetation cover are uniform. Decreased water resources due to inadequate allocation can negatively impact harvests and jeopardize food security. Optimizing the water management system and accurately predicting ET are crucial in this context.

Precise estimation of ET is vital to understanding uncertainties in the behavior of the hydrological cycle in



response to climate change by identifying factors influencing ET and measuring it accurately. Reliable ET predictions, based on strong foundations, are essential to regulating irrigation system components, considering factors like the size and power of channels, reservoirs, and pumps, as ET plays a significant role in the water balance at all scales, from individual land plots to global land systems (Kharrou et al., 2021; Hao et al., 2022).

Studies combining remote sensing and ground methods to estimate ET over large areas, including agricultural regions, rangelands, and natural ecosystems, were applied in the review by Glenn et al. (2007). Different methods have been developed and applied to estimate evaporation from remote sensing data, ranging from SVAT models to complex methods based on the assimilation of remote sensing data in Cour et al. (2005).

Huang et al. (2024), aimed to perform analyses on a global scale using machine learning algorithms to accurately simulate ET in agricultural areas. The results constitute a valuable resource for agricultural water management and sustainable agriculture practices.

Deng et al. (2024), focused on evaluating the integration of remotely sensed ET into hydrological models in basins in CONUS. The performance of ET assimilation of various satellite data and its impact on different aspects of flow conditions were analysed and the influence of representative catchment characteristics on flow simulations was investigated in detail.

Du et al. (2024) investigated the important input factors that determine daily ET in different climate zones and the applicability of four different machine learning models, evaluated the accuracy of these models, and investigated the most appropriate model for each climate zone.

An important difference of this paper is that it utilises different satellite data in the process of determining ET. These data include factors such as LST, rainfall and pressure. Using these multiple data sources, the paper explores in detail how ET can be determined by remote sensing methods and how these determinations can be related to various environmental factors. In this way, it is aimed to obtain valuable information that will shed light on issues such as agricultural water management and sustainable development.

2. Materials and Methods

In recent decades, remote sensing technology has enabled the development of models for mapping ET and surface fluxes across large regional scales (Mu et al., 2007). These models rely on surface variables like albedo, leaf area index, and surface temperature from remote sensing products. However, achieving both high temporal and spatial resolutions remains a challenge for these products.

Different satellite products offer unique advantages. Landsat provides imagery at a high spatial resolution of 30 meters, albeit at a temporal resolution of 16 days. Meteosat Second Generation (MSG) excels in high temporal resolution (approximately every 15 minutes)

but with coarse spatial resolution (Anderson et al., 2011). MODIS satellites, with a 1-kilometer spatial resolution, conduct daily scans and capture a wide spectral range, making them extensively used for regional-scale ET mapping (Huete et al., 2002).

GLDAS_NOAH025_3H_2.1 operates using the Noah land surface model v.3.6, a widely accepted Land Surface Model integrated into the Global Forecast System model by NCEP (Rodell et al., 2004; Beaudoin and Rodell, 2020). TerraClimate merges monthly climatic water balance and climate variables from various datasets and uses a modified Thornthwaite–Mather climatic water-balance model for calculating actual ET (Abatzoglou et al., 2018).

SMAP Level-4 Soil Moisture (L4_SM) provides global 9-kilometer resolution soil moisture data using an ensemble Kalman filter technique integrating SMAP Tb observations into the NASA Catchment land surface model (Reichle et al., 2017; Reichle et al., 2019). The model incorporates observed precipitation, surface radiation, air temperature, humidity, and wind data from global weather analysis (Lucchesi, 2018).

Estimating ET is crucial for water resource planning, but direct measurement is challenging. Hence, methods rely on analyzing measurable meteorological variables over time (Granata, 2019). This study thoroughly analyzed ET patterns across Türkiye using data from GLDAS-2, MODIS, TerraClimate, SMAP Level-4, and PML_V2. Leveraging diverse datasets allowed a comprehensive examination of ET dynamics and trends in different Turkish regions. A graph for Türkiye between 2016 and 2022 was created from SSM data. Graphs were created from LST data for Türkiye between 2000 and 2022. SSM and LST data were obtained from MODIS images. In the study, regression analyses were performed with ET values and SSM and LST data. CHIRPS precipitation data between 1981 and 2023 and PS data between 1981 and 2023 were obtained from the MERRA image. Regression analyses were performed between ET data and PS and Precipitation values.

2.1. Study Area

In Figure 1, Google Earth image of Türkiye is given. The relationships between ET, precipitation, and Atmospheric Pressure (AP) play an important role in Türkiye's climate and water resource management. Türkiye's geographical location has various effects on ET, precipitation, and atmospheric pressure due to its different climatic zones. The relationship between ET and precipitation varies in different regions of Türkiye. In coastal areas, rainfall is generally higher, and this provides access to more water to meet the water needs of plants. On the other hand, the reduced amount of precipitation in inland areas creates equilibrium where ET is usually higher than precipitation.



Figure 1. Google Earth image of Türkiye.

AP generally influences the general characteristics of climate systems. High atmospheric pressure is generally associated with generally sunny and dry weather conditions, which can affect ET. Atmospheric pressure changes in different regions of Türkiye have an impact on wind patterns and air masses, which can have significant effects on precipitation and water resources. The analyses conducted in this study and the use of satellite data is important for understanding these variations and developing strategies for sustainable water resource management.

A visual of Türkiye's climate according to Aydeniz is given in Figure 2. Image was obtained from the Turkish State Meteorological Service website. Türkiye exhibits significant climatic variations due to its diverse geographical location and topographic features.

Particularly, the Mediterranean climate is characterized by hot and dry summers, and mild and rainy winters. These seasonal changes influence the ET process; while the evaporation rate increases during hot and dry summer months, the water loss of plants decreases during the mild and rainy winter months. The Black Sea climate, on the other hand, remains rainy throughout all seasons, primarily due to the influence of the sea, facilitating the transfer of abundant water vapor into the atmosphere. Inland areas with semi-arid and continental climates are notable for their temperature differences, experiencing hot and dry summers, and cold winters. This diversity plays a crucial role in various sectors ranging from agricultural production to tourism potential. ET, influenced by these climatic variations, shapes the water loss and water cycle of the region.

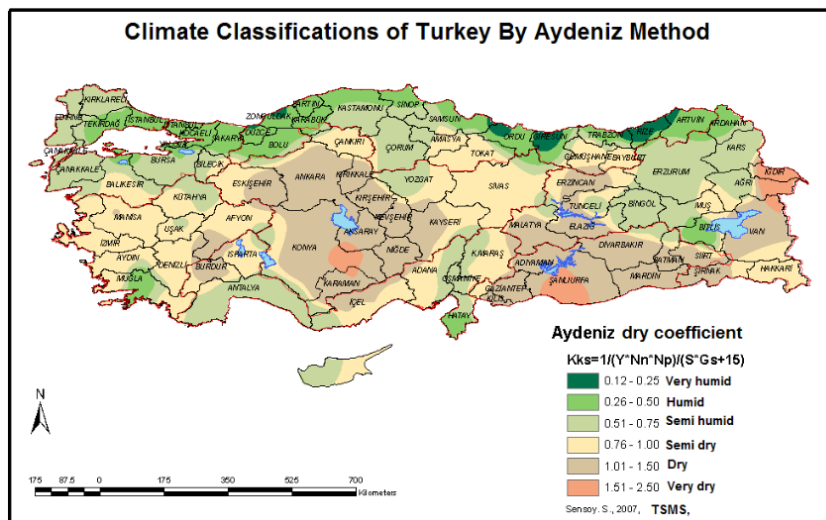


Figure 2. Climate of Türkiye according to Aydeniz. (added English version of the map)

3. Results

ET is a significant component in the global water cycle and provides a critical link between water, carbon, and surface energy on land. However, measuring and predicting ET, especially at large scales, is a challenging

process. Remote sensing provides a suitable tool to overcome this challenge and is used to estimate ET at regional and global scales. Over the past thirty years, numerous studies have been conducted on remote sensing-based ET estimation (Zhang et al., 2016).

In this study, a comparison and analysis of ET data obtained from different satellite platforms were conducted. The measurement techniques, sensitivity levels, and coverage areas of different satellite systems vary. Therefore, this study aims to evaluate how these differences affect ET predictions. A comparative analysis was performed using ET data obtained from different satellite platforms. The characteristics of the data provided by each satellite platform were thoroughly examined, and the potential advantages and limitations of these data in ET predictions were identified. Additionally, methods for integrating and analyzing different satellite data were developed. These methods were designed to ensure consistent and comprehensive

evaluation of ET even when data are obtained at different time intervals or resolutions. The results demonstrate how different satellite platforms may produce varying results in ET predictions under specific conditions. This study aims to establish a foundation for more effective use of satellite data and to achieve more accurate results in the remote sensing and prediction of ET.

Figure 3a shows the ET values for Türkiye between 2000 and 2023 from GLDAS-2 images. ET values between 1.2 and 1.5 were observed on average. The highest year was 2014, while the lowest year was 2000. The map of average ET values between 2000 and 2023 is given in figure 3b. It has been observed that the ET value is more intense in coastal regions.

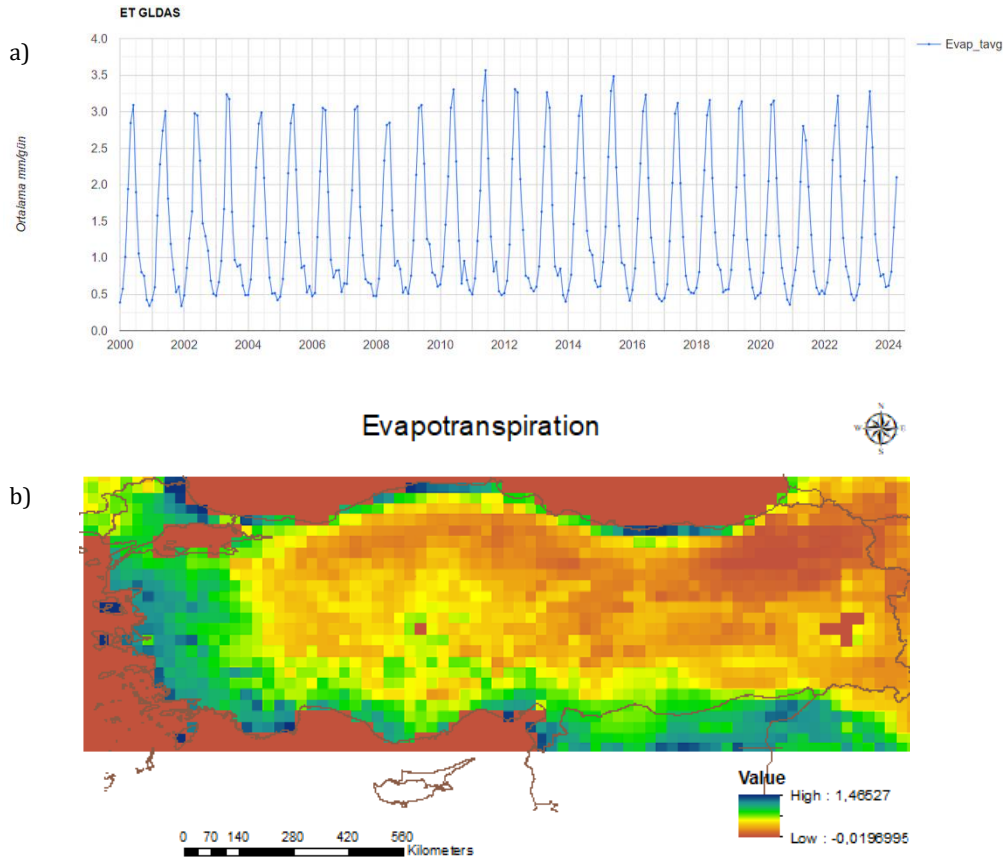


Figure 3. ET values of GLDAS-2 image during 2000 and 2023 (a), Map of average ET values in 2000 and 2023 (b).

Figure 4a shows the ET values for Türkiye from MOD16A2 product images between 2000 and 2014. Between 0.9 and 1.1 values were observed. Looking at the annual average values, 2011 was the highest and 2008 was the lowest. Figure 4b shows the map of average ET values in 2000 and 2015. It was observed that the ET value was more intense in the southeastern Anatolia region.

Figure 5a shows the ET values for Türkiye between 2001 and 2023 from MOD16A2 Version 6.1 images. In 2018, it reached the highest average value, and in 2001, it reached the lowest average value. Figure 5b shows the map of average ET values between 2001 and 2023. It was observed that the ET value was more intense in the Aegean Sea and Mediterranean coastal regions.

Figure 6a shows the ET values for Türkiye between 1958 and 2022 from TerraClimate images. It was observed that the average was between 1 and 1.5. While 2018 had the highest average, 1973 had the lowest average. Figure 6b shows the map of average ET values in 1955 and 2024. It has been observed that the ET value is more intense in coastal regions.

Figure 7a shows the ET values for Türkiye between 2015-2023 from the SMAP Level-4 images. It remained between 1.2 and 1.7. The highest average value was observed in 2015, and the lowest was observed in 2022. Figure 7b shows the map of average ET values in 2015 and 2024. It was observed that the ET value was low in the Central Anatolia and Eastern Anatolia regions.

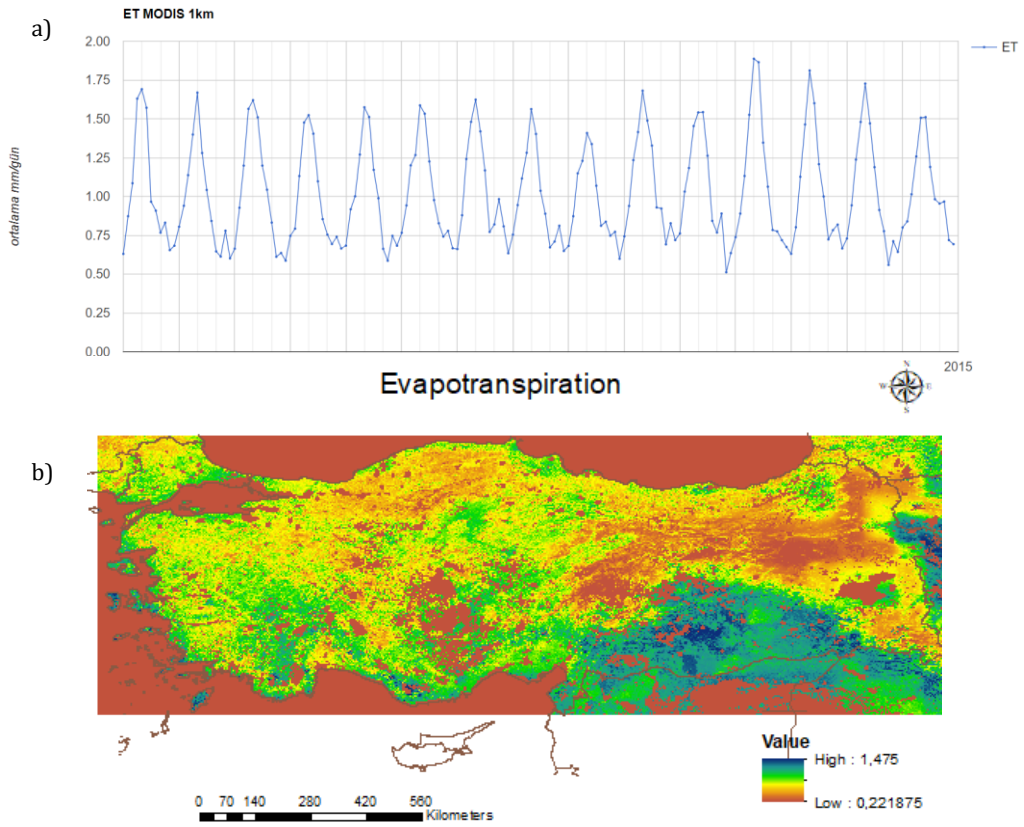


Figure 4. ET values of the MOD16A2 V105 product 2000 and 2014 (a), Map of average ET values in 2000 and 2015 (b).

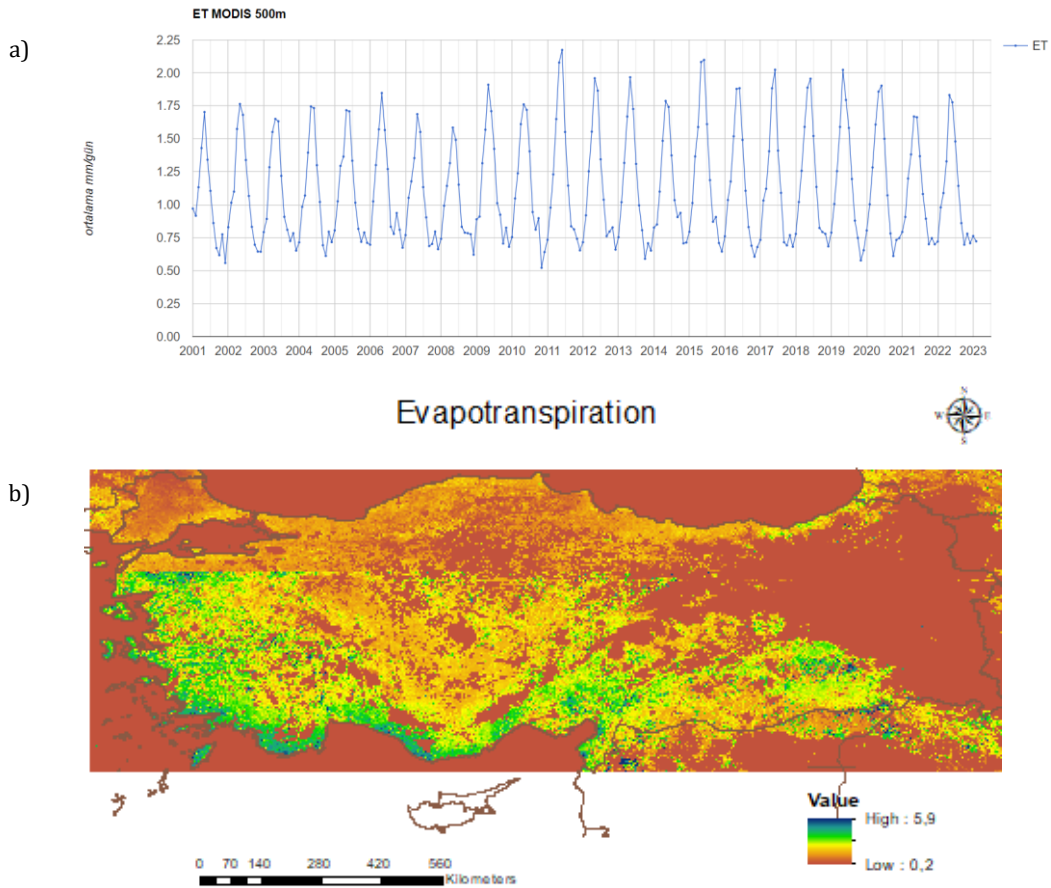


Figure 5. ET values of the MOD16A2 Version 6.1 image during 2001 and 2023 (a), Map of average ET values in 2001 and 2023 (b).

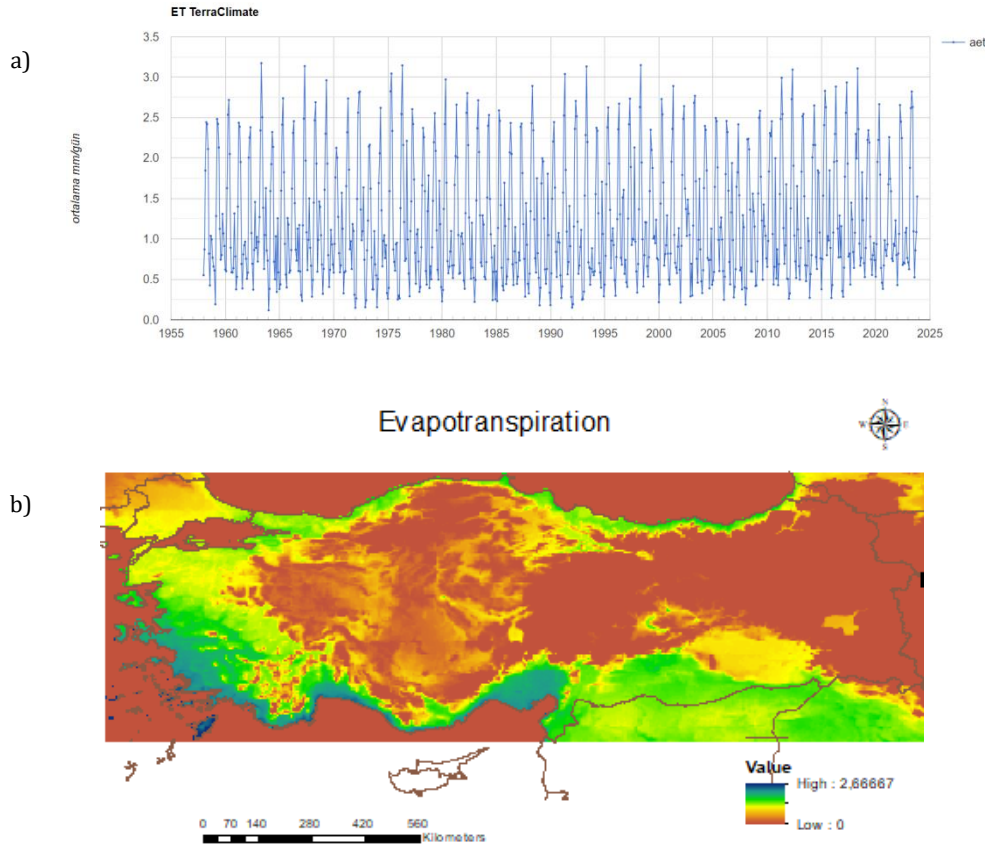


Figure 6. ET values of the TerraClimate image between 1955 and 2022 (a), Map of average ET values in 1955 and 2024 (b).

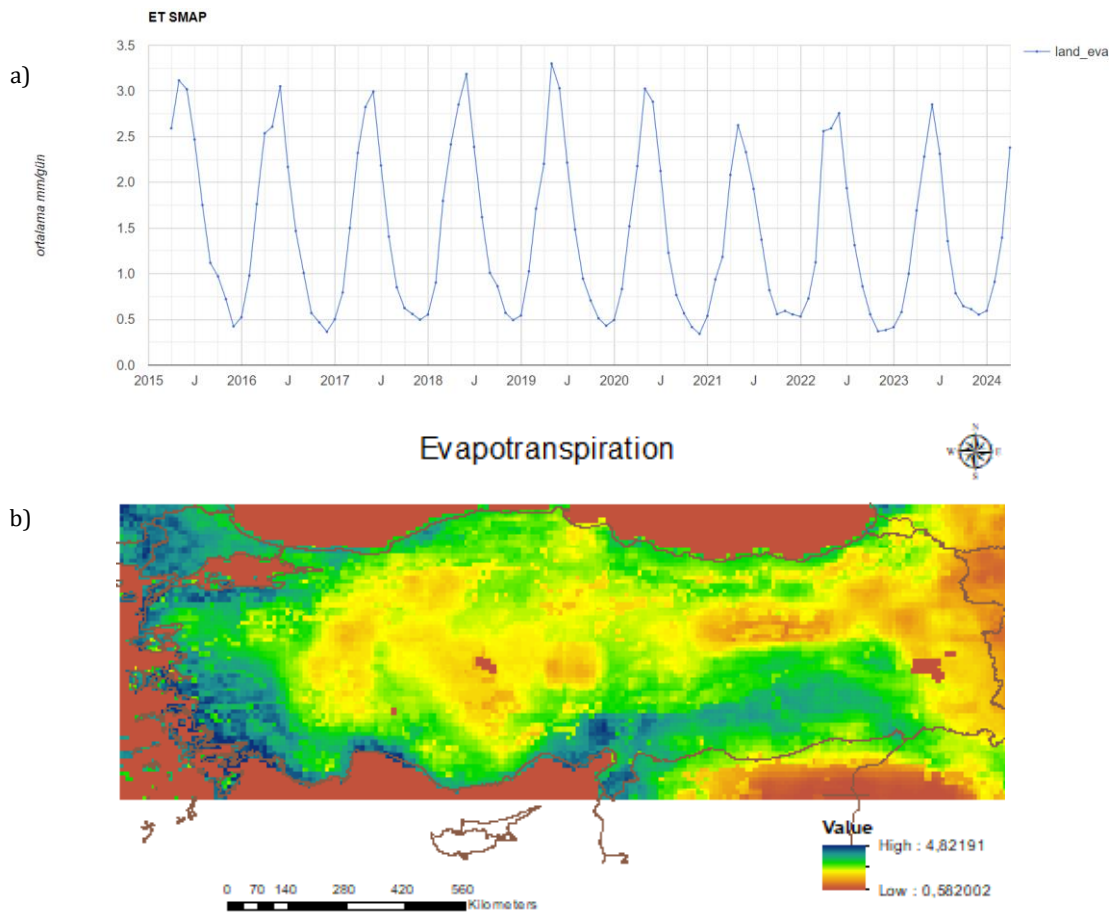


Figure 7. ET values of the SMAP Level-4 image in 2015 and 2023 (a), Map of average ET values in 2015 and 2024 (b).

Figure 8a shows the ET values for Türkiye between 2000 and 2022 from PML_V2 images. Vegetation transpiration (Ec) reached the highest value in 2020 and the lowest value in 2008. Soil evaporation (Es) reached the highest value in 2014 and the lowest value in 2019. Interception from vegetation canopy (Ei) reached the highest value in 2007 and the lowest value in 2000. Figure 8b shows the map of average ET values in 2000 and 2021. It was observed that the ET value was high in all coastal regions except the Black Sea.

Graphs were generated utilizing SSM data for Türkiye between the years 2016 and 2022, extracted from MODIS images in Figure 9a. These graphical representations offer a detailed overview of the temporal trends and spatial distribution of soil moisture levels across various regions of Türkiye during the specified timeframe. Figure 8 shows the surface soil moisture graphs between 2016 and 2022. SSM was highest in January 2019 and lowest in August 2021. It is observed that soil moisture in Türkiye is particularly intense in the Eastern Black Sea region. The lowest value of soil moisture was observed in 2019. In 2022, it was observed that soil moisture increased in the Eastern Black Sea region and the Eastern Anatolia region. Figure 9b shows the map of average SSM values in 2016 and 2022. It was observed that the ET value was high in the Black Sea region.

Graphs were created from LST data for Türkiye between 2000 and 2022 extracted from MODIS images in Figure 10a. These visualizations provide a comprehensive depiction of the temporal patterns and spatial distribution of LST across different regions of Türkiye during the specified period. 22-year LST values are given

in the figure. It was created by averaging the monthly average values. It was observed that the highest average was reached in 2000, and the lowest average was reached in 2011. A map of the average LST values in 2000 and 2022 is given in Figure 10b. It was observed that the ET value was high in the Black Sea and Eastern Anatolia regions.

CHIRPS provide high-resolution precipitation data between 1981 and 2023 in Figure 11a. This dataset offers valuable information to researchers, policymakers, and various stakeholders for analyzing long-term precipitation patterns, assessing drought conditions, and monitoring water resources. Figure 10 shows the precipitation values between 1981 and 2023. The highest precipitation value was observed in 2009, and the lowest precipitation value was observed in 1989. Figure 11b shows the map of average precipitation values in 1981 and 2023. It was observed that the ET value was high on the coasts of Antalya and Mersin provinces.

PS data between 1981 and 2023 were acquired from MERRA image, providing a comprehensive record of atmospheric pressure variations over this period. This dataset, derived from a combination of satellite observations and atmospheric models, offers valuable information for studying atmospheric dynamics, weather patterns, and climate variability. Figure 12a shows the PS values between 1981 and 2023. The highest PS value was observed in 1989, and the lowest PS value was observed in 1981. A map of the average PS values between 1981 and 2023 is shown in Figure 12b. It was observed that the ET value was high in coastal regions.

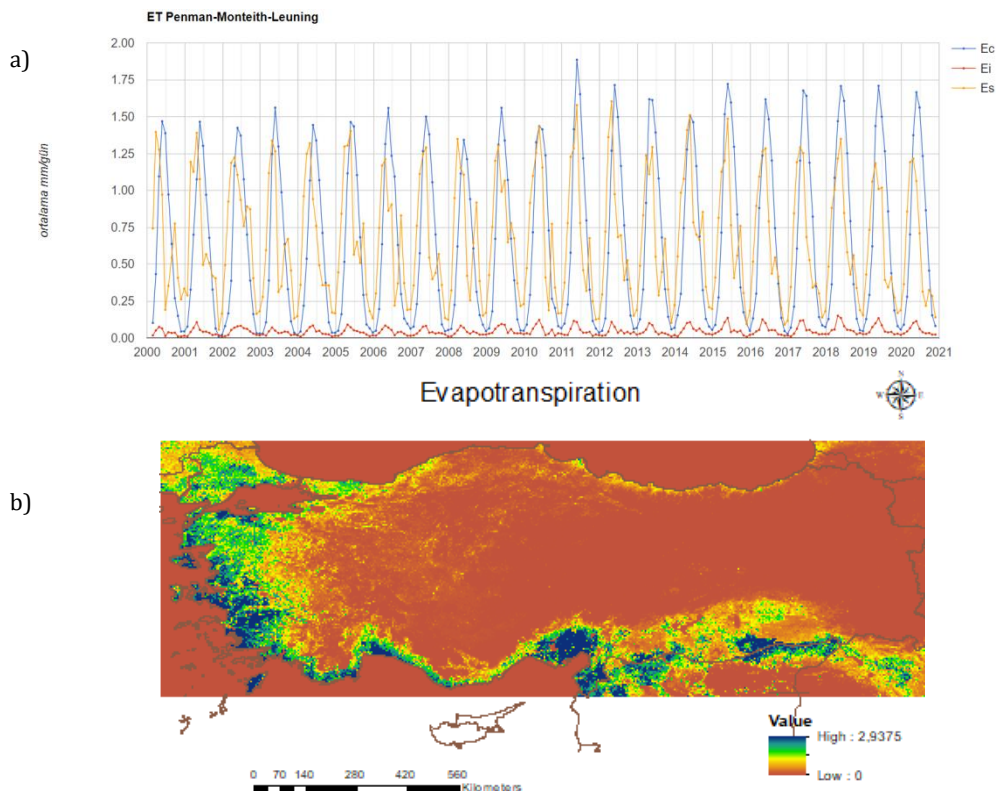


Figure 8. ET values of the PML_V2 image in 2000 and 2022 (a), Map of average ET values in 2000 and 2021 (b).

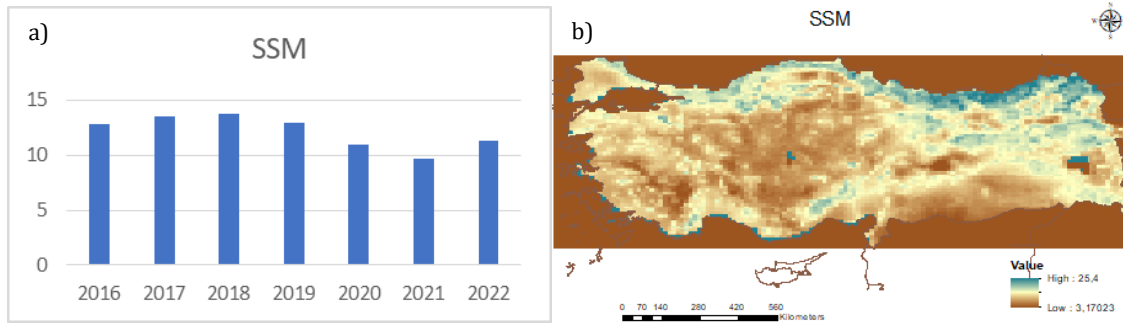


Figure 9. SSM graphs in 2022 and 2016 (a), Map of average SSM values in 2016 and 2022 (b).

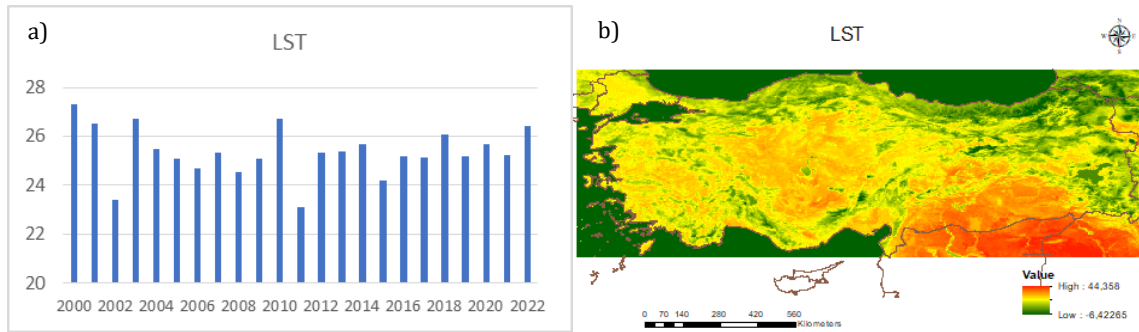


Figure 10. 22-year LST values table (a), Map of average LST values in 2000 and 2022 (b).

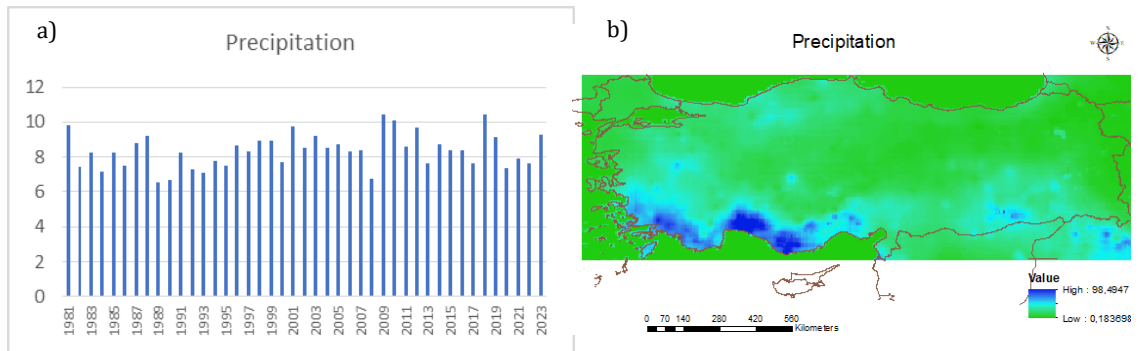


Figure 11. Precipitation values in 1981 and 2023 (a), Map of average precipitation values in 1981 and 2023 (b).

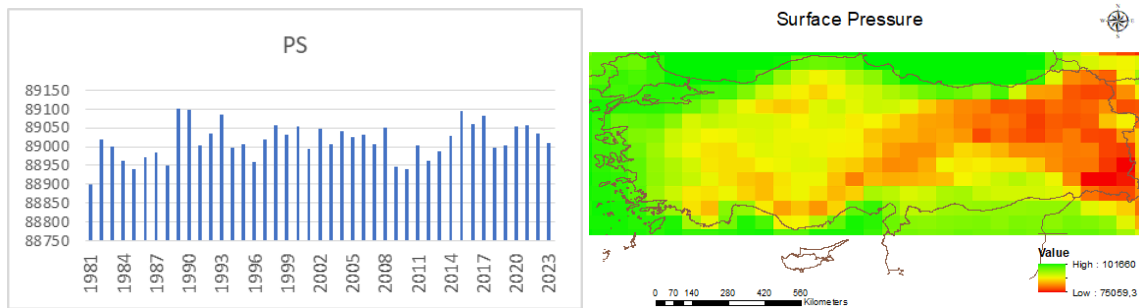


Figure 12. PS values in 1981-2023 (a), Map of average PS values in 1981 and 2023 (b).

4. Discussion

This study is based on combining major satellite data sources such as GLDAS-2, MODIS, TerraClimate, SMAP Level-4, and PML_V2 to provide a comprehensive analysis of ET patterns in various regions of Türkiye. To accurately estimate ET, different algorithms and models are used to synthesize these data sources. This synthesis was done to gain a deeper understanding of the factors

affecting ET in Türkiye. These factors include climate variability, topographical differences, soil composition, and vegetation typology.

This article highlights an important difference in the use of various satellite data in the determination of ET. Using various data sources such as LST, precipitation and pressure, the paper explores in detail how ET can be determined by remote sensing methods and how these

determinations relate to environmental factors. The aim of this study is to provide valuable information on issues such as agricultural water management and sustainable development. Direct ET values were calculated for products such as GLDAS-2, MODIS, TerraClimate and SMAP Level-4. On the other hand, for ET calculations in the PML_V2 product, separate analyses of plant transpiration, soil evaporation and water from vegetation were performed. The resulting average ET values are as follows: 1.4 for GLDAS-2, 1 for MOD16A2 V105, 1 for MOD16A2 Version 6.1, 1.1 for TerraClimate, and 1.4 for SMAP Level-4. PML_V2 analyses revealed average values of 0.6 for plant transpiration, 0.6 for soil evaporation, and 0.05 for water from vegetation.

Regression analysis between parameters is given in Table 1. All analyzes were made in the SSPS program by taking the average annual values of all data. A moderate

correlation (R 0.42) was observed between LST and ET generated from GLDAS-2 data. A moderate correlation (R 0.45) was observed with SSM. Moderate correlation (R 0.43) between LST and ET generated from MOD16A2 V105 data. A moderate correlation (R 0.34) was observed between LST and ET generated from MOD16A2 Version 6.1 data. A moderate correlation (R 0.33) was observed between the ET created from MOD16A2 Version 6.1 data and SSM. Low correlation (R 0.21) between LST and ET generated from TerraClimate data. A moderate correlation (R 0.59) was observed with SSM. Moderate correlation (R 0.57) between LST and ET generated from SMAP Level-4 data. A moderate correlation (R 0.39) was observed with SSM. A moderate correlation (R 0.54, R 0.37) was observed between Ec and SSM generated from Ei and PML_V2 data. Statistical analyses were performed by taking the mean values of each year.

Table 1. Regression analysis between parameters

Image	Cor. with PS	Cor. with LST	Cor. with Precipitation	Cor. with SSM
GLDAS-2	0.21	0.42	0.43	0.45
MOD16A2 V105	0.37	0.43	0.33	-
MOD16A2 Version 6.1	0.06	0.34	0.17	0.33
TerraClimate	0.05	0.21	0.50	0.59
SMAP Level-4	0.07	0.57	0.52	0.39
PML_V2 (Ec)	0.06	0.11	0.04	0.54
PML_V2 (Ei)	0.07	0.19	0.36	0.37
PML_V2 (Es)	0.14	0.22	0.30	0.27

Cor= correlation, SP= surface pressure, LST= land surface temperature, SSM= surface soil moisture.

When the relationship between ET and soil moisture was analyzed by regression, which is a statistical analysis, a moderate relationship was observed. A moderate relationship means a situation where soil moisture level decreases as ET increases or, conversely, soil moisture level increases as ET decreases. This indicates that there is a balance between the absorption of water by plants and its release back to the atmosphere. These regression analyses can be used to understand the impacts of agricultural practices, water resource management, and climate change. A moderate relationship can be an important indicator for developing appropriate strategies for water resource management and plant growth.

Medium level (R 0,43) between ET and precipitation generated from GLDAS-2 data. A low-level relationship was observed with PS. Medium level (R 0,33) between ET and precipitation generated from MOD16A2 V105 data. A moderate relationship (R 0.37) was observed with PS. A low-level relationship was observed between ET and precipitation generated from MOD16A2 Version 6.1 data, and a low-level relationship was observed with PS. There was a moderate relationship (R 0.50) between ET and precipitation generated from TerraClimate data and a low relationship with PS. There is a moderate relationship (R 0.52) between ET and precipitation

generated from SMAP Level-4 data. A low-level relationship was observed with PS. ET generated from PML_V2 data showed a moderate relationship between Ei and precipitation (R 0.36) and a low relationship with PS. Statistical analyzes were made by taking the average values of each year.

The relationship between ET and precipitation generally shows a moderate relationship. As the amount of precipitation increases, the amount of water in the soil and the water absorption capacity of plants increase. This means that plants evaporate more water, which leads to increased ET. This intermediate relationship represents a balance point of the plants' need for water and the return of water to the atmosphere.

On the other hand, the relationship between ET and PS is low. Surface pressure refers to the pressure exerted by the air masses in the atmosphere on the earth's surface. Increased ET usually does not directly affect the surface pressure since this process mostly involves the passage of water vapor into the atmosphere. High ET is not usually associated with low surface pressure, as these two parameters refer to different processes in the atmosphere.

5. Conclusion

As a result, the intermediate relationship between ET and precipitation forms part of the water cycle, while the low relationship between ET and surface pressure reflects the complexity of atmospheric conditions. Understanding these factors is important in understanding the variability affecting climate systems and water resources. Among the expected outcomes of this study is a better understanding of spatio-temporal ET patterns specific to Türkiye. Furthermore, combining, and comparative analysis of data from these different satellite sources aims to improve the understanding of ET dynamics and drivers. The results of this study can help formulate effective water resource management strategies and facilitate ecosystem monitoring in the Turkish context. The predicted results of this study include a detailed understanding of ET patterns in different geographical regions of Türkiye. Furthermore, combining and analyzing data from these different satellite sources aims to provide a deeper understanding of the dynamics and influencing factors of ET. These results can make important contributions to the development of Türkiye's water resources management strategies and sustainable monitoring of ecosystems.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is presented below. The author reviewed and approved the final version of the manuscript.

	N.U.
C	100
D	100
S	100
DCP	100
DAI	100
L	100
W	100
CR	100
SR	100
PM	100
FA	100

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

Ethical Consideration

Ethics committee approval was not required for this study because of there was no study on animals or humans.

Acknowledgements

I would like to thank the anonymous reviewers and editors for their valuable comments and suggestions regarding this article.

References

Abatzoglou JT, Dobrowski SZ, Parks SA, Hegewisch KC. 2018. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Sci Data*, 5 (1): 1-12.

Anderson MC, Kustas WP, Norman JM, Hain CR, Mecikalski JR, Schultz L, González-Dugo MP, Cammalleri C, Urso G, Pimstein A, Gao F. 2011. Mapping daily ET at field to continental scales using geostationary and polar orbiting satellite imagery. *Hydrol Earth Syst Sci*, 15: 223-239.

Beaudoin H, Rodell M. 2020. GLDAS Noah land surface model L4 3 hourly 0.25 × 0.25-degree v.2.1. Greenbelt, MD, USA: Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). NASA/GSFC/HSL. https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GLDAS_NOAH025_3H_2.1/summary (accessed date: September 23, 2023).

Bogawski P, Bednorz E. 2014. Comparison and validation of selected evapotranspiration models for conditions in Poland (Central Europe), water resources management. Springer, London, UK, 28(14): 5021-5038.

Brooks KN, Ffolliott PF, Gregersen HM, DeBano LF. 2003. Hydrology and the management of watersheds. Iowa State Press, Ames, IA, US, pp: 574.

Carlson TN, Dodd JK, Benjamin SG, Cooper JN. 1981. Remote estimation of surface energy balance, moisture availability and thermal. *Inertia J Appl Meteor* 20: 67-87.

Carlson TN, Rose FG, Perry EM. 1984. Regional scale estimates of surface moisture availability from goes satellite. *Agron J*, 76: 972-979.

Cour D, Seguin B, Olioso A. 2005. Review on estimation of ET from remote sensing data: From empirical to numerical modeling approaches. *Irrigat Drain Syst*, 19(3):223-249

Deng C, Zou J, Wang W. 2024. Assimilation of remotely sensed ET products for streamflow simulation based on the CAMELS data sets. *J Hydrol*, 629: 130574.

Du C, Jiang S, Chen C, Guo Q, He Q, Zhan C. 2024. Machine learning-based estimation of daily cropland ET in diverse climate zones. *Remote Sens*, 16(5): 730.

Glenn EP, Huete AR, Nagler PL, Hirschboeck KK, Brown P. 2007. Integrating remote sensing and ground methods to estimate ET. *Critical Rev Plant Sci*, 26: 3.

Granata F. 2019. ET evaluation models based on machine learning algorithms—A comparative study. *Agric Water Manag*, 217: 303-315.

Hao P, Di L, Guo L. 2002. Estimation of crop ET from MODIS data by combining random forest and trapezoidal models. *Agric. Water Manag*, 259: 107249.

Huang J, Zhang S, Zhang J, Zheng X, Meng X, Yang S, Bai Y. 2024. Integrating meteorological and remote sensing data to simulate cropland nocturnal ET using machine learning. *Sustain*, 2024: 16.

Huete A, Didan K, Miura T, Rodriguez EP, Gao X, Ferreira LG. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens Environ*, 83: 195-213.

Kalma JD, McVicar TR, McCabe MF. 2008. Estimating land surface evaporation: A review of methods using remotely sensed surface temperature data. *Surveys Geophys*, 29: 421-469.

- Krishna PR. 2019. Evapotranspiration and agriculture—a review. *Agric Rev*, 40: 1-11.
- Kharrou MH, Simonneaux V, Raki S, Page LM, Khabba S, Chehbouni A. 2021. Assessing irrigation water use with remote sensing-based soil water balance at an irrigation scheme level in a semi-arid region of Morocco. *Remote Sens*, 13(6): 1133.
- Lucchesi R. 2018. File specification for GEOS-5 FP (forward processing). GMAO Office Note 4 (version 1.2), New York, USA, pp: 62.
- McCabe MF, Wood EF. 2006. Scale influences on the remote estimation of ET using multiple satellite sensors. *Remote Sens Environ*, 105: 271-285.
- Mu QZ, Heinsch FA, Zhao MS, Running SW. 2007. Development of a global ET algorithm based on MODIS and global meteorology data. *Remote Sens Environ*, 111(4): 519-536.
- Price JC. 1982. Estimation of Regional Scale ET through Analysis of Satellite thermal-infrared Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-20, New York, USA, pp: 286-292.
- Price JC. 1980. The Potential of Remotely Sensed Thermal Infrared Data to Infer Surface Soil Moisture and Evaporation. *Water Resourc Res*, 16: 787-795.
- Reichle RH, De Lannoy GJM, Liu Q, Koster RD, Kimball JS, Crow WT, Ardizzone JV, Chakraborty P, Collins DW, Conaty AL, Grotto M, Jones MA, Kolassa J, Lievens H, Lucchesi RA, Smith EB. 2017. Global assessment of the SMAP level-4 surface and root-zone soil moisture product using assimilation diagnostics. *J Hydrometeor*, 18: 3217-3237.
- Reichle RH, Liu Q, Koster RD, Crow WT, De Lannoy GJM, Kimball JS, Ardizzone JV, Bosch D, Colliander A, Cosh M, Kolassa J, Mahanama SP, Prueger J, Starks P, Walker JP. 2019. Version 4 of the SMAP level-4 soil moisture algorithm and data product. *J Adv Model Earth Syst*, 11: 3106-3130.
- Rodell M, Houser PR, Jambor U, Gottschalck J, Mitchell K, Meng CJ, Arsenault K, Cosgrove B, Radakovich J, Bosilovich M. 2004. The global land data assimilation system. *Bulletin American Meteorol Soc*, 85: 381-394.
- Soer GJR. 1980. Estimation of regional ET and soil moisture conditions using remotely sensed crop surface temperatures. *Remote Sens Environ*, 9: 27-45.
- Wetzel P, Atlas D, Woodward R. 1983. Determining Soil Moisture from Study. *J Clim Appl Meteor*, 23: 375-391.
- Zhang K, Kimball JS, Running SW. 2016. A review of remote sensing based actual ET estimation. *Wires Water*, 3(6): 834-853.



TÜRKİYE'DEKİ KESİMHANE ATIKLARINDAN VE ÇİFTLİK HAYVANLARI GÜBRELERİNDEN ELDE EDİLEBİLECEK BİYOGAZ POTANSİYELİNİN TESPİTİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Salih SÖZER^{1*}

¹Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Mechanical and Metal Technologies, 07070 Antalya, Türkiye

Özet: Organik materyallerin oksijensiz ortamda çürütülmesi sonucu elde edilen biyogaz, yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Günümüzde hem çevre kirliliğini önlemede hem de doğaya zarar vermeden temiz enerji üretiminde tercih edilen biyogaz teknolojisi, popülerliğini artıran ve hızla yaygınlaşan bir yöntemdir. Türkiye'nin nüfusu her geçen gün artmakta ve buna bağlı olarak tarımsal ürün üretimi ve enerji tüketimi de artmaktadır. Enerji konusunda kendi kendine yetemeyen ülkemizin mevcut kaynaklarını en iyi şekilde değerlendirmesi bir gerekliliktir. Türkiye'de artan nüfusun et ihtiyacının karşılanabilmesi için mevcut çiftlik hayvanı sayısı da buna bağlı olarak yükselmektedir. Buna paralel olarak çiftliklerde oluşan taze gübre miktarı, kesimhanelerde oluşan kan ve işkembe içerikleri de artmaktadır. Bu çalışmada 2022 yılı verileri kullanılarak kesilen çiftlik hayvanlarının kan ve işkembe içeriklerinden elde edilebilecek biyogaz miktarları ile mevcut çiftlik hayvanlarının taze gübre miktarından elde edilebilecek biyogaz miktarları hesaplanmıştır. Çalışma sonucuna göre kesimhane atıkları ve çiftlik hayvanlarının gübrelerinden elde edilebilecek biyogaz miktarı yıllık olarak 24,495 milyar m³ ve bu miktardaki biyogazdan elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı 4,41×10¹⁰ kWh'dir.

Anahtar kelimeler: Biyogaz, Kesimhane atıkları, Çiftlik hayvanları gübresi, Biyogaz potansiyeli


A Research on the Determination of Biogas Potential from Slaughterhouse Wastes and Livestock Manure in Türkiye

Abstract: Biogas, which is obtained as a result of the decomposition of organic materials in an oxygen-free environment, is one of the renewable energy sources. Today, biogas technology, which is preferred both in preventing environmental pollution and in producing clean energy without harming nature, is a method that is increasing its popularity and rapidly spreading. Türkiye's population is increasing day by day and accordingly, agricultural product production and energy consumption are also increasing. It is a necessity for our country, which is not self-sufficient in energy, to make the best use of its existing resources. In order to meet the meat needs of the increasing population in Türkiye, the number of livestock available is increasing accordingly. In parallel with this, the amount of fresh manure generated in farms, blood and rumen contents in slaughterhouses are also increasing. In this study, the amount of biogas that can be obtained from the blood and rumen contents of slaughtered livestock and the amount of biogas that can be obtained from the fresh manure amount of existing livestock were calculated using the data for 2022. According to the results of the study, the amount of biogas that can be obtained from slaughterhouse waste and farm animal manure is 24.495 billion m³ annually and the amount of electrical energy that can be obtained from this amount of biogas is 4.41×10¹⁰ kWh.

Keywords: Biogas, Slaughterhouse waste, Livestock manure, Biogas potential

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Mechanical and Metal Technologies, 07070 Antalya, Türkiye

E mail: sozer@akdeniz.edu.tr (S. SÖZER)

Salih SÖZER  <https://orcid.org/0000-0003-3083-9416>

Gönderi: 02 Nisan 2024

Kabul: 21 Mayıs 2024

Yayınlanma: 15 Temmuz 2024

Received: April 02, 2024

Accepted: May 21, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Sözer S. 2024. A research on the determination of biogas potential from slaughterhouse wastes and livestock manure in Türkiye. BSJ Eng Sci, 7(4): 627-634.

1. Giriş

Günümüzde dünyanın en önemli sorunlarından bir tanesi küresel ısınmadır. Küresel ısınmaya bağlı olarak oluşan iklim değişiklikleri ve bozulan doğal denge, tüm insanlığın ve dünyamızdaki tüm canlıların geleceğini tehdit etmektedir. Küresel ısınmayı hızlandıran başlıca etmenlerin başında fosil kökenli yakıtların kullanılması gelmektedir. Sera gazları olarak bilinen ve fosil yakıtların yakılması sonucu büyük miktarlarda oluşan karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve azot oksit (N₂O) gazları küresel ısınmada büyük paya sahiptir. Sera

gazlarının dünya yüzeyinden yansıyan ısıyı çevreleyerek küresel ısınmada belirleyici bir faktör olduğu, CO₂'nin en yüksek katkısı (%60) ve CH₄'ün daha az etkisi olduğu iyi bilinmektedir (Williams ve ark., 2012; Hosseini ve ark., 2013; Hosseini ve Wahid, 2014; Rahimnejad ve ark., 2015; Abdeshahian ve ark., 2016). Normal koşullarda CH₄'ün etkisi CO₂'nin etkisininin 25 katıdır. Fakat fosil kökenli enerji kaynaklarının yoğun kullanımından dolayı CO₂ salınımı çok fazladır. Bu sebeple tüm dünyada küresel mücadele için CO₂ salınımının azaltılması üzerine plan ve programlar yapıp hedefler belirlenmektedir.



Fosil kökenli yakıtların rezervlerinin sınırlı oluşu ve çevresel etkileri, bilim insanlarını yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli ve yaygın kullanımı ile diğer alternatif enerji kaynaklarının kullanımı konularında arayışlara itmektedir. Biyogaz organik maddelerin oksijensiz bir ortamda mikroorganizmalar tarafından parçalanması sırasında üretilir; buna genel olarak anaerobik fermentasyon adı verilir (Mata-Alvarez ve ark., 2000; Christy ve ark., 2014; Li ve ark., 2014; Cremiato ve ark., 2018). Anaerobik fermentasyon, belediye katı atıkları, gıda atıkları, endüstriyel atıklar, kanalizasyon çamuru, hayvan gübresi ve tarımsal kalıntılar gibi çeşitli organik atıkların arıtılması yoluyla atık malzemelerin enerji kaynaklarına dönüştürülmesine yönelik biyolojik bir süreç olarak bulunmuştur (Gebrezgabher ve ark., 2010; Çelik ve Demirer, 2015; Huang ve ark., 2015; Nitsos ve ark., 2015; Shen ve ark., 2015; Yong ve ark., 2015). Biyogaz, çoğunluğu metan (%60) ve karbondioksitten (%35-40) oluşan, çevresel açıdan avantajlı bir enerji kaynağıdır. Ayrıca biyogaz, amonyak (NH₃), hidrojen sülfür (H₂S), hidrojen (H₂), oksijen (O₂), azot (N₂) ve karbon monoksit (CO) gibi diğer gazları da düşük miktarda içerir (Chasnyk ve ark., 2015; Sun ve ark., 2015). Biyogazın enerji olarak değerlendirilmesi yanında fermentasyon sonucunda geri kalan organik atık maddelerin koku problemi ve içerdikleri zararlı patojen problemleri de ortadan kaldırılmış olur. Ayrıca tarımsal atıkların fermentasyonu sonucunda, içeriği daha zengin, zararlı patojen içermeyen bir organik gübre elde edilir ve tarımsal üretimde rahatlıkla kullanılabilir.

Türkiye toplam 783.561 km² alana sahip bir ülkedir. Ülkemizin nüfusu 2023 yılı verilerine göre 85.372.377 kişidir (TÜİK, 2024a). Ülkemizin 2023 istatistiklerine göre; 38.559.000 hektar alanında tarımsal faaliyetler yürütülmektedir. (TÜİK, 2024b). Yıllar içinde artan nüfusun bitkisel ve hayvansal gıda ihtiyacının giderilebilmesi için tarımsal faaliyetlerde artmaktadır. Buna bağlı olarak tarımsal faaliyetlerden dolayı açığa çıkan organik atık miktarı da artmaktadır. Temel gıda maddelerinden olan kırmızı ve beyaz et ihtiyacının karşılanabilmesi için çiftlik hayvanları sayısında ve kesilen hayvan sayısında doğal bir artış gözlemlenmektedir. Kesilen hayvan sayılarında ve yetiştirilen hayvan sayılarındaki artışla birlikte açığa çıkan kesimhane atıkları ile taze gübre miktarları da yıldan yıla artmaktadır. Hayvansal atıkların (kesimhane ve taze gübre) düzenli bir şekilde kontrol edilememesi ve bu atıkların bilinçsizce tarım alanlarına, meralara ve akarsulara bırakılması, atmosferin, toprak ve su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır.

Ülkemiz hem enerji konusunda hem de gübre hammaddesi konusunda dışa bağımlı bir ülkedir. Bu sebeple mevcut kaynakların en verimli şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada ülkemizde oluşan kesimhane atıkları ve gübre atıkları miktarı 2022 verilerine göre belirlenerek elde edilebilecek biyogaz miktarı, bu gazın yakılması sonucu elde edilebilecek ısı değer ve biyogazın elektriğe

çevrilmesi sonucu elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Biyogaz potansiyelinin tespiti için öncelikle mevcut çiftlik hayvanları sayıları ele alınmıştır. Çiftlik hayvanlarından et ihtiyacı için kesilen çeşitlerin verisi kullanılarak yıllık olarak elde edilebilecek kesimhane atıkları miktarı bulunmuştur. Tüm çiftlik hayvanlarının sayısı temel alınarak yıllık üretilen taze gübre ve bundan elde edilecek miktar hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında diğer çalışmalarda temel alınan veriler kullanılarak üretililecek biyogaz, ısı değer ve elektrik miktarı bulunmuştur.

2.1. Türkiye'nin Hayvan Varlığı

Ülkemizdeki tarımsal işletmelerin yapısına baktığımız zaman işletmelerin çoğunun hem hayvansal hem bitkisel üretimi birlikte yaptığını görmekteyiz. Yapılan istatistiklere göre ülkemizdeki tarımsal işletmelerin %37,2'si sadece bitkisel üretim, %0,2'si sadece hayvansal üretim ve %62,3'ü hem hayvansal hem bitkisel üretim yapmaktadır (TÜİK, 2008). Kısaca tarımsal işletmelerin büyük çoğunluğunda hayvancılık faaliyeti yürütülmektedir. Ülkemizdeki çiftlik hayvanları sayısı 2022 yılı verilerine göre 438.131.400'dür (TÜİK, 2024c). Çiftlik hayvanlarının cinsine ve sayılarına ait ayrıntılar Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Türkiye'nin 2022 yılı çiftlik hayvanları sayısı (TÜİK, 2024c)

Hayvan türü	Hayvan sayısı (adet)
Siğir	17.023.791
Domuz	1.648
Koyun	44.687.888
Keçi	11.577.862
Hindi	3.669.726
At	74.359
Et tavuğu	251.289.799
Yumurta tavuğu	109.806.327
Genel Toplam	438.131.400

2.2. Kesimhane Atık Miktarlarının Belirlenmesi

Kesimhane atıkları olarak kan ve işkembe atıkları hesaplanmış ve hesaplamalarda söz konusu oluşan bu atıkların tamamının herhangi bir kayba uğramadan elde edileceği varsayılmıştır. Yapılan çalışmalarda kesim sonrası oluşan kan miktarı, hayvanın canlı ağırlığının belirli bir oranı olarak kabul edilmiştir. Bu oran kesilen büyükbaş hayvanlarda canlı ağırlığın %8,4'ü, kesilen küçükbaş hayvanlarda canlı ağırlığın %7'si olarak kabul edilmiştir (Abdeshahian ve ark., 2016; Khalil ve ark., 2019). Kesilen kanatlılarda bu oran canlı ağırlığın %3'ü olarak kabul edilmiştir (Afazeli ve ark., 2014). Burada kesim için getirilen hayvanların canlı ağırlıkları önem kazanmaktadır ve kesim için getirilen hayvanların belli

bir ağırlığa ve iriliğe ulaşmış olması gereklidir. Kesilen hayvanların canlı ağırlıklarının tespitinde kesilen hayvanlardan elde edilen et miktarı, kesilen hayvan sayısına bölünmüştür. Kesilen büyükbaş ve küçükbaş hayvanların canlı ağırlıklarının yaklaşık olarak %55'i karkas et olarak kabul edilmiştir (Akcan ve ark., 1989; Anonim, 2024a). Buna göre kesilen büyükbaş hayvan ağırlığı ortalama olarak 520 kg, koyun ağırlığı 41 kg ve keçi ağırlığı 34 kg olarak kabul edilmiştir. Kanatlılarda kesilen hayvanların canlı ağırlıklarının yaklaşık olarak %71,5'i karkas et olarak kabul edilmiştir (Anonim, 2024b). Buna göre ortalama tavuk ağırlığı 2,5 kg, hindi ağırlığı 13,4 kg olarak kabul edilmiştir. Kesilen hayvanların canlı ağırlıkları ile ilgili hesaplama Tablo 2'de verilmiştir. Kesilen hayvanların canlı ağırlıklarının ortalama değerlerden büyük ya da küçük olması, etin tazeliği ve tüketim alışkanlıklarına bağlanabilir. Özellikle büyükbaş ve keçilerde hayvan yaşlandıkça ağırlığı

artmasına rağmen eti sertleşir ve tercih edilme oranı düşer. Kümes hayvanlarında ise et veriminin yüksek olması istenir. Yapılan hesaplama göre 2022 yılında kesilen çiftlik hayvanlarından elde edilebilecek kan miktarı 421.871,452 tondur. Kesilen çiftlik hayvanlarından elde edilebilecek kan miktarları Tablo 3'te verilmiştir.

Kesilen büyükbaş, küçükbaş işkembe atıkları hesaplanırken büyükbaşlarda canlı ağırlığın %12'si, küçükbaşlarda %25'i kabul edilmiştir (Abdeshahian ve ark., 2016; Khalil ve ark., 2019). Kümes hayvanlarının iç organlarında işkembe diye bir sindirim organı bulunmadığından kümes hayvanlarından elde edilebilecek işkembe içeriği hesaplanmamıştır. Bu veriler ışığında 2022 yılında kesimhanelerde oluşan işkembe atığı miktarı kuru madde bazında 72.262,223 tondur. Kesilen çiftlik hayvanlarından elde edilebilecek işkembe atıkları miktarları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 2. Türkiye'nin 2022 yılında kesilen hayvanların sayısı, karkas et miktarı ve tahmini canlı hayvan ağırlıkları

	Büyükbaş	Koyun	Keçi	Tavuk	Hindi
Kesilen hayvan sayısı (adet)	5.542.774*	21.563.828*	6.112.179*	1.347.727.000**	5.593.000**
Karkas Et (ton)	1.586.333	489.354,4	115.937,8	2.417.995,11	53.645,73
Karkas oranı	55%	55%	55%	71,50%	71,50%
Kesilen hayvan başına hesaplanan ortalama canlı ağırlık (kg)	520,361	41,261	34,488	2,509	13,415
Hesaplamalarda kabul edilen canlı ağırlık (kg)	520	41	34	2,5	13,4

* TÜİK, 2023, **TÜİK, 2024d

Tablo 3. Türkiye'nin 2022 yılında kesimhanelerde oluşan kan miktarları

	Sığır	Koyun	Keçi	Tavuk	Hindi
Kesilen Hayvan Sayısı	5.542.774*	21.563.828*	6.112.179*	1.347.727.000**	5.593.000**
Canlı ağırlık (kg)	520	41	34	2,5	13,4
Kan Yüzdesi	8%	7%	7%	3%	3%
Kan miktarı (t)	242.108,4	61.888,2	14546,9	101.079,6	2.248,4
Toplam			421.871,5		

* TÜİK, 2023, **TÜİK, 2024d

Tablo 4. Türkiye'nin 2022 yılında kesimhanelerde oluşan işkembe atığı miktarları (TÜİK, 2023)

	Sığır	Koyun	Keçi
Kesilen Hayvan Sayısı	5.542.774	21.563.828	6.112.179
Canlı ağırlık (kg)	520	41	34
İşkembe içeriği (%)	12%	25%	25%
İşkembe içerikleri (ton)	345.869,1	221.029,2	51.953,5
Toplam		618.851,9	

2.3. Toplam Biyogaz Potansiyelini Hesaplanması

Çiftlik hayvanlarının atıklarından üretilen biyogaz miktarı, besleme rejimi, hayvan türü, vücut ağırlığı, toplam katı madde oranı ve atık bulunabilirliği gibi farklı faktörlerden etkilenir (Avcıoğlu ve Türker, 2012;

Abdeshahian ve ark., 2016). Atığın toplam katı madde oranı, çiftlik hayvanlarının atıklardan biyogaz üretimi için önemli bir faktördür. Farklı çiftlik hayvanı atıklarındaki toplam katı madde oranları ve üretililecek biyogaz miktarları Tablo 5'te

görülmektedir (Omranı, 1996; Deublein ve Steinhauser, 2011; Avcioglu ve Türker, 2012; Afazeli ve ark., 2014; Abdeshahian ve ark., 2016).

Teorik biyogaz potansiyeli hesaplanırken elde edilebilir atık miktarı, bu atığın kabul edilen kuru madde oranı ve birim kuru madde başına üreteceği kabul edilen biyogaz miktarı çarpılarak hesaplanır. Bu hesaplama için Eşitlik 1 kullanılmıştır:

$$TBP = M \times KM \times B_{KM} \quad (1)$$

Bu eşitlikte TBP, teorik olarak elde edilecek biyogaz miktarını (m³/yıl), M ele alınan atığın elde edilebilir miktarını (kg/yıl), KM kullanılan atığın kuru madde oranını (% km), B_{KM} ele alınan atığın kuru madde başında üretebileceği biyogaz miktarını (m³/ kg km) ifade etmektedir.

Bu çalışmada çiftlik hayvanlarının gübrelerinin kuru

madde içerikleri, kuru madde başına üretilebilecek biyogaz miktarları ile kan ve işkembe içeriklerinden üretilebilecek biyogaz miktarları baz alınırken benzer çalışmalardaki değerler kullanılmıştır (Afazeli ve ark., 2014; Abdeshahian ve ark., 2016; Khalil ve ark., 2019). Bu çalışmalarda kabul edilen ve makalelerde sunulan çiftlik hayvanlarının atıklarının biyogaz potansiyelleri ile ilgili bilgiler Tablo 5'te görülmektedir. Kuru madde oranı büyükbaş ve küçükbaş hayvanların taze gübreleri için %25, kümes hayvanları için %29 alınmıştır. Üretilebilecek biyogaz miktarları büyükbaş hayvanlar için 0,6 m³/kg km, küçükbaş hayvanlar için 0,4 m³/kg km ve kümes hayvanları için 0,8 m³/kg km değerleri alınmıştır. Kan ve işkembe içerikleri için üretilebilecek biyogaz miktarı ise her kg taze atık için 0,3 m³ olarak alınmıştır.

Tablo 5. Çiftlik hayvanları atıklarının biyogaz potansiyelleri

Atık çeşidi	Kuru madde (%)	Biyogaz (m ³ /kg kuru madde)
Büyükbaş taze gübresi	25-30	0,6-0,8
Küçükbaş taze gübresi	18-25	0,3-0,4
Kümes hayvanları taze gübresi	10-29	0,3-0,8
Kan	18	0,3-0,6*
İşkembe içeriği	12-16	0,3-0,6*

*Biyogaz (m³/kg madde)

2.4. Metan İçeriğinin ve Üretilebilecek Elektrik Miktarının Saptanması

Yapılan çalışma sonuçlarına göre anaerobik fermentasyon sonucu büyükbaş hayvanların gübresinden elde edilen biyogazın metan içeriği %50-70 arasında değişmektedir (Omar ve ark., 2008; Nasir ve ark., 2012; Ounnar ve ark., 2012; Nasir ve ark., 2013; Abdeshahian ve ark., 2016). Küçükbaş hayvanların gübresinden elde edilen biyogazın metan içeriği %40-50 arasında değişmektedir (Abdeshahian ve ark., 2016). Kümes hayvanların gübresinden elde edilen biyogazın metan içeriği %50-70 arasında değişmektedir (Nasir ve ark., 2012; Noorollahi ve ark., 2015; Abdeshahian ve ark., 2016). Bu çalışmada yapılan metan içeriği hesaplamalarında biyogaz içerikleri büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları için sırasıyla %60, %45 ve %60 olarak alınmıştır. Kan ve işkembe atıklarından elde edilen biyogazın metan içeriği de %60 olarak alınmıştır.

Elde edilecek ısı değerinin hesaplamasında elde edilebilecek biyogazın metan içeriği temel alınmıştır. Metanın yanması sonu elde edilebilecek ısı miktarı hesaplanmıştır. Metanın ısı dönüşüm verimi %85 olarak kabul edilerek, 1 m³ metanın ısı değeri 36 MJ olarak alınmıştır (Abdeshahian ve ark., 2016).

Üretilebilecek elektrik miktarı hesabında öncelikle elde edilen biyogazın enerji içeriği saptanmıştır. Bu içeriğin saptanmasında Eşitlik 2 kullanılmıştır.

$$E_{Biyogaz} = EI_{Biyogaz} \times M_{Biyogaz} \quad (2)$$

Bu eşitlikte E_{Biyogaz} biyogazın ham enerji içeriğini (kWh/yıl), EI_{Biyogaz} biyogazın ısı değerini (kWh/m³),

M_{Biyogaz} yıllık üretilen biyogaz miktarını (m³/yıl) temsil etmektedir. Eşitlikteki EI_{Biyogaz} değeri 6 kWh/m³ olarak kabul edilmiştir (Hosseini ve Wahid, 2014; Abdeshahian ve ark., 2016).

Biyogazın elektrik enerjisine çevrilmesi için biyogaz jeneratörlerinde yakılması gerekir. Biyogazdan elde edilebilecek elektrik enerjisinin hesaplanmasında Eşitlik 3 kullanılmıştır.

$$EE_{Biyogaz} = E_{Biyogaz} \times \eta \quad (3)$$

Bu eşitlikteki EE_{Biyogaz} biyogazdan elde edilebilecek elektrik enerjisini (kWh/yıl), E_{Biyogaz} biyogazın ham enerji içeriğini (kWh/yıl) ve η ise jeneratör verimini (%) ifade etmektedir. Biyogazın elektrik enerjisine çevrilmesinde kullanılan jeneratör tipine göre verim değeri %25-%42 arasında değişmektedir (Hosseini ve Wahid, 2014; Abdeshahian ve ark., 2016). Bu çalışmada biyogaz jeneratörü verim değeri %30 olarak kabul edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Taze Gübre Miktarlarının Saptanması

Gübre potansiyelinin hesaplanması için iki ayrı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan birincisi Özcan ve ark. (2011)'nin kullandığı hesaplama yöntemine göre toplam taze gübre potansiyeli bulunmuştur. Bu hesaplama yönteminde sadece hayvan varlığı büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları olarak sınıflandırılarak hesaplama yapılmıştır. Çiftlik hayvanlarının yıllık yaş gübre üretimi baz alınmış ardından kullanılabilirlik oranları eklenerek yıllık kullanılabilir taze gübre üretimi 126,8 Mton/yıl

olarak hesaplanmıştır. Hesaplamanın ayrıntıları Tablo 6'da görülmektedir. İkinci yöntemde ise Amerikan ziraat mühendisleri birliğinin ASAE D384.1 numaralı standardından faydalanılarak her çiftlik hayvanına göre ayrı ayrı hesaplanmıştır (ASAE, 2003). Bu standartta 1.000 kg canlı ağırlığın ürettiği gübre baz alınmıştır. Her hayvanın canlı ağırlıkları ayrı ayrı verilmiştir. Amerikan ziraat mühendisleri birliğinin standartlarına göre elde

edilebilecek taze gübre miktarı 186,724 Mton/yıl'dır. Bu yöntem ilk yöntem göre daha ayrıntılı bir yöntemdir. Hesaplamanın ayrıntıları Tablo 7'de görülmektedir. Bu çalışmada her iki yöntemle hesaplanan taze gübre miktarlarının ortalama değerleri temel alınacaktır. Ortalama olarak taze gübre üretim değerleri büyükbaş hayvanlar için, 140,551 Mton/yıl, küçükbaş hayvanlar için 4,865 Mton/yıl ve kümes hayvanları için 11,267 Mton/yıl alınmıştır.

Tablo 6. Yıllık elde edilebilir taze gübre potansiyeli (Özcan ve ark., 2011)

	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes
Hayvan sayısı*	17.023.791	56.265.750	361.096.026
Birim yaş gübre miktarı (t/yıl)	9,95	0,82	0,03
Toplam yaş gübre miktarı (Mt/yıl)	169,387	46,138	10,833
Toplam üretilen taze gübre miktarı (Mt/yıl)			226,358
Kullanılabilirlik (%)	65	13	99
Kullanılabilir toplam taze gübre miktarı (Mt/yıl)	110,101	5,998	10,725
Genel Toplam		126,824	

*2022 TÜİK verileri (TÜİK, 2024c), Mt= milyon ton

Tablo 7. Amerikan Ziraat Mühendisleri Birliği standartlarına göre gübre potansiyeli (ASAE, 2003)

Hayvan türü	Hayvan sayısı	Canlı ağırlık (kg)	1.000 kg canlı ağırlık için üretilen gübre (kg/gün)	Yıllık taze gübre üretim miktarı (Mt/yıl)	Ahırda kalma oranları (%)	Elde edilebilir gübre miktarı (Mt/yıl)
Sığır	17.023.791	640	86	342,001	50	171,001
Domuz	1.648	61	84	0,003	80	0,002
Koyun	44.687.888	27	40	17,616	13	2,290
Keçi	11.577.862	64	41	11,089	13	1,442
Hindi	3.669.726	6,8	47	0,428	68	0,291
At	74.359	450	51	0,623	29	0,181
Et tavuğu	251.289.799	0,9	85	7,017	99	6,946
Yumurta tavuğu	109.806.327	1,8	64	4,617	99	4,571
Genel Toplam	438.131.400			383,394		186,724

3.2. Biyogaz Potansiyeli ve Isıl Değeri

Türkiye'deki 2022 yılı verilerine göre 5.542.774 adet büyükbaş, 27.676.007 adet küçükbaş, 1.353.320.000 adet kümes hayvanı kesilmiştir. Bu kesimler sonucunda kesimhanelerde oluşan 421.871,452 ton kandan $126,6 \times 10^6$ m³ biyogaz üretilir. Oluşan biyogazın yakılmasıyla $2,32 \times 10^9$ MJ'lük bir ısı elde edilebilir. Büyükbaş ve küçükbaş hayvanların kesimi sonucunda kesimhanelerde oluşan 618.851,856 ton işkembe atıklarından elde edilebilecek biyogaz miktarı toplam olarak $185,7 \times 10^6$ m³tür. Oluşan biyogazın metan içeriğinin yakılmasıyla $3,41 \times 10^9$ MJ'lük bir ısı elde edilebilir. Ülkemizdeki çiftlik hayvanlarının ürettiği elde edilebilir yıllık taze gübreden elde edilebilecek biyogaz miktarı toplam olarak $24.182,9 \times 10^6$ m³tür. Oluşan biyogazın metan içeriğinin yakılmasıyla $4,42 \times 10^9$ MJ'lük bir ısı elde edilebilir. Tüm bu atıklardan elde edilebilecek toplam ısı miktarı $4,47 \times 10^{11}$ MJ'dür. Bu

hesaplamalarla ilgili ayrıntılar Tablo 8'de görülmektedir.

3.3. Üretililecek Elektrik Enerjisi

Türkiye'de 2022 yılında kesimhanelerde oluşan 421.871,452 ton kandan $126,6 \times 10^6$ m³ biyogaz üretilir ve bu biyogazın %30 verimle çalışan biyogaz jeneratörlerinde yakılmasıyla $2,28 \times 10^8$ kWh elektrik elde edilebilir. Büyükbaş ve küçükbaş hayvanların kesimi sonucunda kesimhanelerde oluşan 618.851,856 ton işkembe atıklarından elde edilebilecek biyogaz miktarı toplam olarak $185,7 \times 10^6$ m³tür ve bu biyogazın, biyogaz jeneratörlerinde yakılmasıyla $3,34 \times 10^8$ kWh elektrik elde edilebilir. Ülkemizdeki çiftlik hayvanlarının ürettiği elde edilebilir yıllık taze gübreden elde edilebilecek biyogaz miktarı toplam olarak $24.182,9 \times 10^6$ m³tür ve bu biyogazın, biyogaz jeneratörlerinde yakılmasıyla $4,35 \times 10^{10}$ kWh elektrik elde edilebilir. Tüm bu atıklardan elde edilebilecek toplam elektrik enerjisi

miktarı $4,41 \times 10^{10}$ kWh'tir. Bu hesaplamalarla ilgili ayrıntılar Tablo 9'da görülmektedir.

Yapılan diğer çalışmaların yapıldığı baktığımızda her ülkenin nüfusu ve beslenme alışkanlıkları farklılık göstermektedir. Buna bağlı olarak üretilen ve tüketilen et miktarı, yetiştirilen çiftlik hayvanı sayıları da birbirinden çok farklıdır. Elde edilen potansiyeller bu nedenle farklı farklı çıkmıştır. Hesaplamalarda temel alınan kabuller arasında bir birliklilik söz konusudur. Fakat diğer çalışmalar ile bu çalışma arasında bazı farklar görülmektedir. Afazeli ve ark. (2014) ile Abdeshahian ve ark. (2016) büyükbaş hayvan canlı ağırlığı 250 kg, küçükbaş canlı ağırlığını 40 kg ve kümes hayvanı ağırlığını 1,5 kg olarak standart alıp kan üretimi miktarlarını, işkembe atıkları üretimi miktarlarını ve taze gübre üretim miktarını hesaplamışlardır. Abdeshahian ve ark. (2016) ile Khalil ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada kan atıklarının hesabında kümes hayvanlarından elde edilebilecek miktarı ihmal edilebilir bir değer olarak kabul ederek hesaplamalarında kullanmamışlardır. Afazeli ve ark. (2014) ise kümes hayvanlarından elde edilebilecek kan atıkları miktarını hesaplayarak veri olarak kullanmıştır. Bu çalışmada da kümes hayvanlarının kan atıkları miktarı hesaplanarak hesaplamalara dahil edilmiştir. Kan atıklarının hesabında Afazeli ve ark. (2014), Abdeshahian ve ark. (2016) ile Khalil ve ark. (2019) büyükbaş canlı hayvan ağırlıklarını ortalama 250 kg kabul ederek hesaplama yapmışlardır. Bu çalışmada kesilen hayvan ağırlıkları hesabında ortalama canlı ağırlık alınmamıştır. Elde edilen karkas et miktarı kesilen hayvan sayısına bölünüp, karkas

oranından canlı ağırlığa ulaşılmıştır. Kan miktarları hesaplanırken tüm çalışmada aynı oranlar kullanılmıştır. Kümes hayvanlarının iç organlarında işkembe diye bir sindirim organı bulunmadığından tüm çalışmada kümes hayvanlarından elde edilebilecek işkembe içeriği hesaplanmamıştır. Taze gübre hesabında Khalil ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada kümes hayvanlarını yerli tavuk, yumurta tavuğu, et tavuğu, ördek, misk ördeği, tavşan, bildircin, güvercin olarak sınıflandırarak elde edilebilecek taze gübre miktarını daha ayrıntılı olarak hesaplamıştır. Taze gübre üretimi miktarı hesabında Afazeli ve ark. (2014) ile Abdeshahian ve ark. (2016) çalışmada büyükbaş hayvanlar için günlük 22,5 kg, küçükbaş hayvanlar için 1,6 kg, kümes hayvanları için 0,045 kg taze gübre temel alınarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada ise iki farklı taze gübre hesap yönteminin ortalaması alınmıştır. Noorollahi ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada her hayvan tipini ayrıntılandırmış ve ağırlığını farklı farklı olarak taze gübre hesabını yapmışlardır. Örneğin büyükbaş hayvanları süt sığıri, boğa, buzağı, dive, et sığıri, sığır, etlik buzağı gibi yedi farklı sınıfa bölerek her biri için ayrı ayrı ağırlıklar kabul etmiştir. Noorollahi ve ark. (2015) yaptığı bu çalışmada sadece gübre potansiyelini kullanarak hesaplama yapmışlardır. Bu tip bir ayrıntılaşma elbette daha doğru sonuçlar verecektir. Fakat Türkiye İstatistik Kurumu verilerinde bu tip bir ayrıntılaşma bulunmamaktadır. Sadece yerli sığır, kültür sığıri, melez sığır ve manda olarak sınıflama yapılmıştır. Bu çalışmada tüm büyükbaş hayvanlar tek tip olarak kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 8. Kan, işkembe atıkları ve taze gübreden elde edilebilecek yıllık biyogaz, metan ve ısı değerleri

	Kan			İşkembe atıkları		Taze Gübre		
	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes	Büyükbaş	Küçükbaş	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes
Biyogaz (Mm ³)	72,633	22,931	30,998	103,761	81,895	21.083,646	486,478	2.613,838
Metan (Mm ³)	43,580	13,758	18,599	62,256	49,137	12.649,587	218,915	1.568,303
Isıl değer (MJ/yıl)	$1,33 \times 10^9$	$4,21 \times 10^8$	$5,69 \times 10^8$	$1,91 \times 10^9$	$1,50 \times 10^9$	$3,87 \times 10^{11}$	$6,70 \times 10^9$	$4,80 \times 10^{10}$
Toplam		$2,32 \times 10^9$		$3,41 \times 10^9$			$4,42 \times 10^9$	
Genel Toplam				$4,47 \times 10^{11}$				

Tablo 9. Kan, işkembe atıkları ve taze gübreden elde edilebilecek elektrik miktarları (kWh/yıl)

	Kan			İşkembe atıkları		Taze Gübre		
	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes	Büyükbaş	Küçükbaş	Büyükbaş	Küçükbaş	Kümes
Biyogaz (Mm ³)	72,633	22,931	30,998	103,761	81,895	21.083,646	486,478	2.613,838
Elektrik (kWh)	$1,31 \times 10^{10}$	$4,13 \times 10^7$	$5,58 \times 10^7$	$1,87 \times 10^8$	$1,47 \times 10^8$	$3,79 \times 10^{10}$	$8,76 \times 10^8$	$4,70 \times 10^9$
Toplam		$2,28 \times 10^8$		$3,34 \times 10^8$			$4,35 \times 10^{10}$	
Genel Toplam				$4,41 \times 10^{10}$				

4. Sonuç

Yeryüzündeki insan nüfusu arttıkça, üretilecek gıda miktarı, tüketilecek enerji miktarı ve oluşacak atık miktarları doğru orantılı olarak artacaktır. Sürdürülebilir bir gelişme için doğal dengenin korunması, dünyamızın

yeraltı ve yerüstü kaynaklarının kirletilmemesi gerekmektedir. Kalkınmanın ve gelişmenin temel unsurlarından olan enerjinin elde edilirken doğal dengenin korunması ve iklim değişikliklerinin engellenebilmesi için gerekli tedbirlerin alınması

gerekmektedir. Bugüne kadar ihmal edilen küresel ısınma ve buna bağlı olarak iklim değişikliği artık tüm dünyamızı ve üzerinde yaşayan tüm canlı türlerini tehdit etmeye başlamıştır. Bu sebeple atıl olan tüm kaynakların ekonomiye kazandırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha yoğun bir şekilde kullanılması, fosil kökenli enerji kaynaklarının hem kullanımının azaltılması hem de daha verimli olarak kullanılabilmesi bir gerekliliktir. Biyogaz teknolojisi hem organik atık bertarafında hem çevreci temiz enerji eldesinde hem de organik gübre üretiminde tercih edilmesi gereken eşsiz bir seçenektir.

Türkiye’de 2022 yılında kesimhanelerde oluşan 421.871,452 ton kandan $126,6 \times 10^6$ m³, 618.851,9 ton işkembe atıklarından $185,7 \times 10^6$ m³, mevcut çiftlik hayvanlarından elde edilebilecek $156,7 \times 10^6$ ton kuru madde bazındaki gübreden $24.182,9 \times 10^6$ m³ biyogaz üretilebilir. Kesimhane atıkları ve çiftlik gübrelerinden oluşan bütün biyogazın %30 verimle çalışan biyogaz jeneratörlerinde yakılmasıyla $4,41 \times 10^{10}$ kWh elektrik elde edilebilir ve ekonomiye kazandırılabilir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	S.S.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100
PY	100
FA	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

Abdeshahian P, Lim JS, Ho WS, Hashim H, Lee CT. 2016. Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. *Renew Sustain Energy Rev*, 60: 714-723.

Afazeli H, Jafari A, Rafiee S, Nosrati M. 2014. An investigation of biogas production potential from livestock and slaughterhouse wastes. *Renew Sustain Energy Rev*, 34: 380-386.

Akcan A, Gürdoğan T, Çetin İ. 1989. Farklı ağırlıklarda kesilen Holştayn besi danalarında kesim ve karkas özellikleri. *Lalahan Hayvan Araş Enstit Derg*, 29(1): 21-36.

Anonim. 2024a. <https://avesis.iuc.edu.tr/resume/downloadfile/bekiz?key=518f9569-1ec9-4105-b5ac-019761acef95> (Erişim tarihi: 01 Mayıs 2024).

Anonim. 2024b. https://www.istib.org.tr/resim/siteici/files/K%C3%9CMES%20HAY_%20F%C4%B0RE%20VE%20RANDIMAN%20ORANLARI.pdf (Erişim tarihi: 01 Mayıs 2024).

ASAE. 2003. American society of agricultural engineers standards: D384. 1 FEB03 Manure Production and Characteristics. In: ASAE-The Society for engineering in agricultural, food, and biological systems 2950 Niles Rd., St. Joseph MI 49085-9659, US, pp: 145.

Avcıoğlu AO, Türker U. 2012. Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. *Renew Sustain Energy Rev*, 16(3): 1557-1561.

Chasnyk O, Sołowski G, Shkarupa O. 2015. Historical, technical and economic aspects of biogas development: Case of Poland and Ukraine. *Renew Sustain Energy Rev*, 52: 227-239.

Christy PM, Gopinath L, Divya D. 2014. A review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production through enzymes and microorganisms. *Renew Sustain Energy Rev*, 34: 167-173.

Cremaio R, Mastellone ML, Tagliaferri C, Zaccariello L, Lettieri P. 2018. Environmental impact of municipal solid waste management using Life Cycle Assessment: The effect of anaerobic digestion, materials recovery and secondary fuels production. *Renew Ener*, 124: 180-188.

Çelik İ, Demirer GN. 2015. Biogas production from pistachio (*Pistacia vera* L.) processing waste. *Biocatalysis Agri Biotech*, 4(4): 767-772.

Deublein D, Steinhauser A. 2011. Biogas from waste and renewable resources: an introduction. John Wiley & Sons. 2nd, Revised and Expanded edition, London, UK, pp: 578.

Gebrezgabher SA, Meuwissen MP, Prins BA, Lansink AGO. 2010. Economic analysis of anaerobic digestion—A case of Green power biogas plant in The Netherlands. *J Life Sci*, 57(2): 109-115.

Hosseini SE, Wahid MA, Aghili N. 2013. The scenario of greenhouse gases reduction in Malaysia. *Renew Sustain Energy Rev*, 28: 400-409.

Hosseini SE, Wahid MA. 2014. Development of biogas combustion in combined heat and power generation. *Renew Sustain Energy Rev*, 40: 868-875.

Huang R, Mei Z, Long Y, Xiong X, Wang J, Guo T, Luo T, Long E. 2015. Impact of optimized flow pattern on pollutant removal and biogas production rate using wastewater anaerobic fermentation. *BioResources*, 10(3): 4826-4842.

Khalil M, Berawi MA, Heryanto R, Rizalie A. 2019. Waste to energy technology: The potential of sustainable biogas production from animal waste in Indonesia. *Renew Sustain Energy Rev*, 105: 323-331.

Li, J, Wei L, Duan Q, Hu G, Zhang G. 2014. Semi-continuous anaerobic co-digestion of dairy manure with three crop residues for biogas production. *Bioresour Technol*, 156: 307-313.

Mata-Alvarez J, Macé S, Llabres P. 2000. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements

- and perspectives. *Bioresource Technol*, 74(1): 3-16.
- Nasir IM, Ghazi TIM, Omar R. 2012. Anaerobic digestion technology in livestock manure treatment for biogas production: a review. *Engin Life Sci*, 12(3): 258-269.
- Nasir IM, Ghazi TIM, Omar R, Idris A. 2013. Anaerobic digestion of cattle manure: Influence of inoculums concentration. *Int J Eng Technol*, 10: 22-26.
- Nitsos C, Matsakas L, Triantafyllidis K, Rova U, Christakopoulos P. 2015. Evaluation of Mediterranean agricultural residues as a potential feedstock for the production of biogas via anaerobic fermentation. *BioMed Res Inter*, 2015: 1-6.
- Noorollahi Y, Kheirrouz M, Asl HF, Yousefi H, Hajinezhad A. 2015. Biogas production potential from livestock manure in Iran. *Renew Sustain Energy Rev*, 50: 748-754.
- Omar R, Harun RM, Ghazi TIM, Wan Azlina WAKG, Idris A, Yunus R. 2008. Anaerobic treatment of cattle manure for biogas production. In *Proceedings Philadelphia, annual meeting of American institute of chemical engineers*, Nov. 16-21, Philadelphia, USA, pp: 1-10.
- Omran GH. 1996. Basics biogas production from urban and rural waste. University of Tehran Publication, Tehran, Iran, pp: 143.
- Ounnar A, Benhabyles L, Igoud S. 2012. Energetic valorization of biomethane produced from cow-dung. *Procedia Engin*, 33: 330-334.
- Özcan M, Öztürk S, Yıldırım M. 2011. Türkiye'nin farklı kaynak tiplerine göre biyogaz potansiyellerinin belirlenmesi. IV Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, May 12-13, Kocaeli, Türkiye, ss: 243-247.
- Rahimnejad M, Adhami A, Darvari S, Zirepour A, Oh SE. 2015. Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review. *Alexandria Engin J*, 54(3): 745-756.
- Shen Y, Linville JL, Urgun-Demirtas M, Mintz MM, Snyder SW. 2015. An overview of biogas production and utilization at full-scale wastewater treatment plants (WWTPs) in the United States: challenges and opportunities towards energy-neutral WWTPs. *Renew Sustain Energy Rev*, 50: 346-362.
- Sun Q, Li H, Yan J, Liu L, Yu Z, Yu X. 2015. Selection of appropriate biogas upgrading technology-a review of biogas cleaning, upgrading and utilisation. *Renew Sustain Energy Rev*, 51: 521-532.
- TÜİK. 2008. Tarımsal işletme yapı istatistikleri. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadIstatistikselTablo?p=OlqjtHcAiEmiY7omrp4YGoBdIqa7T2rAPsv118vwpmm4/2mVRlTg8cmNVE4Ai3XL> (Erişim tarihi: 01 Mart 2024).
- TÜİK. 2023. Hayvancılık istatistikleri. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadIstatistikselTablo?p=V1mSk31FCP00W/3BFM8hxeRl/03kDePybsSkmWgPXbFFT wZeJ/RgajWYjzlkR2Yp> (Erişim tarihi: 01 Mart 2024).
- TÜİK. 2024a. Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları 2023. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2023-49684>. (Erişim tarihi: 01 Mart 2024).
- TÜİK. 2024b. Tarım İstatistikleri. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadIstatistikselTablo?p=CVXzOLEo2fd/A5OeYXrKROAKCq9r/Rf7YQsRKqj3CRarD4rz A/RvgsX/JMWIBrcv> (Erişim tarihi: 01 Mart 2024).
- TÜİK. 2024c. Hayvancılık İstatistikleri. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Tarim-111> (Erişim tarihi: 01 Mart 2024).
- TÜİK. 2024d. Hayvancılık İstatistikleri. URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadIstatistikselTablo?p=2ceRS4u4nW0GZknQMerJ34zZwjB2sljUoOWlurUemNTunPvdm9GsRe6xxwFXrP3l> (Erişim tarihi: 01 Mart 2024).
- Williams JB, Shobrak M, Wilms TM, Arif IA, Khan HA. 2012. Climate change and animals in Saudi Arabia. *Saudi J Biol Sci*, 19(2): 121-130.
- Yong Z, Dong Y, Zhang X, Tan T. 2015. Anaerobic co-digestion of food waste and straw for biogas production. *Renew Energy*, 78: 527-530.



FARKLI ÇÖZÜCÜLERLE HAZIRLANAN *Elettaria cardamomum* (L.) MATON EKSTRAKTLARININ ANTİBAKTERİYEL AKTİVİTELERİNİN İNCELENMESİ

Hatice TANER SARAÇOĞLU^{1*}

¹Selçuk University, Faculty of Science, Department of Biology, 42031, Konya, Türkiye

Özet: Bu çalışmanın amacı *Elettaria cardamomum*'un tohumlarından hazırlanan ekstraktların çeşitli bakterilere karşı olan antibakteriyel aktivitelerinin belirlenmesidir. Bu çalışmada, *Elettaria cardamomum* bitkisinin tohumlarından farklı çözücüler (etanol, aseton, etil asetat, kloroform, soğuk su, sıcak su) kullanılarak ekstraktları hazırlanmıştır. Ekstraktların beş patojen bakteri suşuna (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 29853) karşı olan antibakteriyel aktiviteleri disk difüzyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma sonuçları etanol, aseton, etil asetat ve kloroform ekstraktlarının *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Bacillus subtilis* ATCC 6633 ve *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 bakterilerine karşı farklı derecelerde antibakteriyel aktiviteye sahip olduğunu göstermiştir. Çalışmadaki tüm ekstraktlar *Escherichia coli* ATCC 25922 ve *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 29853 bakterilerine karşı antibakteriyel aktivite göstermemiştir. En yüksek antibakteriyel aktiviteyi etil asetat ekstraktı *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 bakterisine karşı göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Antibakteriyel aktivite, Farklı çözücüler, Ekstrakt, *Elettaria cardamomum*


Investigation of Antibacterial Activities of *Elettaria Cardamomum* (L.) Maton Extracts Prepared with Different Solvents

Abstract: The aim of this study is to determine the antibacterial activities of extracts prepared from the seeds of *Elettaria cardamomum* against various bacteria. In this study, extracts were prepared from the seeds of the *Elettaria cardamomum* plant using different solvents (ethanol, acetone, ethyl acetate, chloroform, cold water, hot water). The antibacterial activities of the extracts against five pathogenic bacterial strains (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 29853) were determined using the disc diffusion method. Study results showed that ethanol, acetone, ethyl acetate and chloroform extracts had different degrees of antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Bacillus subtilis* ATCC 6633 and *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 bacteria. All extracts in the study did not show antibacterial activity against *Escherichia coli* ATCC 25922 and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 29853 bacteria. Ethyl acetate extract showed the highest antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 bacteria.

Keywords: Antibacterial activity, Different solvents, Extract *Elettaria cardamomum*

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Selçuk University, Faculty of Science, Department of Biology, 42031, Konya, Türkiye

E mail: htaner@selcuk.edu.tr (H. TANER SARAÇOĞLU)

Hatice TANER SARAÇOĞLU  <https://orcid.org/0000-0001-9502-3739>

Gönderi: 25 Nisan 2024

Kabul: 27 Mayıs 2024

Yayınlanma: 15 Temmuz 2024

Received: April 25, 2024

Accepted: May 27, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Taner Saraçoğlu H. 2024. Investigation of antibacterial activities of *Elettaria cardamomum* (L.) Maton extracts prepared with different solvents. BSJ Eng Sci, 7(4): 635-640.

1. Giriş

Elettaria cardamomum (L.) Maton Zingiberaceae familyasına ait çok yıllık bir bitkidir ve bitkinin yaygın şekilde kullanılan kısımları tohumlarıdır (Kapoor, 2000). Tarihsel olarak "Baharatların Kraliçesi" olarak bilinen kakule, antik çağlardan beri Hindistan'da ve baharat olarak Hint mutfağında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bitkinin yenilebilir kısmı meyvesidir (Sengottuvelu, 2011). Kakulenin tohumları ve uçucu yağı, içecekler, tatlılar, şekerlemeler, unlu mamuller, çeşniler, soslar, et ve et ürünleri dahil olmak üzere çeşitli gıdalarda tatlandırıcı bileşenler olarak kullanılır. (Ravindran, 2002; Sengottuvelu, 2011).

Eski zamanlardan beri bitkiler ve baharatlar farklı gıda

türlerinin lezzetini, aromasını ve rengini arttırmak için gıdalarda kullanılmaktadır (Madsen ve Bertelsen, 1995; Singh ve ark., 2008). Bitkilerin ve baharatların ham ekstraktları ve fenolikler açısından zengin diğer bitkisel materyalleri, lipidlerin oksidatif bozunmasını geciktirdikleri, dolayısıyla gıdanın kalitesini ve besin değerini arttırdıkları için gıda endüstrisinde giderek artan bir ilgi görmektedir (Wojdyło ve ark., 2007). Kullanılan baharat ve şifalı bitkilerin çoğu, tat ve koku özelliklerinin yanı sıra antimikrobiyal etkileri ve tıbbi güçleri nedeniyle de değer görmüştür. Baharat ve bitkilerdeki antimikrobiyal bileşikler çoğunlukla uçucu yağ fraksiyonunda bulunur. Gram pozitif bakteriler, baharatlardaki antimikrobiyal bileşiklere Gram negatif



bakterilerden daha duyarlıdır (Ceylan ve Fung, 2004). Kakule kapsülleri MÖ 4. Yüzyıldan beri Hintli, eski Yunan ve Romalı doktorlar tarafından bronşit, astım ve çeşitli sağlık problemlerinin tedavisinde kullanılmaktadır (Al-Zuhair ve ark., 1996; Bisht ve ark., 2011). Kakule, geleneksel Çin ve Hindistan tıbbında bağırsak gazlarının giderilmesinde ve sindirime yardımcı olmak için kullanılır (Ravindran, 2002). Kakule kapsüllerindeki uçucu yağ ve diğer biyoaktif metabolitler karakteristik aromasına ve farmasötik kullanımına katkı sağlamaktadır (Hamzaa ve Osman, 2012). Yapılan bu çalışmada, kakule tohumlarından beş farklı çözücü ile ekstraktlar hazırlanarak, ekstraktların beş farklı bakteri üzerine olan inhibitör etkisinin belirlenmesi ve kakulenin antibakteriyel özelliklerine katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyaller

2.1.1. Bitki materyali

Çalışmada kullanılan *Elettaria cardamomum* bitkisinin tohumları Irak'taki bir yerel marketten temin edilmiştir (Şekil 1). Kuru haldeki bitki tohumları laboratuvar tipi bir öğütücüde parçalanarak toz hale getirilmiştir. Toz hale getirilen numune çalışmada kullanılıncaya kadar kapalı bir kapta muhafaza edilmiştir.



Şekil 1. *Elettaria cardamomum* tohumları

2.1.2. Bakteriyel suşlar

Antibakteriyel aktivite çalışmalarında beş patojen bakterinin standart suşları (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 29853) kullanılmıştır. Standart bakteri suşları Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Biyoteknoloji Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Ekstraktların hazırlanması

Ekstraktların hazırlanmasında beş farklı çözücü (etanol, aseton, etil asetat, kloroform, su) kullanılmıştır. Ekstraktların hazırlanmasında bazı modifikasyonlar

yapılarak Yassin ve ark. (2020)'nin önerdiği yöntem kullanılmıştır. Toz hale getirilen kakule tohumları 20 g olacak şekilde tartılmıştır. 20 g materyal, oda ısısında, manyetik karıştırıcıda 200 ml etanol ile ve 8 saat süre ile ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Süre sonunda karışım filtre kağıdından süzölmüştür. Ekstraksiyon işlemi aynı prosedür ile aseton, etil asetat, kloroform ve soğuk su ile gerçekleştirilmiştir. Sıcak su ile yapılan ekstraksiyonda manyetik karıştırıcının ısıtıcı kısmı çalıştırılarak suyun ısısının korunması sağlanmıştır. Elde edilen ekstraktların 40°C'nin altındaki bir sıcaklık derecesinde ve düşük basınç altında Rotary evaporatörde çözücülerinin tamamen uçurulması sağlanmış ve ekstraktlar toz hale getirilmiştir. Toz haldeki ekstraktlar dört farklı konsantrasyonda (30 mg ml⁻¹, 15 mg ml⁻¹, 6 mg ml⁻¹, 3 mg ml⁻¹), %25'lik Dimetil sülfoksit (DMSO) ile çözdürülerek, antibakteriyel aktivite öncesinde 0.45 µm çapındaki milipor filtrelerden geçirilerek steril olmaları sağlanmıştır. Ekstraktlar antibakteriyel aktivite çalışmalarında kullanılıncaya kadar 4°C'de muhafaza edilmiştir.

2.2.2. Mikroorganizma kültürlerinin hazırlanması

Stok bakteri kültürlerini aktive etmek için bakteri kültürleri Mueller Hinton Broth besiyerine aktararak 37°C'de 24 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır. Bakteriler steril fizyolojik su ile Mc Farland 0.5 yoğunluğunda ayarlanmıştır. Her bir bakteri Mueller Hinton Agar besiyeri içeren petri plaklarına yayma metoduyla ekilmiştir. Petri plakları 5-15 dk süreyle oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır.

2.2.3. Antibakteriyel aktivitenin belirlenmesi

Hazırlanan ekstraktların antibakteriyel aktivitelerinin belirlenmesinde Disk difüzyon metodu kullanılmıştır (Collins ve ark., 1989; Bradshaw, 1992). Farklı konsantrasyonlardaki ekstraktlar ve ekstraktların çözdürülmesinde kullanılan % 25'lik DMSO 6 mm çapındaki steril boş disklerle 10 µl emdirilmiş ve diskler steril pens kullanılarak besiyeri üzerine yerleştirilmiştir. Kontrol antibiyotiği olarak Kloramfenikol (10 µg) antibiyotik diskleri kullanılmıştır. Petri plakları 37°C'de 24 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda disklerin etrafında oluşan inhibisyon zonlarının çapı (mm) ölçülerek ekstraktların antibakteriyel aktiviteleri belirlenmiştir. Antibakteriyel aktivite çalışmaları üç ayrı tekrarlı yapılmış olup sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

E. cardamomum'un tohumlarından farklı çözücülerle hazırlanan ekstraktların disk difüzyon metodu kullanılarak belirlenen antibakteriyel aktivite sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Antibakteriyel aktivite çalışması sonrasında gözlemlenen inhibisyon zonları ekstraksiyon işlemine kullanılan çözücü çeşidi ve test edilen bakterilere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Etanol, aseton, etil asetat ve kloroform ekstraktları tüm konsantrasyonlarda *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* ve *Klebsiella pneumoniae* bakterilerine karşı

antibakteriyel aktivite göstermiştir. Çalışmadaki su ekstraktlarının (sıcak su, soğuk su) hazırlanan tüm konsantrasyonları ile çalışmada kullanılan çözücülerin test edilen tüm bakteri suşlarına karşı antibakteriyel etkiye sahip olmadığı gözlenmiştir. Bundan dolayı sıcak su ve soğuk su ekstraktları ile çözücü olarak kullanılan DMSO, etanol, aseton, etil asetat ve kloroform Tablo 1'e dahil edilmemiştir.

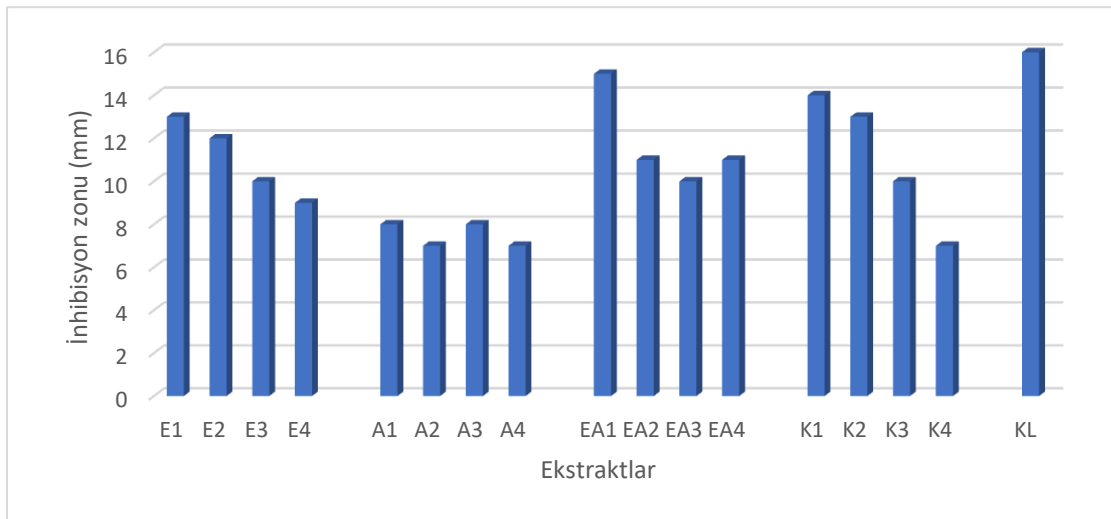
Çalışmada kullanılan etanol, aseton, etil asetat ve kloroform ekstraktları hazırlanan tüm konsantrasyonlarında *E. coli* ve *P. aeruginosa* suşlarına karşı antibakteriyel etki göstermemiştir. Gıda zehirlenmelerinde önemli bir patojen olan *S. aureus* ATCC 29213'un kakulenin tüm ekstraktlarına karşı en duyarlı suş olduğu belirlenmiştir.

Etanol ekstraktı en yüksek antibakteriyel etkiyi *S. aureus* bakterisine karşı göstermiştir (13 mm, 12 mm, 10 mm, 9 mm). Aseton ekstraktının tüm konsantrasyonları *S. aureus* ve *B. subtilis* bakterilerine karşı birbirlerine yakın antibakteriyel etki göstermişlerdir. Etil asetat ve kloroform ekstraktları en yüksek antibakteriyel etkiyi *S. aureus* bakterisine karşı göstermişlerdir. *S. aureus*, *B. subtilis* ve *K. pneumoniae* bakterilerine karşı etkili olan tüm ekstraktların içinde en yüksek antibakteriyel etkiyi etil asetat ekstraktının 30 mg ml⁻¹'lik konsantrasyonu göstermiştir. *K. pneumoniae* bakterisine etkili olan etanol, aseton, etil asetat ve kloroform ekstraktları aynı zon çapına sahip antibakteriyel etki göstermişlerdir (Şekil 2, 3 ve 4). Antibakteriyel aktivitenin gözlemlendiği petri plakları Şekil 5, 6 ve 7'de verilmiştir.

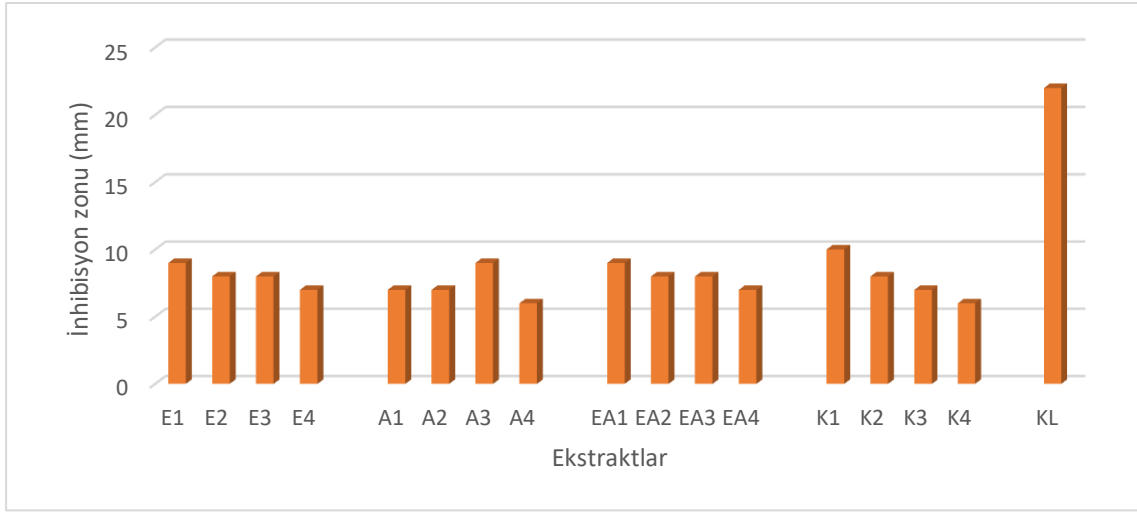
Tablo 1. Kakule ekstraktlarının antibakteriyel aktivite sonuçları

Ekstraktlar	Bakteriler				
	EC	SA	BS	KP	PA
Etanol (30 mg ml ⁻¹)	-	13	9	6	-
Etanol (15 mg ml ⁻¹)	-	12	8	6	-
Etanol (6 mg ml ⁻¹)	-	10	8	6	-
Etanol (3 mg ml ⁻¹)	-	9	7	6	-
Aseton (30 mg ml ⁻¹)	-	8	7	6	-
Aseton (15 mg ml ⁻¹)	-	7	7	6	-
Aseton (6 mg ml ⁻¹)	-	8	9	6	-
Aseton (3 mg ml ⁻¹)	-	7	6	6	-
Etil asetat (30 mg ml ⁻¹)	-	15	9	6	-
Etil asetat (15 mg ml ⁻¹)	-	11	8	6	-
Etil asetat (6 mg ml ⁻¹)	-	10	8	6	-
Etil asetat (3 mg ml ⁻¹)	-	11	7	6	-
Kloroform (30 mg ml ⁻¹)	-	14	10	6	-
Kloroform (15 mg ml ⁻¹)	-	13	8	6	-
Kloroform (6 mg ml ⁻¹)	-	10	7	6	-
Kloroform (3 mg ml ⁻¹)	-	7	6	6	-
Kloramfenikol (10 µg)	17	16	22	24	18

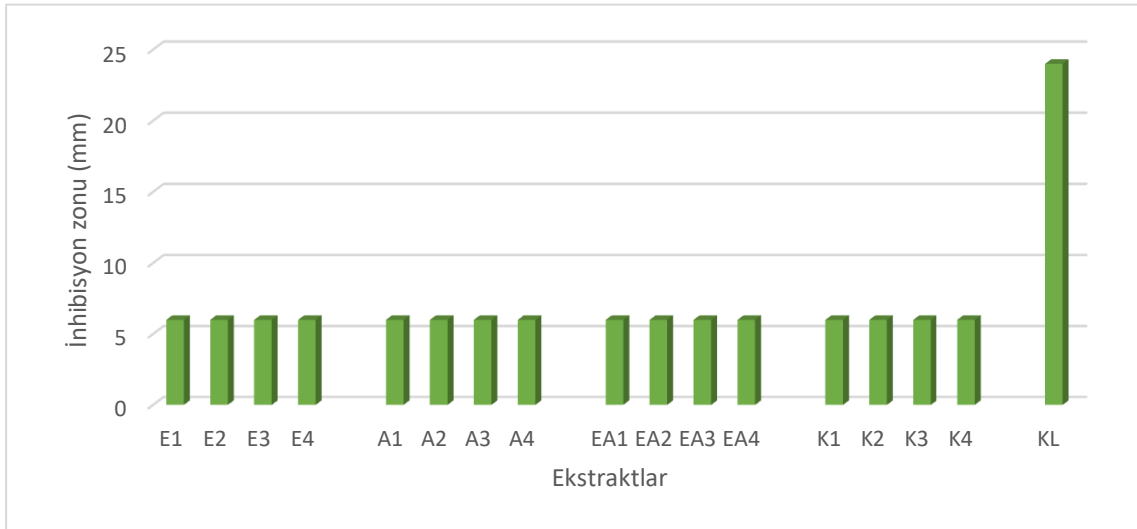
EC= *Escherichia coli* ATCC 25922, SA= *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, BS= *Bacillus subtilis* ATCC 6633, KP= *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603, PA= *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 29853, Rakamlar: 6 mm'lik disk çapı dahil inhibisyon zon çapları mm olarak ifade edilmiştir ve üç tekrarin ortalamasıdır.



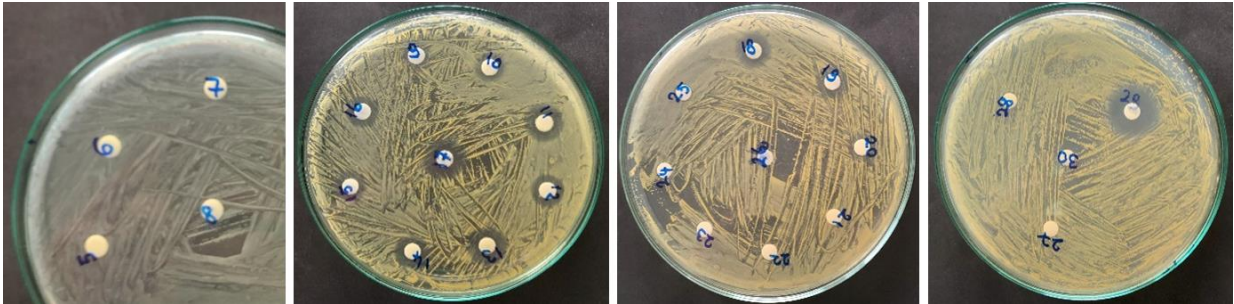
Şekil 2. Bitki ekstraktlarının *S. aureus* ATCC 29213'e karşı antibakteriyel aktiviteleri (E1= Etanol (30 mg ml⁻¹), E2= Etanol (15 mg ml⁻¹), E3= Etanol (6 mg ml⁻¹), E4= Etanol (3 mg ml⁻¹), A1= Aseton (30 mg ml⁻¹), A2= Aseton (15 mg ml⁻¹), A3= Aseton (6 mg ml⁻¹), A4= Aseton (3 mg ml⁻¹), EA1= Etil asetat (30 mg ml⁻¹), EA2= Etil asetat (15 mg ml⁻¹), EA3= Etil asetat (6 mg ml⁻¹), EA4= Etil asetat (3 mg ml⁻¹), K1= Kloroform (30 mg ml⁻¹), K2= Kloroform (15 mg ml⁻¹), K3= Kloroform (6 mg ml⁻¹), K4= Kloroform (3 mg ml⁻¹), KL= Kloramfenikol).



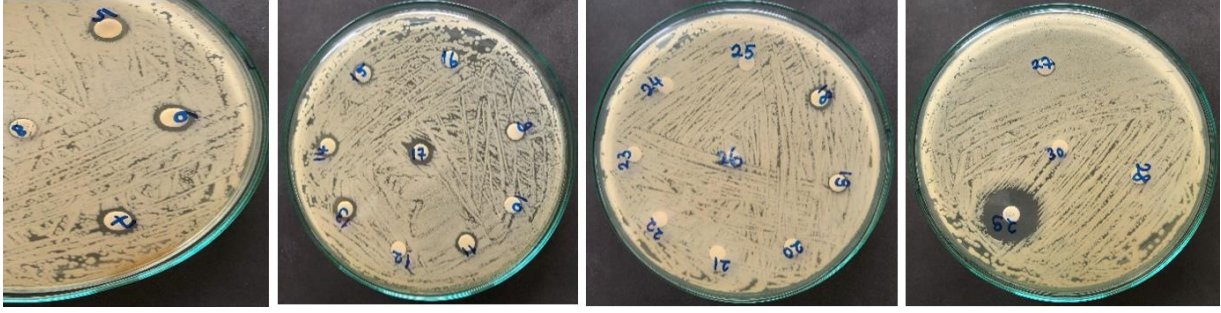
Şekil 3. Bitki ekstraktlarının *B. subtilis* ATCC 6633'e karşı antibakteriyel aktiviteleri (E1= Etanol (30 mg ml⁻¹), E2= Etanol (15 mg ml⁻¹), E3= Etanol (6 mg ml⁻¹), E4= Etanol (3 mg ml⁻¹), A1= Aseton (30 mg ml⁻¹), A2= Aseton (15 mg ml⁻¹), A3= Aseton (6 mg ml⁻¹), A4= Aseton (3 mg ml⁻¹), EA1= Etil asetat (30 mg ml⁻¹), EA2= Etil asetat (15 mg ml⁻¹), EA3= Etil asetat (6 mg ml⁻¹), EA4= Etil asetat (3 mg ml⁻¹), K1= Kloroform (30 mg ml⁻¹), K2= Kloroform (15 mg ml⁻¹), K3= Kloroform (6 mg ml⁻¹), K4= Kloroform (3 mg ml⁻¹), KL= Kloramfenikol).



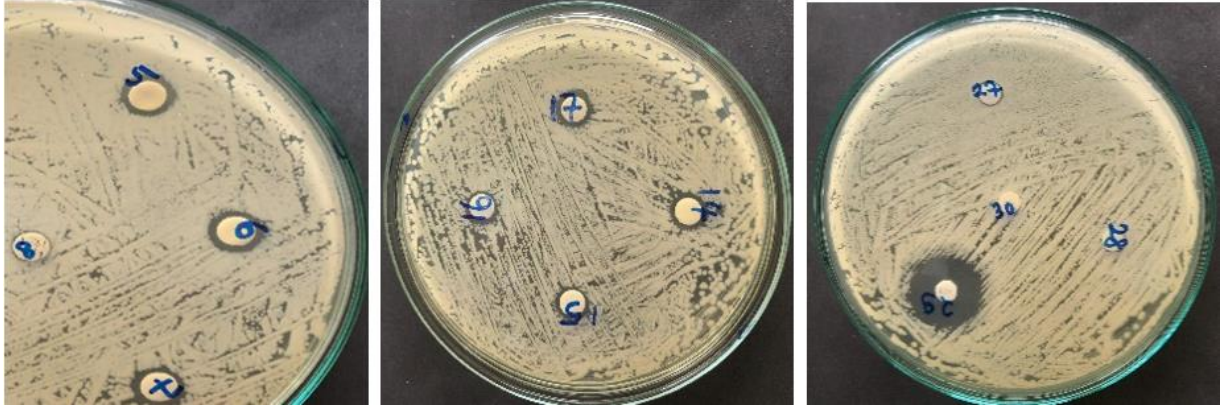
Şekil 4. Bitki ekstraktlarının *K. pneumoniae* ATCC 700603'e karşı antibakteriyel aktiviteleri (E1= Etanol (30 mg ml⁻¹), E2= Etanol (15 mg ml⁻¹), E3= Etanol (6 mg ml⁻¹), E4= Etanol (3 mg ml⁻¹), A1= Aseton (30 mg ml⁻¹), A2= Aseton (15 mg ml⁻¹), A3= Aseton (6 mg ml⁻¹), A4= Aseton (3 mg ml⁻¹), EA1= Etil asetat (30 mg ml⁻¹), EA2= Etil asetat (15 mg ml⁻¹), EA3= Etil asetat (6 mg ml⁻¹), EA4= Etil asetat (3 mg ml⁻¹), K1= Kloroform (30 mg ml⁻¹), K2= Kloroform (15 mg ml⁻¹), K3= Kloroform (6 mg ml⁻¹), K4= Kloroform (3 mg ml⁻¹), KL= Kloramfenikol).



Şekil 5. *S. aureus* ATCC 29212'e karşı gözlemlenen inhibisyon zonları.



Şekil 6. *B. subtilis* ATCC 6633' e karşı gözlemlenen inhibisyon zonları.



Şekil 7. *K. pneumoniae* ATCC 700603'e karşı gözlemlenen inhibisyon zonları.

Çalışmamızda, kakulenin sulu ekstraktlarının test bakterilerine karşı inhibitör etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda ise kakulenin sulu ekstraktının bakteriler için inhibitör olduğu bildirilmiştir (Arora ve Kaur, 2007; Kaushik ve ark., 2010). Kakulenin sulu ekstraktının antibakteriyel aktivitesiyle ilgili başka bir çalışmada ise bizim çalışmamızla uyumlu şekilde kakulenin sulu ekstraktının antibakteriyel etkisinin bulunmadığı bildirilmiştir (Ahmad ve ark., 1998). Çalışmalardaki farklılıklar kullanılan ekstraksiyon yöntemleri ve bakteri suşlarının farklılığından kaynaklanabilir.

Ağaoğlu ve ark. (2005), kakule tohumlarının dietil eter ekstraktının çeşitli mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etkisini disk difüzyon yöntemi ile belirledikleri çalışmada, dietil eter ekstraktının *P. aeruginosa*'ya karşı antibakteriyel etkisinin bulunmadığını, kakuleye karşı en duyarlı bakterinin ise *S. aureus* olduğunu bildirmişlerdir. En zayıf inhibitör etkiyi ise *E. coli*'de gözlemişlerdir. Buldukları sonuçlar çalışmamızla uyumluluk göstermektedir. Bizim çalışmamızda da *P. aeruginosa*'ya karşı antibakteriyel etki gözlenmezken, kakule ekstraktlarına karşı en duyarlı bakterinin *S. aureus* olduğu, *E. coli* bakterisine ise inhibitör etkinin bulunmadığı belirlenmiştir.

El Malti ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada kakule tohumlarından etanol ile oda sıcaklığında 5 gün boyunca maserasyon yöntemiyle ekstrakt hazırlamışlar ve agar dilüsyon metoduyla izole bakterilere karşı antibakteriyel aktivitelerini belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, ekstraktın *S. aureus*, *P. aeruginosa* ATCC 27853, *K.*

pneumoniae bakterilerine karşı ise iyi seviyede ancak *E. coli* bakterisine düşük seviyede etki gösterdiğini bildirmişlerdir. Kakulenin etanol ekstraktının test ettikleri tüm bakterilere karşı çok etkili olduğunu bulmuşlardır. Yapılan bu çalışma ile bizim yaptığımız çalışma sonuçlarımız arasında benzerlik bulunduğu gibi farklılıklar da bulunmaktadır. Gözlenen farklılıklar hem ekstraksiyon yönteminin ve antibakteriyel aktivitenin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin farklı olmasından, hem de çalışmada kullanılan bakteri suşlarının farklı olmasından kaynaklanabilir.

Yassin ve ark. (2022), Suudi Arabistan'dan temin ettikleri kakule tohumlarını su, etanol, etil asetat ve n-hekzan çözücülerini ile manyetik karıştırıcıda bir gece boyunca ekstraksiyon işlemine tabi tutmuşlardır. Antibakteriyel etkiyi belirlemede disk difüzyon yöntemini kullandıkları çalışmada, test mikroorganizmalarına karşı en etkili olan ekstraktın etanol ekstraktı olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızda da etanol ekstraktı etkili olan ekstraktlardan birisi olarak belirlenmiştir.

4. Sonuç

Baharatların yüzyıllardır mutfak ve tıbbi amaçlarla kullanıldığı, yiyecek ve içeceklerin tadını ve rengini iyileştirmenin yanı sıra, hem akut hem de kronik hastalıklara karşı koruma sağladığı bildirilmektedir (Jiang, 2019). Yapılan literatür araştırmalarında kakule ekstraktlarının çalışmada test edilen bakteri suşlarına karşı antibakteriyel aktiviteleri ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Kakule ekstraktlarının yapılan çalışmada ki bakteri suşlarına karşı antibakteriyel

etkisinin ilk kez ortaya konması önemlidir. Yaygın şekilde kullanımı bulunan kakulenin daha fazla bakteri suşu ile ilgili antibakteriyel etkinliğinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Sonuçlarımız kakulenin geleneksel tıbbi kullanımını desteklemektedir. Antibakteriyel etkisi bulunan bitki ekstraktlarının kimyasal yapısının daha fazla aydınlatılması, bu bitkilerin bakteri kaynaklı infeksiyonların tedavisinde kullanılan antibiyotiklere alternatif olmalarının da önünü açacaktır.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	H.T.S.
K	100
T	100
Y	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
GR	100
PY	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi.

Çatışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Ağaoğlu S, Dostbil N, Alemdar S. 2005. Antimicrobial effect of seed extract of Cardamom (*Elettaria cardamomum* Maton). YYÜ Vet Fak Derg, 16(2): 99-101.
- Ahmad I, Mahmood Z, Mohammad F. 1998. Screening of some Indian medicinal plants for their antimicrobial properties. J Ethnopharmacol, 62: 183-193.
- Al-Zuhair H, El-Sayeh B, Ameen HA, Al-Shoora H. 1996.

- Pharmacological studies of cardamom oil in animals. Pharmacol Res, 34(1-2): 79-82.
- Arora DS, Kaur GJ. 2007. Antibacterial activity of some Indian medicinal plants. J Nat Med, 61: 313-317.
- Bisht VK, Negi JS, Bhandari AK, Sundriyal RC. 2011. Amomum subulatum Roxb: Traditional, phytochemical and biological activities-An overview. Afr J Agric Res, 6(24): 5386-5390.
- Bradshaw LJ. 1992. Laboratory of Microbiology. Saunders College Publishing, USA. 4th ed., pp: 435.
- Ceylan E, Fung DY. 2004. Antimicrobial activity of spices. J Rapid Meth Aut Mic, 12(1): 1-55.
- Collins CM, Lyne PM, Grange JM. 1989. Microbiological Methods. Butterworths, London, 6th ed., pp: 410.
- El Malti J, Mountassif D, Amarouch H. 2007. Antimicrobial activity of *Elettaria cardamomum*: Toxicity, biochemical and histological studies. Food Chem, 104(4): 1560-1568.
- Hamzaa RG, Osman NN. 2012. Using of coffee and cardamom mixture to ameliorate oxidative stress induced in γ -irradiated rats. Biochem Anal Biochem, 1(113): 2161-1009.
- Jiang TA. 2019. Health benefits of culinary herbs and spices. J AOAC Int, 102: 395-411.
- Kapoor LD. 2000. Handbook of Ayurvedic Medicinal Plants. CRC press, Boca Raton, FL, pp: 424.
- Kaushik P, Goyal P, Chauhan A, Chauhan G. 2010. In vitro evaluation of antibacterial potential of dry fruit extracts of *Elettaria cardamomum* Maton (Chhoti Elaichi). IJPR, 9(3): 287-292.
- Madsen HL, Bertelsen G. 1995. Spices as antioxidants. Trends Food Sci Technol, 6: 271-277.
- Ravindran PN. 2002. Introduction. In: Ravindran PN, Madhusoodanan KJ, editors, Cardamom-the genus *Elettaria*. CRC Press, London, 1st ed., pp: 1-10.
- Sengottuvelu S. 2011. Cardamom (*Elettaria cardamomum* Linn. Maton) seeds in health. In: Preedy VR, Watson RS, Patel VB, editors. Nuts and seeds in health and disease prevention. Elsevier, Amsterdam, 1st ed., pp: 285-291.
- Singh G, Kapoor IPS, Singh P, De Heluani CS, De Lampasona MP, Catalan CAN. 2008. Chemistry, antioxidant and antimicrobial investigations on essential oil and oleoresins of *Zingiber officinale*. Food Chem Toxicol, 46: 3295-3302.
- Wojdyło A, Oszmiański J, Czemerys R. 2007. Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. Food Chem, 105: 940-949.
- Yassin MT, Mostafa AAF, Al-Askar AA. 2020. In vitro anticandidal potency of *Syzygium aromaticum* (clove) extracts against vaginal candidiasis. BMC Complement Med Ther, 20(1): 1-9.
- Yassin MT, Mostafa AAF, Al-Askar AA, Alkhelaif AS. 2022. In vitro antimicrobial potency of *Elettaria cardamomum* ethanolic extract against multidrug resistant of food poisoning bacterial strains. J King Saud Univ Sci, 34(6): 102167.



MİMARİDE BİYOFİLİK TASARIM İÇİN METİNDEN GÖRÜNTÜ ÜRETME POTANSİYELİ OLAN YAPAY ZEKA ARAÇLARININ KULLANIMI

Güneş Mutlu AVİNÇ^{1*}

¹Muş Alparslan University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Architecture, 49250, Muş, Türkiye

Özet: Metinden görüntü üretme yeteneğine sahip yapay zekâ (YZ) sistemlerindeki ilerlemeler, mimarlık alanında önemli ve yenilikçi potansiyeller barındırmaktadır. Biyofilik tasarım ilkelerinin yapay zekâ görüntü oluşturma modelleriyle birleştirilmesi, yenilikçi mimari yaklaşımlar için yeni fırsatlar sunmaktadır. Bu çalışma, doğayla bağlantı kurarak ofis çalışanlarının konforunu ve çalışma kapasitesini artırmayı amaçlayan biyofilik ofis alanları oluşturmak için metinden görüntü oluşturan yapay zekâ araçlarının nasıl kullanılabileceğini araştırmaktadır. Çalışma, Browning, Ryan ve Clancy'nin (2014) araştırmasında yer alan biyofilik kriterleri referans alarak, mimari tasarımda biyofilik çözümler üretmek amacıyla yapay zekâ sistemlerinin kullanılmasını incelemektedir. Makalede Leonardo AI aracı kullanılarak bu kriterlere uygun ofis alanları üretilmiştir. Yapay zekâ aracına, biyofilik kriterler ile ilgili istemler girildiğinde biyofilik tasarım standartlarını karşılayan alanlar ürettiği tespit edilmiştir. Bu araştırma, yapay zekâ destekli metin-görüntü oluşturma mimari tasarımın ilk aşamalarda biyofilik tasarım düşüncesiyle entegre edilmesinde önemli bir adıma işaret etmektedir. Sonuç olarak çalışma, yapay zekanın sadece görüntü oluşturma kapasitesini değil, aynı zamanda biyofilik tasarım ilkeleriyle uyum sağlama yeteneğini ve bu ilkeleri geliştirme potansiyelini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Biyofilik yaklaşım, Yapay zekâ, Biyofilik tasarım, Form bulma, Mimari tasarım

The Use of Text-To-Image Generation Artificial Intelligence Tools for the Production of Biophilic Design in Architecture

Abstract: Advances in artificial intelligence (AI) systems capable of generating images from text hold significant and innovative potential in the field of architecture. Combining biophilic design principles with AI image-generation models offers new opportunities for innovative architectural approaches. This study explores how text-to-image AI tools can be used to create biophilic office spaces that aim to increase the comfort and work capacity of office workers by connecting with nature. With reference to the biophilic criteria in Browning, Ryan and Clancy's (2014) research, the study examines the use of artificial intelligence systems to generate biophilic solutions in architectural design. In the article, Leonardo AI tool was used to produce office spaces that meet these criteria. When prompts related to biophilic criteria were entered into the AI tool, it was found that it produced spaces that meet biophilic design standards. This research points to an important step in integrating AI-assisted text-image generation with biophilic design thinking in the early stages of architectural design. As a result, this study demonstrates not only the capacity of AI to generate images, but also its ability to align with biophilic design principles and its potential to enhance these principles.

Keywords: Biophilic approach, Artificial intelligence, Biophilic design, Form-finding, Architectural design

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Muş Alparslan University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Architecture, 49250, Muş, Türkiye

E mail: g.avinc@alparslan.edu.tr (G. M. AVİNÇ)

Güneş Mutlu AVİNÇ <https://orcid.org/0000-0003-1049-2689>

Gönderi: 18 Nisan 2024

Received: April 18, 2024

Kabul: 27 Mayıs 2024

Accepted: May 27, 2024

Yayınlanma: 15 Temmuz 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Avinç GM. 2024. The use of text-to-image generation artificial intelligence tools for the production of biophilic design in architecture. BŞJ Eng Sci, 7(4): 641-648.

1. Giriş

Mimarlık disiplini geçmişten günümüze tasarım felsefesi, yöntem, malzeme, kültür ve farklı teknolojik uygulamalar ile değişimler yaşamaktadır (Shahid, 2024). Günümüzde yapay zekâ araçları, akademi ve endüstride giderek daha fazla kullanılmaktadır (Paananen ve ark., 2023). John Kelleher yapay zekâyı normalde insan zekâsı gerektirdiği düşünülen faaliyet ve görevleri yerine getirebilecek hesaplamalı sistemler geliştirmeye odaklanan araştırma alanı olarak tanımlamaktadır (Kelleher, 2019). Leach (2021) ise yapay zekanın yaygın tanımını, insan zihninin zekasını taklit etmeye veya

simüle etmeye çalışması olarak ifade etmektedir. Başlangıçta sınırlı bir işlevselliğe sahip olan yapay zekâ sistemleri, günümüzde makine öğrenimi teknolojisi sayesinde sınırları zorlamaktadır. Bunun yanında insan düşünme sürecine giderek daha fazla benzeyen bir yapıya doğru ilerlemektedir. Özellikle metin tabanlı görüntü oluşturan yapay zekâ araçları, sahip oldukları basit ara yüzler sayesinde herkesin rahatça kullanabileceği bir araç haline gelmiştir (Aslan ve Aydın, 2023). Metinden görüntüye sentezleme, metin açıklamalarından görüntü üretilmesi anlamına gelmektedir (Souza ve ark., 2020). Bu araçlar öğrenciler,



mimarlar ve önde gelen mimarlık firmaları tarafından konsept aşamasında kullanılmaktadır (Leach, 2021).

Bu bağlamda bu çalışmada, yapay zekâ araçları ile biyofilik yaklaşım kriterlerinden yola çıkılarak metinden görüntü oluşturma süreci denenmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen literatür taraması, mimarlıkta ve biyofilik tasarım kesişiminde yapay zekâ uygulamaları üzerine yapılan araştırmaların az sayıda yayınlara hala yeni bir konu olduğunu göstermektedir. Örneğin Hung ve Chang (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, peyzaj unsurlarının insanların psikolojik durumu üzerindeki etkisini tahmin etmek için bir yapay zekâ görüntü tanıma sistemi kullanılmıştır. Chang ve ark. (2020) ise bir sosyal medya platformu olan Flickr'a kullanıcılar tarafından yüklenen sosyal medya fotoğraflarını, Google Cloud Vision API'yi kullanarak incelemiştir. Araştırmada kullanıcıların buldukları mekanlar, biyofilik tasarım bağlamında analiz edilmiştir. Viliunas ve Grazuleviciute-Vileniske (2022) tarafından yürütülen araştırmada ise, yapay zekâ tabanlı VQGAN+CLIP aracı kullanılarak şekil bulma deneyi ve görüntü değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada biyofilik tasarım kriterleri bağlamında üretilen sanatsal görüntüler değerlendirilmiştir. Bu araştırmada ise Leonardo AI aracı ile Browning, Ryan ve Clancy (2014) tarafından tanımlanan biyofilik tasarım kriterleri kullanılarak ofis mekân tasarımları gerçekleştirilmiştir. Buradan hareketle çalışmada aşağıda yer alan sorulara yanıt aranmıştır.

- Metin-görüntü oluşturucular (*text-to-image generators*), mimari tasarımın ilk aşamalarında biyofilik tasarım düşüncesini nasıl destekleyebilir?
- Metin-görüntü oluşturucular (*text-to-image generators*), biyofilik tasarım kriterlerine uygun tasarımlar üretebiliyor mu? Leonardo AI biyofilik kriterleri nasıl yorumlamakta ve görselleştirmektedir?

Bu sorulardan hareketle ilk olarak literatür incelenmesi yapılarak metin üretmek için kullanılacak biyofilik kriterler belirlenmiştir. Daha sonra herkes tarafından erişilebilen yapay zekâ tabanlı bir araç olan Leonardo AI kullanılarak metinden görüntü elde etme denemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu denemeler sonucunda üretilen görüntüler; biyofilik kriterler ve mevcut biyofilik tasarım mekanları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Böylelikle bu çalışma, biyofilik tasarım pratiğine bilgi ve ilham verebilecek yapay zekâ destekli araçla ilişkili yetenekleri ve sınırlamaları aydınlatmayı amaçlamaktadır.

1.1. Biyofilik Tasarım

Doğa ile iletişim kurma arzusu veya eğilimi "*Biophilia*" kavramı ile ifade edilmektedir. Bu terimden türetilen biyofilik yaklaşım ise, insanoğlunun doğuştan gelen biyolojik bağlantısı, doğayla iletişim kurma arzusu ve eğilimi olarak tanımlanmaktadır (URL-1). Biyofili fikri, doğal süreçlere uyum sağlayarak biyolojik olarak geliştirdiğimiz insan evrimi anlayışından kaynaklanmaktadır (Kellert ve Calabrese, 2015). Bu

yaklaşım, günümüzde insanların fiziksel ve zihinsel sağlığı ve refahı için kritik önem taşımaktadır (Wilson 1986, Kellert ve Wilson 1993, Kellert 1997, Kellert, 2012). Bütün bunlara ek olarak bu yaklaşım, insanların doğayla doğuştan ve derin bir bağa sahip olduğu ve doğal unsurların yapıları mekanlara entegrasyonunun bireylerin psikolojik refahı, fiziksel sağlığı ve yaşam kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceği fikrine dayanmaktadır (Kellert ve ark., 2011). Kullanıcıları doğal çevreyle yeniden buluşturmayı amaçlayan bu yaklaşım (Ríos-Rodríguez ve ark., 2023) ile tasarlanan mekanlar sayesinde, stres azalmakta, yaratıcılık ve düşünce netliği gelişmekte, sağlık iyileşmektedir. Dünya nüfusunun artan oranda şehirlere yerleşmesiyle birlikte, bu özellikler giderek daha büyük bir önem kazanmaktadır (Browning ve ark., 2014). Biyofilik tasarımın hedefi, modern yapı ve peyzaj uygulamalarının eksikliklerini gidermek ve insanların yapıları çevrede doğal bir deneyim yaşamalarını sağlayacak bir çerçeve oluşturmaktır (Kellert ve ark., 2008, Kellert 2005, Kellert ve Finnegan 2011, Browning ve ark., 2014).

Dolayısıyla biyofilik tasarımın amacı, insanlar için sağlıklı bir yaşam ortamı oluşturmak ve onların sağlık, canlılık ve mutluluğunu artırmak olarak özetlenebilir. Biyofilik tasarımın etkili bir şekilde uygulanabilmesi için belirli temel ilkelerin tutarlı bir şekilde izlenmesi gereklidir. Bu ilkeler, biyofilik tasarımın etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi için temel gereklilikleri ifade etmektedir (Kellert ve Calabrese, 2015). Son çalışmalar, biyofilik tasarımın insan sağlığına olumlu etkilerini somut bir şekilde destekleyerek, insanlar ile doğa arasındaki ilişkiye dair bilimsel kanıtları güçlendirmekte ve tasarım araştırmaları ile pratiğinde önem derecesini artırmaktadır (Browning ve ark., 2014).

Biyofilik yaklaşım, doğa ile bağlantı kurmak, insanlara daha az stres ve daha fazla genel sağlık ve refah ile sağlıklı alanlarda yaşama ve çalışma fırsatı sunmak için gerekli görülmektedir (Browning ve ark., 2014; Hartig ve ark., 2014; Nieuwenhuisen ve ark., 2017). Bu doğrultuda, çok sayıda çalışma yapıları çevredeki onarıcı deneyimleri keşfetmeye odaklanmaktadır (Korpela, ve ark., 2008; Korpela ve ark., 2010; Scopelliti ve ark., 2019).

Araştırmacılar tarafından biyofilik tasarım uygulamalarına rehberlik edecek kriterleri belirlemeye yönelik çok sayıda öneri geliştirilmiştir (Browning ve ark., 2014; Kellert ve Calabrese 2015). En yeni önerilerden biri, Browning ve ark. (2014) tarafından geliştirilen on dört kriterdir (Tablo 1).

Biyofilik tasarımın kullanımıyla yapıları çevreyi doğaya bağlamak, kuruluşlara ve çalışanlarına refahtan üretkenliğe kadar çok büyük faydalar sağlayabilmektedir. Literatürde biyofilik tasarım bağlamında yapay zekâ uygulamalarının kullanımı az sayıda yayınlara güncelliğini korumaktadır. Buradan hareketle bu çalışmada Tablo 1'de belirtilen 14 biyofilik kriter kullanılarak yapay zekâ aracı ile biyofilik mekân tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Browning ve ark. (2014) tarafından tanımlanan biyofilik kriterler

Kategori	Biyofilik	Tanım
Mekânda Doğa	1. Doğa ile	Doğanın unsurlarına,
	2. Doğa ile duysal	Doğaya, canlı sistemlere veya
	3. Düzensiz duysal	Doğayla istatistiksel olarak analiz
	4. Sıcaklık ve hava akışı	Hava sıcaklığında, bağıl nemde, ciltteki Suyu görme, duyma veya dokunma
	5. Suyun varlığı	Doğada oluşan
	6. Dinamik ve dağınık ışık	koşulları yaratmak
	7. Doğal sistemlerle	Doğal süreçlerin, özellikle de sağlıklı
	8. Biyomorfik formlar ve	Doğada varlığını sürdüren konturlu,
	9. Doğa ile malzeme	Minimal işleme yoluyla yerel
	10. Karmaşıklık ve düzen	Doğada karşılaşılana
	11. Beklenti	Gözetleme ve
Doğal Benzerlikler	12. Sığınma	Bireyin arkadan ve tepeden korunduğu, Kısmen gizlenmiş görüşler veya kişiyi çevrenin daha
	13. Gizem	Güvenilir bir
	14. Risk /	

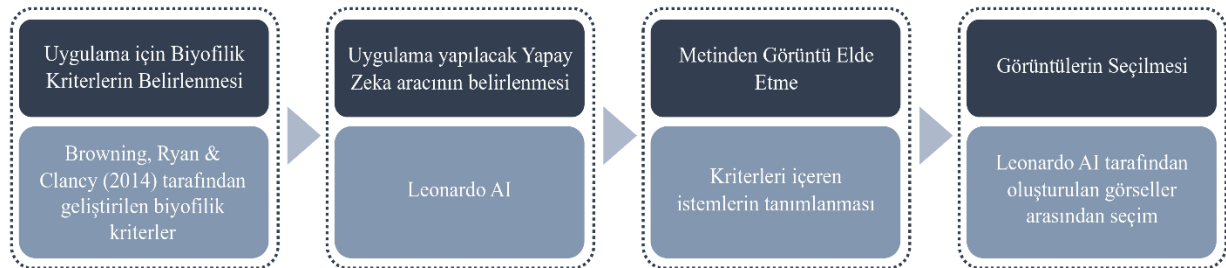
1.2. Metinden Görüntü Üretme Potansiyeli Olan Yapay Zekâ Araçları

Derin üretken modellere dayanan metinden görüntü üretim sistemleri; dijital görüntüler, mimari ve sanat eserler üretmenin popüler araçları haline gelmiştir (Crowson ve ark., 2022; Rombach ve ark., 2022). Metinden görüntüye dönüştürme araçları çevrimiçi olarak ortaya çıkmıştır. Doğal dilde bir giriş istemi (*prompt*) verildiğinde, bu üretken sistemler dijital görüntüleri sentezleyebilmektedir (Oppenlaender, 2022). Metinden görüntüye dönüştürme araçları, fikir üretme sürecinde fikirlerin doğal dille hızlı bir şekilde kavramsallaştırılmasına olanak sağlayarak, mimarların ve tasarımcıların fikirlerini geliştirme ve iletme şekillerini dönüştürme potansiyeline sahiptir (Paananen ve ark., 2023). Geniş kitlelere ulaşan bir trend haline gelen metinden görüntüye dönüştürme araçlarıyla birçok

kişi dijital görüntüler ve sanat eserleri oluşturma yeteneği kazanmaktadır (Oppenlaender, 2022). Stable Diffusion, Midjourney, DALL-E (2), WOMBO Dream, Craiyon, NightCafe, Starry AI, Pixray ve Leonardo AI gibi YZ araçları verilen metin parametrelerine dayalı olarak dijital grafikler üretebilen üretken yazılım sistemleridir. YZ tabanlı modeller, görüntü oluşturmaya başlamak için dokular, aydınlatma ve renk şemaları gibi çeşitli biçimlerde çok sayıda bilgi toplamaktadır (Cobb, 2023). Algoritma, altta yatan korelasyonları ve kalıpları belirlemek için bu verileri analiz ederek kullanmaktadır. YZ sistemleri, makine öğrenme teknolojileriyle birlikte internet sitelerinden toplanan görsel ve yazınsal veri kümelerini kullanarak metinden görüntü oluşturmaktadır. Bu sistemler, kullanıcının komutlarına göre daha önce var olmayan görseller yaratabilmektedir. Metin girdisi, görüntü oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır; her kelime farklı parametreleri değiştirerek yapay zekânın yolunu belirlemektedir. Her sözcük, görsel çıktıyı etkilemekte ve küçük değişiklikler bile büyük farklılıklara yol açabilmektedir (Aslan ve Aydın, 2023). Bununla birlikte anahtar kelimelerin tekrar girilmesi aynı sonuçları vermemektedir. Çünkü program her örnek için internette bulunan çeşitli benzer fotoğraf ve görsellerden rastgele seçim yaparak nihai görüntüde bunlara farklı bir oran vermektedir. Ayrıca komut dosyası, kullanıcı seçimlerinin sürekli incelenmesi yoluyla daha iyi görselleştirmeler üretmeyi öğrendiğçe, uyum sağlayabilmekte ve değişebilmektedir. Sonuç olarak, komut dosyası tarafından üretilen her görüntü farklı olmaktadır (Chiu, 2023).

2. Materyal ve Yöntem

Sanal ortamlar ve üretken yapay zekâ tabanlı sanat uygulamaları, mimari şekiller ve estetiğinden denenmesi için birçok olanak sağlamaktadır. Leonardo AI metin alıntılarında ve anahtar kelimelerden yeterli görsel kalitede görüntü üretmektedir (URL-2). Bu çalışmada, analiz için istemlere (*prompts*) bağlı olarak çeşitli sonuçlar üretmek üzere Leonardo AI yapay zekâ metin- imge oluşturma aracı seçilmiştir. Metinden görüntüye yapay zekâ tabanlı aracı kullanarak biyofilik şekiller türetme olasılığını test etmek için Browning, Ryan & Clancy (2014) tarafından geliştirilen 14 biyofilik tasarım kriteri kullanılmıştır. Çalışmada izlenen adımlar Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Yöntem akış şeması.

2.1. Yapay Zekâ-Görüntü Üretimi

Leonardo AI ile her denemede dört görüntü elde edilmiş ve en uygun görüntü seçilmiştir. Bu bölümde biyofilik kriterler için tanımlanan istemlere ve üretilen çıktılara dair değerlendirmeler sunulmaktadır.

2.1.1. Mekânda doğa

Leonardo AI'da ilk olarak "mekânda doğa" biyofilik kriterini içeren istemler (*prompts*) yazılmış ve denemeler yapılmıştır. Metinsel talimatlar (Zamfirescu-Pereira ve ark., 2023) olarak adlandırılan istem (*prompt*) oluşturulurken, kritere uygun amaca, doğru yazım ve dil kullanımına dikkat edilmiştir. Bununla birlikte farklı

ifade biçimleri denenmiş ve biyofilik yaklaşıma en uygun görseller seçilmiştir. Bu bağlamda ilk olarak "doğa ile görsel bağlantı" kriteri için "*Design a work office that provides a visual connection to living systems and natural processes, such as the natural flow of a body of water, plants, vegetation. The office has a view of water, forest, green plants.*" istemi yazılmıştır. Üretilen görseller arasından Şekil 2'de yer alan tasarımlar seçilmiştir.

Yapay zekâ tarafından ulaşılan görseller, doğa ile görsel, duysal bağlantıların gerçekleştirilebileceği ortamlar sunmaktadır. Bununla birlikte ürettiği görseller arasında "suyun varlığı" da söz konusudur (Şekil 3).



Şekil 2. "Mekânda Doğa" kriteri için oluşturulan görseller (yazar tarafından Leonardo AI ile oluşturulan görseller).



Şekil 3. "Mekânda Doğa" kriteri için oluşturulan farklı görseller.

2.1.2. Doğal benzerlikler

"Doğal benzerlikler" biyofilik kriterini içeren istemler (*prompts*) Leonardo AI'da yazılmış ve denemeler yapılmıştır. "Doğal benzerlikler" kriteri için "*Design a work office with symbolic references to contoured, patterned, textured or numerical arrangements that exist in nature, reflecting local ecology or geology through minimal processing and creating a distinct sense of place, materials and elements from nature, rich sensory information connected to a spatial hierarchy similar to those encountered in nature.*" Ve daha sonra "*Design a large open space office with natural materials, patterns, textures and biomorphic elements.*" istemi yazılmıştır. Üretilen görseller arasından Şekil 4'te yer alan tasarımlar seçilmiştir.

2.1.3. Mekânın doğası

"Mekânın doğası" kriteri için biyofilik kriterini içeren istemler Leonardo AI aracına metin olarak belirtilmiştir. Bu bağlamda "*Design an open office space with several enclosed sides (reading nooks, booth seating, bay window seats, four-poster beds, gazebos, shade trees, passages, covered walkways or patios)*" ve "*Design a reading corner in the office that integrates with the enclosed space on*

several sides, in the form of a sheltered reading corner that is part of the wall" istemler olarak girilmiştir. Bu istemler doğrultusunda üretilen görseller Şekil 5'te sunulmaktadır.

"Sığınak", "Gizem" ve "Risk/Tehlike" için üretilen mekanların tamamen kapalı olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte üretilen mekanlar, gözetim için çevredeki ortamla görsel veya işitsel temas sağlamaktadır.

2.1.4. Farklı anahtar kelimelerle tasarım üretimi

Yapay zekaya doğrudan biyofilik tasarım kavramını içeren bir istem yazıldığında doğal öğeler içeren mekanlar ürettiği görülmektedir. Bunun için "*Design a biophilic office that incorporates biophilic design criteria*" istemi yazıldığında Şekil 6'da yer alan görseller üretilmiştir. İstem olarak "*Biophilia refers to the innate biological connection of human beings with nature. Design a biophilic office that reduces stress at work, promotes good health and strengthens the human-nature connection.*" yazıldığında elde edilen görüntülerde açığa çıkan benzer yeşil alanlar göze çarpmaktadır. Bu görsellerde yeşil zeminler, doğal renkler ve bitkiler görülmektedir. Özellikle bitkisel öğeler içeren yeşil duvar

tasarımının sürekli alternatif olarak üretildiği görülmektedir (Şekil 7).

2.2. Leonardo AI ile Üretilen Görsellerin Mevcut Tasarımlar ile Karşılaştırılması

Çalışmanın bu bölümünde Browning, Ryan & Clancy, (2014) tarafından tanımlanan biyofilik kriterlerin Leonardo AI aracına istem olarak girilmesi ile üretilen biyofilik ofis mekanlarından seçilen görseller, tasarımcılar tarafından üretilen biyofilik ofis mekân görselleri ile karşılaştırılarak tartışılmıştır. Bu tartışma, “doğa ile görsel bağlantı” kriteri için su ögesinin kullanımı, “doğal benzerlikler” kriteri için biyomorfik formlar ve son olarak “mekânın doğası” biyofilik kriteri için sığınak öğeleri üzerinden yürütülmüştür. Bu karşılaştırmanın sebebi yapay zekâ ve mimarlar

tarafından üretilen tasarımların benzerliklerinin ve farklılıklarının tespit edilmesidir.

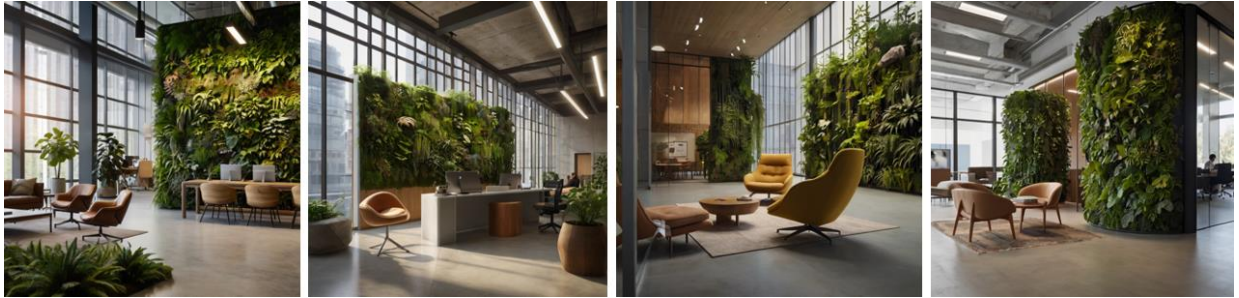
Bu doğrultuda “doğa ile görsel bağlantı” kriteri için su ögesinin kullanımı, Leonardo AI ve biyofilik ofis tasarımında su ögesi kullanımı için yapılan araştırma sonucunda ulaşılan örnek ile karşılaştırılmıştır. Yapay zeka ile üretilen görsel, *MIA Design Studio* tarafından tasarlanan Mr.Green’s Ofisi (Abdel, 2022a) ve *Andyrahman Architect* tarafından tasarlanan *Biophilic Office* (Abdel, 2022b) içerisindeki su ögesi ile karşılaştırılmıştır (Şekil 8). YZ aracının uygulanmış örneklerle benzer sonuçlar ürettiği görülmektedir. Mekân içerisinde su ögesi, geniş cam cepheler ve bitkisel öğeler ile birlikte kullanılmıştır.



Şekil 4. “Doğal benzerlikler” biyofilik kriteri için oluşturulan görseller (yazar tarafından oluşturulan görseller).



Şekil 5. Mekânın doğası kriterleri bağlamında üretilen görseller (yazar tarafından oluşturulan görseller).



Şekil 6. Leonardo AI ile üretilen görseller.



Şekil 7. *Biophilia* kavramının tanımını içeren istem ile üretilen görseller.



Şekil 8. Leonardo AI tarafından üretilen görsel, Mr.Green's Ofisinde yer alan su ögesi, MIA Design Studio (Abdel, 2022a), Biophilic Office, Andyrahman Architect (Abdel, 2022b).

“Doğal benzerlikler” kriteri için DWP ofisi tarafından tasarlanan Dubai’deki ofis tasarımı yapay zekâ üretimi ile karşılaştırılmıştır. İki görseldeki biyomorfik formlar karşılaştırıldığında, yapay zekâ üretiminin mevcut tasarım ile farklılık göstermektedir. Bunun yanında üretilen görselin de mevcut görseldeki gibi tavandan başlayıp duvar boyunca devam eden bir eğrisellik

içerdiği görülmektedir (Şekil 9).

“Mekânın doğası” biyofilik kriteri için yapay zekâ ve tasarımcılar tarafından üretilen sığınak ögeleri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma ile YZ aracının da bu konuda uygulanabilir çözümler sunduğu tespit edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 9. Smart Dubai Office, DWP (URL-3).



Şekil 10. Leonardo AI ve The Shard Living Lab, DaeWha Kang Design tarafından üretilen okuma köşesi (Wang, 2018; URL-4).

3. Bulgular ve Tartışma

Yeni nesil yapay zekâ sistemleri, basit kullanıcı ara yüzleriyle metinden görüntü oluşturmayı kolaylaştırmaktadır. Mimarlar, öğrenciler ve diğer kullanıcılar bu uygulamalardan faydalanabilmektedir. Ancak kullanıcılar arasındaki etkileşimler farklı sonuçlar doğurabilmektedir. Çünkü yapay zekâ tarafından üretilen görüntülerdeki yaratıcılık, kullanıcıyla sistem arasındaki etkileşimden kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada biyofilik yaklaşım kriterleri ile oluşturulan istemler yapay zekâ aracına girilerek görsel üretim sorgulanmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen denemeler, biyofilik kriterlerin tanımlandığı istemler ile biyofilik özelliklere sahip benzer mekanlar oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen denemeler, mimarların ve tasarımcıların yapay zekâ araçları ile metin-görsel oluşturma tekniklerini ilham kaynağı olarak

kullanabilmeleri için gerekli bilgi ve bilişsel çerçeveyi de edinmeleri gerektiği sonucunu açığa çıkarmaktadır. Mimari konsept düşüncesinin erken aşamalarında imaj oluşturmayı nasıl benimsediklerini anlamak için yapay zekâ ile form elde etmek önemli olabilmektedir.

Metin-görüntü oluşturucular (*text-to-image generators*), mimari tasarımın ilk aşamalarında biyofilik tasarım düşüncesini nasıl destekleyebilir sorusuna yapılan uygulama kapsamında şu cevaplara ulaşılmıştır:

- YZ ile üretilen tasarımlar biyofilik tasarım düşüncesini desteklemektedir. Araca girilen istemler doğru ifade edildiğinde faydalı sonuçlar elde edilmektedir.

Metin-görüntü oluşturucular (*text-to-image generators*), biyofilik tasarım kriterlerine uygun tasarımlar üretebiliyor mu sorusuna yapılan uygulama kapsamında şu cevaplara ulaşılmıştır:

- YZ ile üretilen tasarımlar biyofilik tasarım kriterlerine uygun tasarımlar üretmektedir. Uygun sonuçlar üretmek için biyofilik kriterlerin ve içerdiği gereken kavramların istem olarak açıkça ifade edilmesi gerekmektedir. Örneğin tasarlanan ofis mekânında su ögesi isteniyorsa, su kavramının istemde yer alması YZ aracının su içeren bir tasarım üretmesine yol açmaktadır.
- YZ aracı sadece biyofilik tasarım ofisi üretildiğinde de doğal desenler, malzemeler ve doğal öğeler içeren tasarımlar üretmiştir.

YZ doğa ile bağlantı kurmayı hedefleyen biyofilik tasarım yaklaşımı ile tasarlanmış ofis mekanları üretimi için faydalı bir araçtır. Bu çerçevede faydalı sonuçlar elde etmek amacıyla biyofilik tasarım yaklaşımı ile görsel üretmek isteyen araştırmacıların istem (*prompt*) yazımı konusunda bilgi sahibi olması gerekmektedir. Çünkü istemin doğru ifade edilmesi yapay zekanın vereceği çözümü yenilikçi kılmaktadır.

Sonuç olarak YZ yazılımları, mimarların yerini alacak bir sistem olarak değil, diğer dijital programlar gibi kullanılabilir bir araç olarak değerlendirilmelidir. Bu bağlamda görüntü üretiminde yaşanan hızlı gelişmeler, görsel medya üretimiyle yoğun olarak ilgilenen bir alan olan mimarlıktaki tasarım süreçlerini dönüştürme potansiyeline sahiptir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	G.M.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100
PY	100
FA	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Abdel H. 2022a. Mr.Green'in ofisi / MIA design studio. <https://www.archdaily.com/977944/mreens-office-mia-design-studio> (accessed date: March 12, 2022).
- Abdel H. 2022b. Biophilic office andyrahman architect. https://www.archdaily.com/982765/biophilic-office-andyrahman-architect?ad_medium=gallery (accessed date: March 12, 2022).
- Aslan T, Aydın K. 2023. Metinden görüntü üretme potansiyeli olan yapay zekâ sistemleri sanat ve tasarım performanslarının incelenmesi. OMÜ J Edu Fac, 42(2): 1049-1198. <https://doi.org/10.7822/omuefd.1293657>
- Browning W, Ryan C, Clancy J. 2014. 14 Patterns of biophilic design improving health & well-being in the built environment. Terrapin Bright Green LLC, 2014: 63.
- Chang CC, Cheng GJY, Nghiem TPL, Song XP, Oh RRY, Richards DR, Carrasco LR. 2020. Social media nature and life satisfaction: global evidence of the biophilia hypothesis. Sci Reports, 10(1): 4125.
- Chiu TK. 2023. The impact of generative AI (GenAI): on practices policies and research direction in education: A case of ChatGPT and Midjourney. Interact Learn Environ, 2023: 1-17.
- Cobb PJ. 2023. Large language models and generative AI Oh My!: Archaeology in the Time of ChatGPT Midjourney and Beyond. Adv Archaeol Pract 11(3): 363-369.
- Crowson K, Biderman S, Kornis D, Stander D, Hallahan E, Castricato L, Raff E. 2022 October. Vqgan-clip: Open domain image generation and editing with natural language guidance. Springer Nature, Bern, Switzerland, pp: 88-105.

- Hartig T, Mitchell R, De Vries S, Frumkin H. 2014. Nature and health. *Annual Rev Public Health*, 35: 207-228.
- Hung SH, Chang CY. 2021. Using AI to extract biophilic design elements and predict health benefits and tradition environmental Qi. https://auckland.figshare.com/articles/conference_contribution/Using_AI_to_Extract_Biophilic_Design_Elements_and_Predict_Health_Benefits_and_Tradition_Environmental_Qi/13578209 (accessed date: March 12, 2022).
- Kelleher JD. 2019. *Deep learning*. MIT press, London, UK, pp: 251.
- Kellert S, Finnegan B. 2011. Biophilic design: the Architecture of Life. A 60 minute video. www.bullfrogfilms.com (accessed date: March 12, 2022).
- Kellert S, Wilson EO. 1993. *The biophilia hypothesis*. Island Press, Washington DC, USA, pp: 187.
- Kellert S. 1997. *Kinship to mastery: Biophilia in human evolution and development*. Island Press, Washington DC, USA, pp: 114.
- Kellert S. 2005. *Building for life: Understanding and designing the human-nature connection*. Island Press, Washington DC, USA, pp: 243.
- Kellert S. 2012. *Birthright: People and nature in the modern world*. Yale University Press, New Haven, USA, pp: 104.
- Kellert SJ, Heerwagen MM. 2008. *Biophilic design: the theory science and practice of bringing buildings to life*. John Wiley, London, UK, pp: 457.
- Kellert SR, Calabrese EF. 2015. *The practice of biophilic design*. https://www.biophilic-design.com/_files/ugd/21459d_81ccb84caf6d4bee8195f9b5af92d8f4.pdf (accessed date: March 12, 2022).
- Kellert SR, Heerwagen J, Mador M. 2011. *Biophilic design: the theory science and practice of bringing buildings to life*. John Wiley & Sons, London, UK, pp: 412.
- Korpela KM, Ylén M, Tyrväinen L, Silvennoinen H. 2008. Determinants of restorative experiences in everyday favorite places. *Health Place* 14(4): 636-652.
- Korpela KM, Ylén M, Tyrväinen L, Silvennoinen H. 2010. Favorite green waterside and urban environments restorative experiences and perceived health in Finland. *Health Prom Inter*, 25(2): 200-209.
- Leach N. 2021. *Architecture in the age of artificial intelligence*. Bloomsbury Publishing Plc, London, UK, pp: 15-97.
- Nieuwenhuijsen MJ, Khreis H, Triguero-Mas M, Gascon M, Davvand P. 2017. Fifty shades of green: pathway to healthy urban living. *Epidemiol*, 28(1): 63-71.
- Oppenlaender J. 2022. The creativity of text-to-image generation. *Academic Mindtrek '22: Proceedings of the 25th International Academic Mindtrek Conference*, November 16-18, New York, USA, pp: 192-202.
- Paananen V, Oppenlaender J, Visuri A. 2023. Using text-to-image generation for architectural design ideation. *Inter J Architect Comput*, 2023: 14780771231222783.
- Ríos-Rodríguez ML, Testa Moreno M, Moreno-Jiménez P. 2023. Nature in the office: A systematic review of nature elements and their effects on worker stress response. *Healthcare*, 11(21): 2838).
- Rombach R, Blattmann A, Ommer B. 2022. Text-guided synthesis of artistic images with retrieval-augmented diffusion models. *arXiv preprint arXiv*, 2207: 13038.
- Scopelliti M, Carrus G, Bonaiuto M. 2019. Is it really nature that restores people? A comparison with historical sites with high restorative potential. *Front Psychol*, 9: 426012.
- Shahid F. 2024. The organic challenge: The organic challenge: cultivating conscious design for biodigital tectonics within ai's prompt-to-pixel process. *J Artificial Intellig Architect*, 3(1): 11-23.
- Souza DM, Wehrmann J, Ruiz DD. 2020. Efficient neural architecture for text-to-image synthesis. In *2020 International Joint Conference on Neural Networks*, 19-24 July 2020, Glasgow, UK, pp: 1-8.
- URL-1: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/biophilia> (accessed date: March 12, 2022).
- URL-2: [Leonardo.Ai. https://leonardo.ai/](https://leonardo.ai/) (accessed date: March 12, 2022).
- URL-3: <https://www.lovethatdesign.com/project/smart-dubai-office-dubai/> (accessed date: March 12, 2022).
- URL-4: <https://archello.com/story/78395/attachments/photos-videos/6> (accessed date: March 12, 2022).
- Viliunas G, Grazuleviciute-Vileniske I. 2022. Shape-finding in biophilic architecture: application of ai-based tool. *Architect Urban Plan*, 18(1): 68-75.
- Wang L. 2018. A London office boasts biophilic design for a healthier happier workplace. <https://inhabitat.com/a-london-office-boasts-biophilic-design-for-a-healthier-happier-workplace/> (accessed date: March 12, 2022).
- Wilson E.O. 1986. *Biophilia: the Human Bond with Other Species*. Harvard University Press, Cambridge, USA, pp: 96.
- Zamfirescu-Pereira JD, Wong RY, Hartmann B, Yang Q. 2023. Why Johnny can't prompt: how non-AI experts try (and fail): to design LLM prompts. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, April 23-28, Hamburg, Germany, pp: 1-21.



DETERMINATION OF THE CHEMICAL CONTENT OF SHILAJIT IN TERMS OF TEN DIFFERENT POLYPHENOLIC COMPOUNDS BY UAE METHOD AND HPLC ANALYSIS

Levent NURALIN^{1*}


¹Gazi University, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, 06570, Ankara, Türkiye

Abstract: Shilajit (Mumio) is a complex of natural bioactive compounds that has historically been used as a therapeutic cream for many skin diseases. It is also used in traditional medicine for diseases such as diabetes Alzheimer's and cancer. In this study, to determine the polyphenolic content of Shilajit, ultrasound assisted extracts (UAE) were obtained at 45 °C and analyzed by High Performance Liquid Chromatography-Ultraviolet (HPLC-UV) for the quantitative analysis of ten different polyphenolic compounds. Such a comprehensive content analysis has not been done for Shilajit before. As a result of the experimental study, 28.99±1.23 µg/g rutin, 25.47±1.67 µg/g ferulic acid, 41.49±0.41 µg/g resveratrol and 532.19±8.21 µg/g taxifolin was determined. In this study, 532.19±8.21 µg/g of taxifolin, which is found to be very effective against many diseases in the literature, is a very high value compared to the literature. The results of this research will shed an important light to researchers working in the fields of extraction of bioactive substances, food supplement production and pharmaceutical applications.

Keywords: Shilajit, Mumio, Polyphenols, Taxifolin, Resveratrol, HPLC

*Corresponding author: Gazi University, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, 06570, Ankara, Türkiye

E mail: leventnuralin@gazi.edu.tr (L. NURALIN)

Levent NURALIN  <https://orcid.org/0000-0003-4811-6048>

Received: April 04, 2024

Accepted: June 04, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Nuralin L. 2024. Determination of the chemical content of shilajit in terms of ten different polyphenolic compounds by UAE method and HPLC analysis. *BSJ Eng Sci*, 7(4): 649-653.

1. Introduction

Shilajit, also known as salajit, shilajatu, mumio, mumie or mummiyo, is a brown-black sticky solid compound formed by the accumulation of plant and microbial remains in crevices of rocks, caves and cliffs over many years (Agarwal et al., 2007; Carrasco-Gallardo et al., 2012). Raw Shilajit is found in cave cracks and rock cavities about 1000 meters above sea level. It is located predominantly in the Himalayas, Southern Kazakhstan and Central Asian Alps Region (Aiello et al., 2011). The physical and chemical properties of Shilajit obtained from different regions are similar, but the percentage of inorganic and organic components may vary (Kloskowski et al., 2021; Pandit et al., 2016). Studies conducted to determine the chemical composition of Shilajit reported that the main component was 80% humic substances (Kamgar et al., 2023). Additionally, benzoic acid, fatty acids, amino acids, aromatic carboxylic acids, microelements and resin have been reported. (Agarwal et al., 2007; Ghosal et al., 1988; Schepetkin et al., 2009). Shilajit has been used in traditional medicine for many years, especially in eastern countries. According to a World Health Organisation (WHO) report, approximately 80% of the world's population trust traditional medicine for its therapeutic and preventive properties in human health (Tran, et al., 2020). For this reason, researchers' interest in plant-based medicines is increasing globally

(Mahian and Sani, 2016). Shilajit, for example, is used mainly in India to treat skin diseases and osteoporosis. It is also thought to help protect against nervous system diseases due to its neuroprotective activity. It is also recommended for anemia, diabetes and asthma patients due to its high iron content and antioxidant properties (Ghosal et al., 1988; Ghosal et al., 1991; Agarwal et al., 2007; Cornejo et al., 2011). When a general evaluation is made, it is clear that many components in the structure of Shilajit, especially the bioactive compounds, can benefit human health. However, more studies are needed to determine these components and their effects. Thus, its international use will become widespread (Schepetkin et al., 2009).

Shilajit contains a wide range of bioactive components (dibenzo-a-pyrones, phenolic acids and terpenoids) and phenolic compounds that are very beneficial for health, as well as fulvic acid, humic acid and some minerals (Pravin and Sunayana, 2022).

In this study, the presence and amounts of 10 different polyphenolic compounds in the extracts of commercial Shilajit (Figure 1) obtained by UAE method were determined using HPLC-UV. Polyphenols are secondary metabolites of plant origin and contain more than one phenol group in their structure (Tapia-Quirós et al., 2022). Polyphenols include flavonoid (e.g., taxifolin and rutin) and nonflavonoid (e.g., ferulic acid and



resveratrol) compounds (Figure 2) (Purgatorio et al., 2024). These compounds provide severe benefits to human health with their potent antioxidant, anti-inflammatory, hepatoprotective, antiviral, anti-carcinogenic and anti-mutagenic properties (Chung et al., 1998; Nijveldt et al., 2001; Purgatorio et al., 2024). There are many studies in which bioactive compounds are extracted from various sources using different

methods due to their benefits to human health (Routray and Orsat, 2012). This is the first study in the literature in which polyphenolic compounds from Shilajit were extracted using the UAE method, and qualitative and quantitative analyses were performed for ten different polyphenolic substances with HPLC-UV. Considering the benefits of bioactive compounds on human health, this study will be enlightening for researchers.



Figure 1. Commercial tablet form of Shilajit.

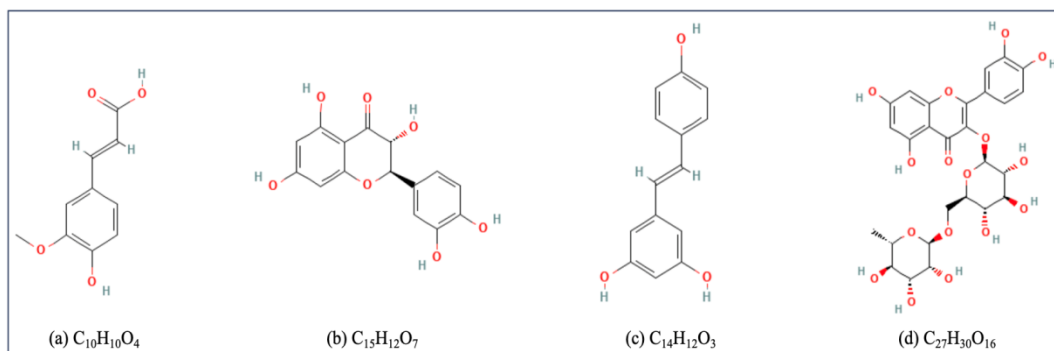


Figure 2. Chemical formulas and structures of some phenolic compounds; (a) ferulic acid, (b) taxifolin, (c) resveratrol, (d) rutin.

2. Materials and Methods

2.1. Raw Material and Chemicals

Shilajit is commercially available in 5 g packs. Shilajit sample was purchased from an herbalist in Ankara in its commercial product form. Reference substances gallic acid, caffeic acid, rutin, ferulic acid, taxifolin, resveratrol, quercetin, silibinin, apigenin ($\geq 98\%$) were obtained from sigma aldrich Germany, kaempferol ($\geq 95\%$) was obtained from cayman USA. Analytically pure ethanol ($\geq 99.99\%$) was used as a solvent, and analytically pure methanol ($\geq 99.99\%$) and acetonitrile ($\geq 99.99\%$) were used as mobile phase was obtained from Sigma Aldrich. Analytically pure formic acid ($\geq 99.99\%$) added to the mobile phases was obtained from Merck (Germany). Pure water used in the extraction was obtained by Heal Force Smart Ultra Water Purification device.

2.2. Sample Preparation

The samples were taken out of their commercial packages and prepared in 3 sets by dissolving two tablets

(10 g) in 75 mL of distilled water.

2.3. UAE Method

The UAE method provides very efficient extractions at low temperatures and in a short time compared to traditional methods. Weightlab Instrument WF-UD6 model device was used to extract bioactive components from Shilajit. Optimum experimental conditions were determined by minor changes in the extraction conditions previously made with UAE (Nuralin, 2024). Two Shilajit tablets (5 g each) were extracted in 75 mL of pure water by ultrasonic extraction at 45 °C for 1 hour. An external circulation water bath was used for constant temperature. In this study, extractions were performed in 3 repetitions and were presented at a 95% confidence level.

2.4. HPLC Analysis

Quantitative analysis of bioactive compounds was performed with Dionex 680 HPLC system (California, USA) with a 4-channel UVD 170U detector and P680

quad pump. Thermo brand C18 type HPLC column (4.6 x 150 mm, 3µm) was used in the analysis. The mobile phase used in the analysis contains a volume of 0.1% formic acid, 79.9% deionized water and 20% acetonitrile; phase B contains 100% acetonitrile. Chromatograms were obtained at 254 nm, suitable for observing polyphenolic compounds. All absorption data were taken at 254 nm. The mobile phase was run at a constant flow rate of 1 mL/min. An elution gradient program with a constant flow rate of 1 mL/min was performed as follows: 0–18 min of 100% of A in B, 18–22.5 min 50–50% of A in B, 22.5–25min 100% of A in B. The detection wavelength of the UVD 170U detector was 254nm. The precise mixture obtained from the extraction was given to the HPLC device using a 20µl manual injection port. In order to determine the concentration of gallic acid, caffeic acid, rutin, ferulic acid, taxifolin, resveratrol, quercetin, silibinin, apigenin, and kaempferol in the samples, standard substances at different concentrations (5ppm, 10ppm, 50ppm) in ethanol were prepared, and a calibration curve was drawn. HPLC analysis was performed in duplicate, and quantification of compounds was made by averaging the two results. Concentrations were calculated using the coefficients obtained from the calibration study. In a study on *Berberis vulgaris*, rutin and apigenin amounts were determined with similar eluents and gradient programs (Nuralin and Gürü, 2022). In another study, the amount of taxifolin was determined using similar eluents and HPLC gradient program (Ghoreishi et al., 2016).

HPLC-UV system is a widely used technique to analyze the stable and highly reproducible properties of phenolic compounds and their derivatives, such as resveratrol, taxifolin and rutin (Fan et al., 2011). In this study, the identification and quantification of 10 different polyphenolic compounds were made by comparing the retention times of the reference standards and the characteristic chromatograms of the samples, and the amount was calculated according to their peak areas. Chromatograms of reference standards (10 ppm) of bioactive compounds are given in Figure 3.

The marked peak belongs to taxifolin (1st peak; Gallic acid, 2nd peak; Caffeic acid, 3rd peak; Rutin, 4th peak; Ferulic acid, 5th peak; Taxifolin, 6th peak; Resveratrol, 7th peak; Quercetin, 8th peak; Silibinin, 9th peak; Apigenin, and 10th peak; Kaempferol). The retention time of taxifolin in the 10 ppm standard mixture given in Figure 3 is 10.045 minutes.

The retention time of taxifolin, which is the labeled peak in Figure 4, is 9.997 minutes. When the retention times of rutin, ferulic acid and resveratrol are compared with the retention times of the standards in this chromatogram, these four phenolic compounds were observed in Shilajit. In order to determine the amount of rutin, ferulic acid, taxifolin and resveratrol extracted as a result of the experimental study, the peak areas obtained in the chromatograms were calculated using appropriate calibration factors, total extract volumes and sample weights used in the experiments. As a result, 28.99±1.23 µg/g rutin, 25.47±1.67 µg/g ferulic acid, 532.19±8.21 µg/g taxifolin and 41.49±0.41 µg/g resveratrol were determined from Shilajit by UAE method (Figure 5.). Compared to other polyphenolic compounds, Shilajit contains the highest amount of taxifolin using the UAE method.

3. Results and Discussions

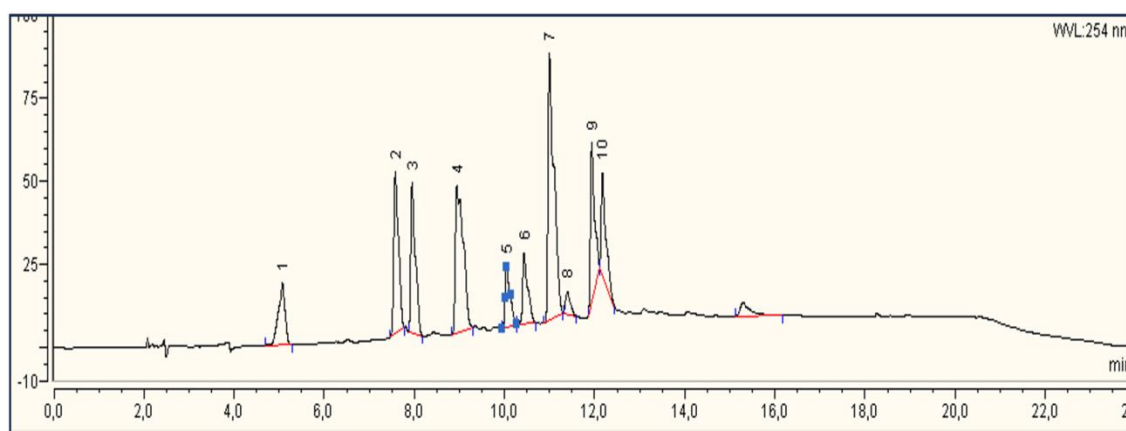


Figure 3. Chromatogram of the mixture prepared for 10 ppm concentration of 10 different reference substances.

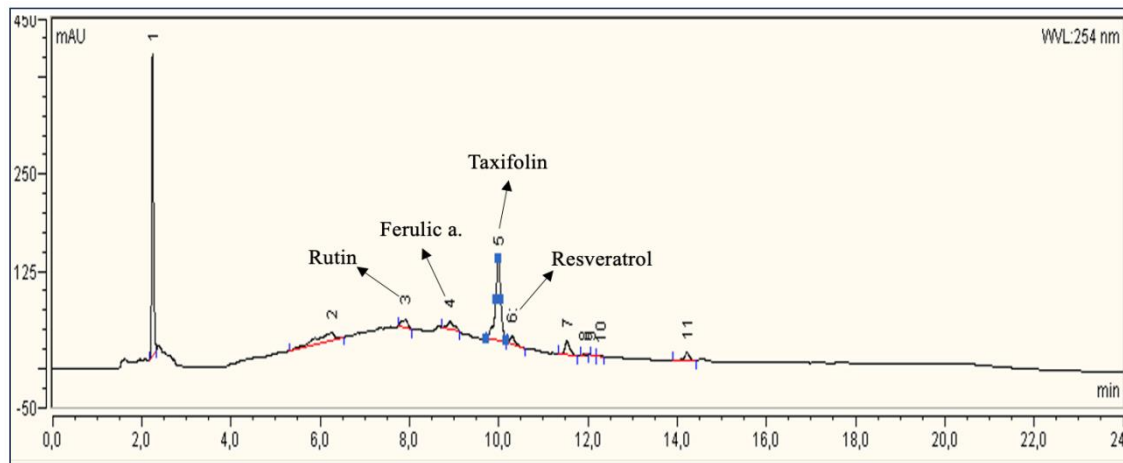


Figure 4. Peaks of rutin, ferulic acid, taxifolin and resveratrol in the chromatogram of UAE extracted Shilajit.

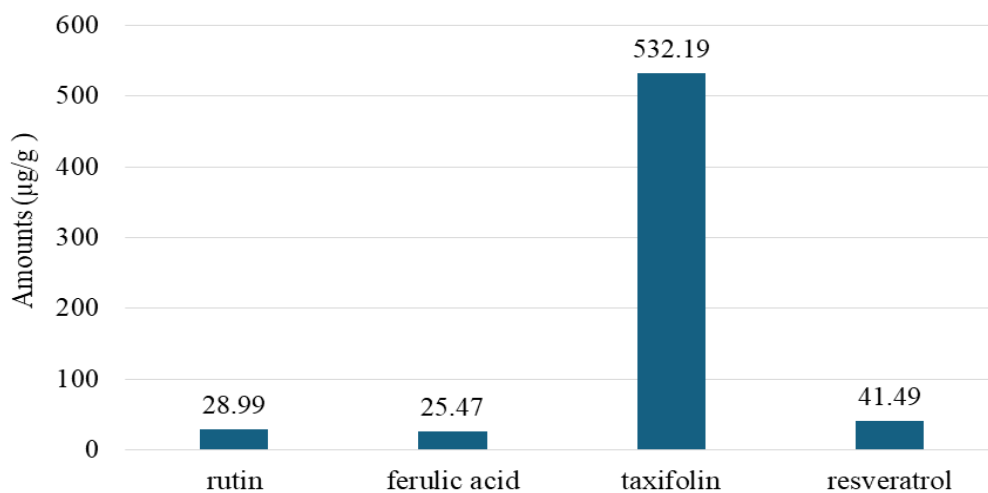


Figure 5. The amounts of rutin, ferulic acid, taxifolin and resveratrol extracted from Shilajit.

4. Conclusion

Shilajit has been used in many areas of traditional medicine for many years. It is formed due to the decomposition of substances such as plants, fungi and lichens and their combination with rock minerals. Considering the geography where it is located and the vegetation that contributes to its structure, the components it contains may vary. However, researchers have determined that many compounds have high bioavailability in their structure. In this study, ten polyphenolic compounds were investigated in order to understand the polyphenolic component content of Shilajit. The bioactive compounds extracted from Shilajit by UAE method were analyzed by HPLC-UV and 28.99±1.23 µg/g rutin, 25.47±1.67 µg/g ferulic acid, 532.19±8.21 µg/g taxifolin and 41.49±0.41 µg/g resveratrol were found. The presence of exceptionally high levels of taxifolin in Shilajit has been scientifically observed. Besides the potent antioxidant and anti-inflammatory activity of flavonoids, the unique bioactive flavonoid taxifolin is a constituent of interest to dietitians and medicinal chemists due to its wide range of health benefits. In studies, taxifolin has shown a serious

inhibitory effect against inflammation, microbial infection, oxidative stress, cardiovascular disease and liver disease. In this study, flavanoids, which have important effects on human health, were obtained by UAE, a short and simple extraction technique. In this respect, the study and its results will contribute to scientific literature, pharmacological research, and RandD studies for food supplements.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is presented below. The author reviewed and approved the final version of the manuscript.

	L.N.
C	100
D	100
S	100
DCP	100
DAI	100
L	100
W	100
CR	100
SR	100
PM	100
FA	100

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

Ethical Consideration

Ethics committee approval was not required for this study because of there was no study on animals or humans.

Acknowledgements

This work was supported by the Gazi University BAP project unit (Grant numbers: FGA-2023-8160 and 06/2016-11). I would like to sincerely thank Prof. Dr. Metin GÜRÜ and Cem TAŞDEMİR for their contributions to this study.

References

Agarwal SP, Khanna R, Karmarkar R, Anwer MK, Khar RK. 2007. Shilajit: a review. *Phytother Res*, 21(5): 401-405.

Aiello A, Fattorusso E, Menna M, Vitalone R, Schröder HC, Müller WEG. 2011. Mumijo traditional medicine: fossil deposits from antarctica (chemical composition and beneficial bioactivity). *Altern Med EC*, 2011: 738131.

Carrasco-Gallardo C, Guzmán L, Maccioni RB. 2012. Shilajit: a natural phytocomplex with potential procognitive activity. *Int J Alzheimers Dis*, 2012: 254235..

Chung KT, Wong TY, Wei CI, Huang YW, Lin Y. 1998. Tannins and human health: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 38(6): 421-464.

Cornejo A, Jiménez JM, Caballero L, Melo F, Maccioni RB. 2011. Fulvic acid inhibits aggregation and promotes disassembly of tau fibrils associated with Alzheimer's disease. *J Alzheimers Dis*, 27(1): 143-153.

Fan EG, Lin S, Du DL, Jia YJ, Kang L, Zhang K. 2011. Current separative strategies used for resveratrol determination from natural sources. *Anal Methods*, 3(11): 2454-2462.

Ghoreishi S, Hedayati A, Mohammadi S. 2016. Optimization of periodic static-dynamic supercritical CO2 extraction of taxifolin from pinus nigra bark with ethanol as entrainer. *J Supercrit Fluids*, 113: 53-60.

Ghosal S, Lal J, Singh SK, Goel RK, Jaiswal AK, Bhattacharya SK. 1991. The need for formulation of shilajit by its isolated active constituents. *Phytother Res*, 5(5): 211-216.

Ghosal S, Singh S. K, Kumar Y, Srivastava R, Goel RK, Dey R, Bhattacharya SK. 1988. Anti-ulcerogenic activity of fulvic acids and 4'-methoxy-6-carbomethoxybiphenyl isolated from shilajit. *Phytother Res*, 2(4): 187-191.

Kamgar E, Kaykhahi M, Zembruska J. 2023. A comprehensive review on Shilajit: what we know about its chemical composition. *Crit Rev Anal Chem*, 1-13.

Kloskowski T, Szeliski K, Krzeszowiak K, Fekner Z, Kazimierski L, Jundzill A, Pokrywczynska M. 2021. Mumio (Shilajit) as a potential chemotherapeutic for the urinary bladder cancer treatment. *Sci Rep*, 11(1).

Mahian RA, Sani AM. 2016. Essential oils in food systems: A systemic review. *Int J PharmTech Res*, 9(6): 409-416.

Nijveldt RJ, van Nood E, van Hoorn DEC, Boelens PG, van Norren K, van Leeuwen PAM. 2001. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *Am J Clin Nutr*, 74(4): 418-425.

Nuralin L, Gürü M. 2022. Berberis vulgaris fruit: determination of phenolic compounds in extracts obtained by supercritical CO2 and soxhlet methods using HPLC. *Food Anal Methods*, 15(4): 877-889.

Nuralin L. 2024. Investigation of ziziphus jujube seeds as a new source of taxifolin and silibinin with three different extraction methods. *Microchem J*, 198 110137.

Pandit S, Biswas S, Jana U, De RK, Mukhopadhyay SC, Biswas TK. 2016. Clinical evaluation of purified Shilajit on testosterone levels in healthy volunteers. *Andrologia*, 48(5) 570-575.

Pravin C Sunayana R. 2022. Shilajit: a wonder drug of Ayurveda. *World J Pharm Med Res*, 8(4): 125-127.

Purgatorio R, Boccarelli A, Pisani L, de Candia M, Catto M, Altomare CD. 2024. A critical appraisal of the protective activity of polyphenolic antioxidants against iatrogenic effects of anticancer chemotherapeutics. *Antioxidants*, 13(1).

Rhiger M. 2013. Adaptogens in medical herbalism: elite herbs and natural compounds for mastering stress aging and chronic disease: Simon and Schuster. *Libr J*, 138(20): 117-118.

Routray W, Orsat V. 2012. Microwave-assisted extraction of flavonoids: a review. *Food Bioprocess Technol*, 5(2): 409-424.

Schepetkin IA, Xie G, Jutila MA, Quinn MT. 2009. Complement-fixing activity of fulvic acid from Shilajit and other natural sources. *Phytother Res*, 23(3): 373-384.

Tapia-Quirós P, Montenegro-Landívar MF, Reig M, Vecino X, Cortina JL, Saurina J Granados M. 2022. Recovery of polyphenols from agri-food by-products: the olive oil and winery industries cases. *Foods*, 11(3): 362.

Tran N, Pham B, Le L. 2020. Bioactive compounds in anti-diabetic plants: from herbal medicine to modern drug discovery. *Biol (Basel)*, 9(9): 252.



SUDOKU DENEME DESENİNİN TARIMSAL ARAŞTIRMALARDA KULLANIMI

Buğra HOŞGÖNÜL^{1*}, Hasan ÖNDER¹

¹Ondokuz Mayıs University, Agricultural Faculty, Department of Animal Science, 55139, Samsun, Türkiye

Özet: İki yönlü heterojenliğin bulunduğu durumlarda çift yönlü bloklama işlemi olan Latin Kare deneme deseni yaygın olarak kullanılmaktadır. Denemede ikiden fazla heterojenlik bulunduğu durumlarda Latin Kare deneme desenine alternatif olarak geliştirilen Sudoku deneme deseni kullanılmaktadır. Bu sayede deneme hatasının en aza indirilmesi sağlanabilmektedir. Bu çalışmada, Tip I, Tip II, Tip III ve Tip IV Sudoku deneme desenlerine ait çözümler verilmiştir. Sudoku deneme desenleri için çözüm yapılabilmesi amacıyla Web tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılımın geliştirilmesinde ASP (Active Server Pages) yazılım dili kullanılmıştır. Sudoku deneme desenlerinin pek çok faktör ve heterojenlik kaynağının denemelerde etkili olduğu özellikle tarım gibi alanlarda çalışan bilim insanlarına faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Sodoku, Deneme deseni, Heterojenlik, Yazılım

Use of Sudoku Experimental Design in Agricultural Studies

Abstract: In the case of bi-directional heterogeneity, the Latin Square experimental design, which is a two-way blocking process, is widely used. In cases where there are more than two heterogeneities in the experiment, Sudoku experimental design which is developed as an alternative to Latin Square experimental design is used. Thus, it is possible to minimize the experimental error. In this study, the solutions of Type I, Type II, Type III and Type IV Sudoku trial designs are given. Web-based software has been developed to provide solutions for Sudoku experimental design. ASP (Active Server Pages) software language was used in the development of the software. It is thought that the Sudoku experimental design, the source of many factors and heterogeneity are effective in the experiments, can be useful especially the scientists working in fields such as agriculture.

Keywords: Sudoku, Experimental design, Heterogeneity, Software

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ondokuz Mayıs University, Agricultural Faculty, Department of Animal Science, 55139, Samsun, Türkiye

E mail: bugrahosgonul@gmail.com (B. HOŞGÖNÜL)

Buğra HOŞGÖNÜL <https://orcid.org/0009-0002-9548-3457>

Hasan ÖNDER <https://orcid.org/0000-0002-8404-8700>

Gönderi: 05 Nisan 2024

Received: April 05, 2024

Kabul: 13 Haziran 2024

Accepted: June 13, 2024

Yayınlanma: 15 Temmuz 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Hoşgönül B, Önder H. 2024. Use of Sudoku experimental design in agricultural studies. BSJ Eng Sci, 7(4): 654-661.

1. Giriş

Tarımda uygulanan denemelerde elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde objektif sonuçlara ulaşmak için istatistiki analiz yapmak ve bu analiz sonuçlarına göre yorumlamak gerekir. Çünkü bu denemelerin homojen olmasını engelleyen çevre koşulları, yaş, ırk, cinsiyet vs. gibi gözlemlere ulaşılmaktadır. Bu gözlemler arasındaki farklar deneme kurucusunun kontrolü dışında olan faktörlerden kaynaklanmaktadır. Kurulan iki denemenin birine yeni bir muamele uygulayarak elde edilen değer, muamele uygulanmayan denemeden elde edilen değerle kıyaslayıp yeni uygulanan muamele hakkında bir sonuç elde etmek zordur. Çünkü uygulanan yeni muamelenin sonucunu etkileyen ve bilinmeyen etkileri olduğu bilinmelidir (Bek ve Efe, 1989).

Aynı muamelenin uygulandığı deneme üniteleri arasındaki sonucu etkileyen ve sebebi bilinmeyen etkilerden dolayı tekrerrürler arasındaki farklılığın ölçüsüne (varyansına) deneme hatası denilmektedir (Yıldız ve Bircan, 1991).

Kurulan denemelerde kesin olarak gruplandırılmayan

faktörlerin birbirlerinden ayrı olan bireylere uygulanacak her bir bireye tüm muamelelerin uygulanması en doğru sonucu verir. Fakat bireylerin birbirlerinden ayrı olmasına sebep olan heterojenlik kaynakları uygulanan muamelelerin her bir bireye etkilerini değiştirmektedir. Söz konusu bu heterojenlik kaynakları deney hatasını artırmaktadır. Deney hatasını azaltmak için ise deneme parsellerini bloklama yöntemi ile daha güvenilir sonuçlar elde edilebilir (Düzgüneş ve ark., 1987).

Planlanan denemelerde temel amaç, üzerinde durulan değişkene etkisi olabilecek diğer faktörleri kontrol altında tutarak deneme hatasını minimuma indirmek ve böylece etkisi incelenen faktörün etkisini ortaya koyabilmektir. Deneme hatasının minimum olabilmesi için deneme materyalinin ve deneme ünitelerinin homojen olması gerekmektedir. Tamamen homojen bir deneme materyaline ve deneme ünitelerine ulaşmak çoğu zaman mümkün olmadığından, heterojenliğin sebep olabileceği etkinin hesaplanarak modelden elemine edilmesi amacıyla bloklama yapmak gerekmektedir (Önder, 2007).



Kurulan denemeye uygulanacak analizin, denemenin planına uygun ve doğru analizle denemenin homojenlik durumu, muamele sayısı, bloklama durumu gibi faktörler göz önünde bulundurularak analiz seçimi yapılmalıdır.

Tesadüf Parselleri Deneme Planı en basit deneme planıdır, muameleler tamamen tesadüfi dağılır ve deneme materyali homojen olmalıdır. Şansa bağlı dağılımda kısıtlama yoktur. Deneme üniteleri arasındaki homojenliğin yüksek olduğu durumlarda deneme materyalinin ve deneme ünitelerinin araştırmacı tarafından kontrol altında tutulabilen laboratuvar ve sera denemelerinde tesadüf parselleri deneme planı (Eşitlik 1) yaygın kullanılır (Yıldız ve Bircan, 1991).

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij} \quad (1)$$

$i = 1, 2, \dots, m$ ve $j = 1, 2, \dots, r$

Burada; μ = popülasyon ortalaması (genel ortalama etkisi), α_i = i inci muamele etkisi ve e_{ij} = tesadüfi hatayı göstermektedir.

Tesadüf Blokları Deneme Planı (Eşitlik 2) heterojenliğin tek yönlü olduğu denemelerde kullanılır. Heterojenliğin etkisi kaldırmak için bloklama yapılır. Bu deneme planında uygulanan bloklama, deneme materyalinden ve deneme ünitelerinden kaynaklanan hatanın azaltılması yoluyla deneyin hassaslığını artırır. Bazı deneylerde ekonomik, fiziksel veya çevresel nedenlerden dolayı yeteri kadar homojen deney elde edilemediğinde bu yöntemi kullanmak zorunlu hale gelmiştir. Bloklar kendi içinde homojen kabul edilir (Çelik, 2012).

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ij} \quad (2)$$

$i = 1, 2, \dots, m$ ve $j = 1, 2, \dots, r$

burada; μ = popülasyon ortalaması (genel ortalama etkisi), α_i = i'inci muamele etkisi, β_j = j'inci blokun etkisi ve e_{ij} = tesadüfi hatayı göstermektedir.

Latin Karesi Deneme Deseni (Eşitlik 3) heterojenliğin iki yönlü olduğu denemelerde kullanılır. Sıra ve sütun olarak bloklama yapılır. Bu deneme düzeninde her satır, sütun ve muamele sayısı birbirine eşit olmak zorundadır. Latin kare deneme deseni tarım ve hayvancılık denemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Derici Yıldırım ve Taşdelen, 2012).

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + e_{ijk} \quad (3)$$

$i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, r$ ve $k=1, \dots, p$

burada; μ = popülasyon ortalaması (genel ortalama etkisi), α_i = i'inci sıranın etkisi, β_j = j'inci sütunun etkisi, γ_k = k'inci muamelenin etkisi ve e_{ijk} = tesadüfi hatayı göstermektedir.

Denemede ikiden fazla heterojenlik bulunduğu durumlardan Latin Kare deneme desenine alternatif olarak geliştirilen Sudoku deneme deseni kullanılmaktadır (Subramani ve Ponnuswamy, 2009).

Subramania ve Ponnuswamy (2009) 'Construction and Analysis of Sudoku Designs' adlı yapmış olduğu bu çalışmada, Sudoku deneme deseninin tasarımlarının tanıtımı ele alınmaktadır. Sudoku deneme deseninin analizi ve uygulaması da tartışılmaktadır. Sayısal

verilerle de çözümleri gösterilmiştir.

Saba ve Sinha (2014) 'SuDoKu as an Experimental Design - Beyond the Traditional Latin Square Design' adlı yapmış olduğu çalışmada, Sudoku deneme deseni Latin kare deneme deseninin ilginç bir kombinasyonel yapısı olduğu ve denemelerde ikiden fazla heterojenlik kaynağı bulunduğu Sudoku deneme deseninin kullanılabilirliğini belirtmiştir. Sudoku deneme deseninin 3x3 alt kare (9x9) şekli yaygın olsa da, 4x4 alt kare (16x16) , 5x5 alt kare (25x25) kullanımları da mümkündür.

Danbaba ve Shehu (2016) 'On the Combined Analysis of Sudoku Square Designs with Some Common Treatments' yapmış olduğu çalışmada, deneyin Tesadüf blokları deneme deseni ve Latin kare deneme deseni ve ya Sudoku deneme deseni ile analizi yapılabildiği ve denemelerin farklı ortam koşulları, farklı mevsimlerde olmasına rağmen şartlar ne durumda olursa olsun denemenin yapılması zorunlu olduğu durumlarda bu deneme desenleri denemenin değerlendirilmesindeki sonuçların doğruluğunu arttırdığı belirtilmiştir. Dolayısıyla buda deneme sonundaki seçimin doğruluğunu artırmaktadır. Bu makalede analiz tabloları sunulmuştur. Sudoku deneme deseni Latin kare deneme deseninin ötesine geçtiği belirtilmiştir.

Tarımsal denemelerde iki yönlü heterojenlik söz konusu olduğunda Latin Kare deneme deseni oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadır. Buna alternatif olarak üretilen Sudoku deneme deseni uluslararası literatürde tarım dışı alanlarda kullanılmakta olup yerli literatür taramalarında az sayıda olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile Latin Kare deneme desenine göre üstünlükleri bulunan Sudoku deneme deseni yerli literatüre kazandırılmış ve deneme kurulumunda heterojenliğin yüksek olduğu tarımsal araştırmalar için kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışmada, daha önceki tarımsal çalışmalardan elde edilmiş veriler elde edilememiş olup, simülasyon ile veri üretilip kullanılmıştır. Deneme desenlerinin analizinde kullanılabilen bir yazılıma ulaşamadığı için Web tabanlı olarak bir analiz yazılımı geliştirilmiştir.

2.2. Yöntem

Sudoku tüm dünyada oynanan satır, sütun ve iç karelerinde birden dokuza kadar sayıların tekrar etmeksizin yerleştirilmesine dayanan bazı hücreleri dolu verilen bir zeka oyunudur. Sodoku kelimesi Japonca anlamı "sayılar sadece bir kez tekrarlanır (S ūji wa dokushin ni kagiru)" ifadesinin kısaltmasıdır. 9x9 luk bir Sudoku karesi için 6670903752021072936960 (6.6x10²¹) farklı dizilime sahip deneme deseni oluşturulabilmektedir (Subramani ve Ponnuswamy, 2009; Saba ve Sinha, 2014). Sudoku bu yapısıyla çift ya da daha fazla heterojenlik kaynağının olduğu araştırma konuları için uygun bir deneme deseni olma özelliği taşımaktadır.

Latin Kare deneme deseni tarımsal ve endüstriyel

araştırmalarda oldukça kullanışlı bir deneme deseni olup özellikle tekerrür sayısının yetersiz olduğu durumlarda faktör seviyelerinin ardışık olarak uygulanabildiği bir deneme desenidir. Genellikle çift yönlü heterojenliğin olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Bu deneme deseninde varyans analizi ikiden fazla faktörün eşzamanlı olarak değerlendirilebilmesine olanak tanımaktadır (Cochran ve Cox, 1957).

İlk Sudoku deneme deseni çalışmaları kısıtlayıcı özellik sayısının daha yüksek olduğu durumlarda Latin Kare deneme deseninin geliştirilmiş bir hali olarak tasarlanmıştır. Literatürdeki gelişmeler bu deneme deseninin çok faktörlü yapılar da kullanılabileceğini göstermiştir (Danbaba ve Shehu, 2016).

Pek çok Sudoku deseni geliştirilmiş olup bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir (Subramani ve Ponnuswamy, 2009);

2.2.1. Sudoku deseni- tip I

Deneme desenlerinin elde çözümü için aynı veri seti kullanılmış olup kullanılan veri seti Şekil 2'de verilenle aynıdır.

Bu desende sıra, sütun ve muamele etkileri Latin Kare deneme deseninde olduğu gibi varsayılmaktadır (Eşitlik 4).

$$Y_{ij(klpq)} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_k + r_l + c_p + s_q + e_{ij(klpq)} \quad (4)$$

$i, j = 1, 2, \dots, m$ ve $k, l, p, q = 1, 2, \dots, m^2$

burada μ : popülasyon ortalaması (genel ortalama etkisi), α_i = i'inci satırı bloğunun etkisi, β_j = j'inci sütun bloğunun etkisi, τ_k = k'inci muamelenin etkisi, r_l = l'inci satır etkisi, c_p = p'inci sütun etkisi, s_q = q'uncu karenin etkisi ve e_{ij} = tesadüfi hatayı göstermektedir.

Sudoku deseni- tip I için elde çözüm aşağıda verilmiştir;

- $G = \sum_{i=1}^{m^2} \sum_{j=1}^{m^2} Y_{ij}$ ve $N = m^4$
- Düzeltme Katsayısı = $\frac{G^2}{N} = \frac{1494^2}{81}$
- Genel Kareler Toplamı = $G = \sum_{i=1}^{m^2} \sum_{j=1}^{m^2} Y_{ij} - \frac{G^2}{N}$
= $(15^2 + \dots + 16^2) - DK$
= 1150
- Muamele Kareler Toplamı = $\sum_{k=1}^{m^2} \frac{Tk^2}{m^2} - \frac{G^2}{N}$
= $(149^2 + \dots + 165^2) - DK$
= 105,75
- Satır Kareler Toplamı = $\sum_{l=1}^{m^2} \frac{Rl^2}{m^2} - \frac{G^2}{N}$
= $(\frac{154^2}{9} + \dots + \frac{153^2}{9}) - DK$
= 152,44
- Sütun Kareler Toplamı = $\sum_{p=1}^{m^2} \frac{Cp^2}{m^2} - \frac{G^2}{N}$
= $(\frac{153^2}{9} + \dots + \frac{154^2}{9}) - DK$
= 123,55
- Alt Karelerin Kareler Toplamı = $\sum_{p=1}^{m^2} \frac{Sq^2}{m^2} - \frac{G^2}{N}$
= $(\frac{150^2}{9} + \dots + \frac{157^2}{9}) - DK$
= 111,11
- Büyük Satır Kareler Toplamı = $\sum_{i=1}^m \frac{RB_i^2}{m^3} - \frac{G^2}{N}$

$$= (\frac{(154+176+154)^2}{27} + \dots + \frac{(164+174+153)^2}{27}) - DK$$

$$= 25,40$$

- Büyük Sütun Kareler Toplamı = $\sum_{j=1}^m \frac{CB_j^2}{m^3} - \frac{G^2}{N}$
= $(\frac{(153+173+150)^2}{27} + \dots + \frac{(164+167+154)^2}{27}) - DK$
= 69,55

- Hata Kareler Toplamı = $\sum_{i=1}^{m^2} \sum_{j=1}^{m^2} Y_{ij}^2 - \sum_{i=1}^m \frac{RB_i^2}{m^3} - \sum_{j=1}^m \frac{CB_j^2}{m^3} - \sum_{l=1}^{m^2} \frac{Rl^2}{m^2} - \sum_{p=1}^{m^2} \frac{Cp^2}{m^2} - \sum_{k=1}^{m^2} \frac{Tk^2}{m^2} - \sum_{p=1}^{m^2} \frac{Sq^2}{m^2} + \frac{5G^2}{N}$
= $1150 - 25,39 - 69,54 - 152,43 - 123,53 - 105,76 - 111,09$
= 562,14.

2.2.2. Sudoku deseni- tip II

Bu modelde satır etkilerinin satır bloğu içinde iç-içe sınıflandırılmış olduğu varsayılmaktadır ve matematik modeli Eşitlik 5'de verilmiştir;

$$Y_{ij(klpq)} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_k + r(\alpha)_{l(i)} + c(\beta)_{p(j)} + s_q + e_{ij(klpq)} \quad (5)$$

$i, j, l, p = 1, 2, \dots, m$ ve $k, q = 1, 2, \dots, m^2$

burada μ : popülasyon ortalaması, α_i = i'inci satırı bloğunun etkisini, β_j = j'inci sütun bloğunun etkisini, τ_k = k'inci muamelenin etkisini, $r(\alpha)_{l(i)}$ = i'inci sıra bloğu içerisindeki l'inci satır etkisini, $c(\beta)_{p(j)}$ = j'inci sütun bloğu içerisindeki p'inci sütun etkisini, s_q = q'uncu karenin etkisini ve e_{ij} = tesadüfi hatayı göstermektedir.

Sudoku deseni- tip II için elde çözüm aşağıda verilmiştir;

- $G = \sum_{i=1}^{m^2} \sum_{j=1}^{m^2} Y_{ij}$ ve $N = m^4$
- Düzeltme Katsayısı = $\frac{G^2}{N} = \frac{1494^2}{81}$
- Genel Kareler Toplamı = $G = \sum_{i=1}^{m^2} \sum_{j=1}^{m^2} Y_{ij} - \frac{G^2}{N}$
= $(15^2 + \dots + 16^2) - DK$
= 1150
- Muamele Kareler Toplamı = $\sum_{k=1}^{m^2} \frac{Tk^2}{m^2} - \frac{G^2}{N}$
= $(149^2 + \dots + 165^2) - DK$
= 105,75
- Satır İçi Satır Kareler Toplamı = $\sum_{i=1}^{m^2} \frac{RL^2}{m^2} - \sum_{i=1}^m \frac{RB_i^2}{m^3}$
= $(\frac{154^2}{9} + \dots + \frac{153^2}{9}) - (\frac{(154+176+154)^2}{27} + \dots + \frac{(164+174+153)^2}{27})$
= 127,03
- Sütun İçi Sütun Kareler Toplamı = $\sum_{p=1}^{m^2} \frac{Cp^2}{m^2} - \sum_{j=1}^m \frac{CB_j^2}{m^3}$
= $(\frac{153^2}{9} + \dots + \frac{154^2}{9}) - (\frac{(153+173+150)^2}{27} + \dots + \frac{(164+167+154)^2}{27})$
= 54
- Alt Karelerin Kareler Toplamı = $\sum_{p=1}^{m^2} \frac{Sq^2}{m^2} - \frac{G^2}{N}$
= $(\frac{150^2}{9} + \dots + \frac{157^2}{9}) - DK$
= 111,11
- Büyük Satır Kareler Toplamı = $\sum_{i=1}^m \frac{RB_i^2}{m^3} - \frac{G^2}{N}$
= $(\frac{(154+176+154)^2}{27} + \dots + \frac{(164+174+153)^2}{27}) - DK$
= 25,40
- Büyük Sütun Kareler Toplamı = $\sum_{j=1}^m \frac{CB_j^2}{m^3} - \frac{G^2}{N}$

$$= \left(\frac{(153+173+150)^2}{27} + \dots + \frac{(164+167+154)^2}{27} \right) - DK$$

$$= 69,55$$

- Hata Kareler Toplamı = $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m Y_{ij}^2 - \sum_{i=1}^m \frac{RI^2}{m^2}$
 $- \sum_{p=1}^m \frac{Cp^2}{m^2} - \sum_{k=1}^m \frac{Tk^2}{m^2} - \sum_{p=1}^m \frac{Sq^2}{m^2} + \frac{3G^2}{N}$
 $= 1150 - 152,44 - 123,55 - 105,77 - 111,11$
 $= 657,11.$

2.2.3. Sudoku deseni- tip III

Bu model için matematik modeli Eşitlik 6'da verilmiştir

$$Y_{ij(klpq)} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_k + r_l + c_p + s(\alpha)_{q(i)} + \delta(\beta)_{r(j)} + e_{ij(klpqr)} \quad (6)$$

$i, j, q, r = 1, 2, \dots, m$ ve $k, l, p = 1, 2, \dots, m^2$

burada; μ : popülasyon ortalaması (genel ortalama etkisi), α_i = i'inci satır bloğunun etkisini, β_j = j'inci sütun bloğunun etkisini, τ_k = k'inci muamelenin etkisini, r_l = l'inci satır etkisini, c_p = p'inci sütun etkisini, $s(\alpha)_{q(i)}$ = i'inci satır bloğunda sınıflanmış q'uncu sıra kare etkisini, $\delta(\beta)_{r(j)}$ = j'inci sütun bloğunda sınıflanmış r'inci sütun kare etkisini, ve e_{ij} = tesadüfi hatayı göstermektedir.

Sudoku deseni- tip III için elde çözüm aşağıda verilmiştir;

- $G = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m Y_{ij}$ ve $N = m^4$
- Düzeltilme Katsayısı = $\frac{G^2}{N}$
 $= \frac{1494^2}{81}$
- Genel Kareler Toplamı = $G = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m Y_{ij} - \frac{G^2}{N}$
 $= (15^2 + \dots + 16^2) - DK$
 $= 1150$
- Muamele Kareler Toplamı = $\sum_{k=1}^m \frac{Tk^2}{m^2} - \frac{G^2}{N}$
 $= (149^2 + \dots + 165^2) - DK$
 $= 105,75$
- Satır Kareler Toplamı = $\sum_{i=1}^m \frac{RI^2}{m^2} - \frac{G^2}{N}$
 $= \left(\frac{154^2}{9} + \dots + \frac{153^2}{9} \right) - DK$
 $= 152,44$
- Sütun Kareler Toplamı = $\sum_{p=1}^m \frac{Cp^2}{m^2} - \frac{G^2}{N}$
 $= \left(\frac{153^2}{9} + \dots + \frac{154^2}{9} \right) - DK$
 $= 123,55$
- Büyük Satır Kareler Toplamı = $\sum_{i=1}^m \frac{RB_i^2}{m^3} - \frac{G^2}{N}$
 $= \left(\frac{(154+176+154)^2}{27} + \dots + \frac{(164+174+153)^2}{27} \right) - DK$
 $= 25,40$
- Büyük Sütun Kareler Toplamı = $\sum_{j=1}^m \frac{CB_j^2}{m^3} - \frac{G^2}{N}$
 $= \left(\frac{(153+173+150)^2}{27} + \dots + \frac{(164+167+154)^2}{27} \right) - DK$
 $= 69,55$
- Satır İçindeki Alt Karelerin Kareler Toplamı = $\sum_{p=1}^m \frac{Sq^2}{m^2} - \sum_{i=1}^m \frac{RB_i^2}{m^3}$
 $= \left(\frac{150^2}{9} + \dots + \frac{157^2}{9} \right) - \left(\frac{(154+176+154)^2}{27} + \dots + \frac{(164+174+153)^2}{27} \right)$
 $= 85,70$
- Sütun İçindeki Alt Karelerin Kareler Toplamı = $\sum_{p=1}^m \frac{\delta_{r(j)}^2}{m^2} - \sum_{j=1}^m \frac{CB_j^2}{m^3}$

$$= \left(\frac{150^2}{9} + \dots + \frac{157^2}{9} \right) - \left(\frac{(153+173+150)^2}{27} + \dots + \frac{(164+167+154)^2}{27} \right)$$

$$= 41,55$$

- Hata Kareler Toplamı = $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m Y_{ij} - \sum_{i=1}^m \frac{RI^2}{m^2}$
 $- \sum_{p=1}^m \frac{Cp^2}{m^2} - \sum_{k=1}^m \frac{Tk^2}{m^2} - \sum_{p=1}^m \frac{Sq^2}{m^2} - \sum_{p=1}^m \frac{\delta_{r(j)}^2}{m^2} + \frac{4G^2}{N}$
 $= 1150 - 152,44 - 123,55 - 105,77 - 85,70 - 41,55$
 $= 640,96.$

2.2.4. Sudoku deseni- tip IV

Bu model için matematik modeli Eşitlik 7'de verilmiştir

$$Y_{ij(klpq)} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_k + r(\alpha)_{l(i)} + c(\beta)_{p(j)} + s(\alpha)_{q(i)} + \delta(\beta)_{r(j)} + e_{ij(klpqr)} \quad (7)$$

$i, j, q, r = 1, 2, \dots, m$ ve $k, l, p = 1, 2, \dots, m^2$

burada; μ = popülasyon ortalaması (genel ortalama etkisi), α_i = i'inci satır bloğunun etkisini, β_j = j'inci sütun bloğunun etkisini, τ_k = k'inci muamelenin etkisini, $r(\alpha)_{l(i)}$ = i'inci satır bloğunda sınıflanmış l'inci sıra etkisini, $c(\beta)_{p(j)}$ = j'inci sütun bloğunda sınıflanmış p'inci sütun etkisini, $s(\alpha)_{q(i)}$ = i'inci satır bloğunda sınıflanmış q'uncu sıra kare etkisini, $\delta(\beta)_{r(j)}$ = j'inci sütun bloğunda sınıflanmış r'inci sütun kare etkisini ve e_{ij} = tesadüfi hatayı göstermektedir.

Sudoku deseni- tip IV için elde çözüm aşağıda verilmiştir;

- $G = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m Y_{ij}$ ve $N = m^4$
- Düzeltilme Katsayısı = $\frac{G^2}{N}$
 $= \frac{1494^2}{81}$
- Genel Kareler Toplamı = $G = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m Y_{ij} - \frac{G^2}{N}$
 $= (15^2 + \dots + 16^2) - DK$
 $= 1150$
- Muamele Kareler Toplamı = $\sum_{k=1}^m \frac{Tk^2}{m^2} - \frac{G^2}{N}$
 $= (149^2 + \dots + 165^2) - DK$
 $= 105,75$
- Büyük Satır Kareler Toplamı = $\sum_{i=1}^m \frac{RB_i^2}{m^3} - \frac{G^2}{N}$
 $= \left(\frac{(154+176+154)^2}{27} + \dots + \frac{(164+174+153)^2}{27} \right) - DK$
 $= 25,40$
- Büyük Sütun Kareler Toplamı = $\sum_{j=1}^m \frac{CB_j^2}{m^3} - \frac{G^2}{N}$
 $= \left(\frac{(153+173+150)^2}{27} + \dots + \frac{(164+167+154)^2}{27} \right) - DK$
 $= 69,55$
- Satır İçi Satır Kareler Toplamı = $\sum_{i=1}^m \frac{RI^2}{m^2} - \sum_{i=1}^m \frac{RB_i^2}{m^3}$
 $= \left(\frac{154^2}{9} + \dots + \frac{153^2}{9} \right) - \left(\frac{(154+176+154)^2}{27} + \dots + \frac{(164+174+153)^2}{27} \right)$
 $= 127,03$
- Sütun İçi Sütun Kareler Toplamı = $\sum_{p=1}^m \frac{Cp^2}{m^2} - \sum_{j=1}^m \frac{CB_j^2}{m^3}$
 $= \left(\frac{153^2}{9} + \dots + \frac{154^2}{9} \right) - \left(\frac{(153+173+150)^2}{27} + \dots + \frac{(164+167+154)^2}{27} \right)$
 $= 54$
- Satır İçindeki Alt Karelerin Kareler Toplamı = $\sum_{p=1}^m \frac{Sq^2}{m^2} - \sum_{i=1}^m \frac{RB_i^2}{m^3}$
 $= \left(\frac{150^2}{9} + \dots + \frac{157^2}{9} \right) - \left(\frac{(154+176+154)^2}{27} + \dots + \frac{(164+174+153)^2}{27} \right)$

= 85,70

• Sütun İçindeki Alt Karelerin Kareler Toplamı =

$$\sum_{p=1}^{m^2} \frac{\delta_{r(j)}^2}{m^2} - \sum_{j=1}^m \frac{CB_j^2}{m^3}$$

$$= \left(\frac{150^2}{9} + \dots + \frac{157^2}{9} \right) - \left(\frac{(153+173+150)^2}{27} + \dots + \frac{(164+167+154)^2}{27} \right)$$

= 41,55

• Hata Kareler Toplamı = $\sum_{i=1}^{m^2} \sum_{j=1}^{m^2} Y_{ij} - \sum_{i=1}^m \frac{RB_i^2}{m^3}$

$$- \sum_{j=1}^m \frac{CB_j^2}{m^3} - \sum_{i=1}^{m^2} \frac{RL^2}{m^2} - \sum_{p=1}^{m^2} \frac{CP^2}{m^2} - \sum_{k=1}^{m^2} \frac{TK^2}{m^2} - \sum_{p=1}^{m^2} \frac{SQ^2}{m^2}$$

$$- \sum_{p=1}^{m^2} \frac{\delta_{r(j)}^2}{m^2} + \frac{2G^2}{N}$$

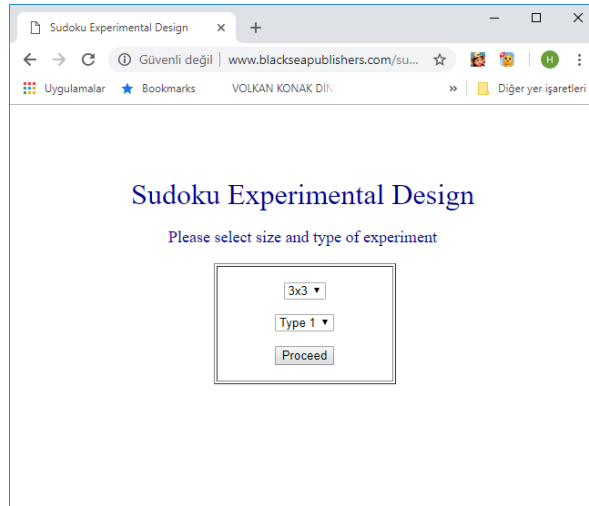
= 1150 - 105,75 - 25,40 - 69,55 - 127,03 - 54 - 85,70 - 41,55 = 640,96.

4. Sudoku Deneme Deseninın Çözümü İçin Web Tabanlı Yazılım

Yapılan taramalarda Sudoku deneme deseninın çözümü için herhangi bir yazılıma rastlanmamıştır. Bu nedenle ASP dili kullanılarak Web tabanlı bir yazılım geliştirilmiş olup <http://www.blackseapublishers.com/sudoku/> adresinde yayınlanmıştır. Yazılımın dünya genelinde kullanılabilmesi için yazılımın dili İngilizce olarak belirlenmiştir. Şekil 1 'de giriş sayfası verilmiştir.

Giriş sayfasında deneme deseninın boyutu 3x3 ya da 4x4 olarak seçilebilmektedir. "Proceed" düğmesi tıklandığında ilgili deneme deseni için veri giriş sayfası açılmaktadır. Örnek olarak 3x3 boyutunda Sudoku deneme deseni için Type I uygulaması seçilmiştir. Uygulama sayfası için örnek ekran görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir.

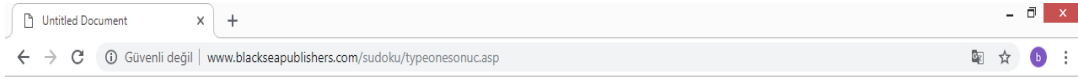
Şekil 2'de verilen görüntüde "CALCULATE" butonuna basıldığında hesaplama işlemleri yapılmakta ve sonuçlar Şekil 3'te verildiği şekilde elde edilmektedir.



Şekil 1. Giriş sayfası.



Şekil 2. Type I Sudoku deneme deseni için 3x3 lük karede örnek uygulama sayfası.



SUDOKU DESİGNS	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Squares	F-ratio	Table Value %5	Table Value %1
Treatments	105,778	8	13,222	1,035	2.18	2.95
Row Blocks	25,407	2	12,704	0,994	3.23	5.12
Column Blocks	69,556	2	34,778	2,722	3.23	5.12
Row	152,444	8	19,056	1,492	2.18	2.95
Column	123,556	8	15,444	1,209	2.18	2.95
Squares	111,111	8	13,889	1,087	2.18	2.95
Error	562,148	44	12,776			
Total	1150	80				

Comment 1 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 2 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 3 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 4 = Treatment effect was found statistically insignificant.

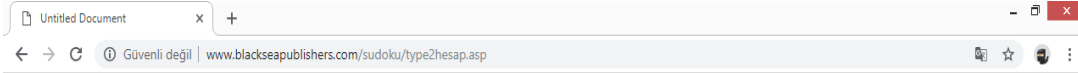
Comment 5 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 6 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Şekil 3. Type I Sudoku deneme deseni için 3x3 lük karede örnek uygulamla sonuçları.

Giriş sayfasında Type II seçilmesi durumunda elde edilen sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. Giriş sayfasında Type III seçilmesi durumunda elde edilen sonuçlar Şekil 5'te

verilmiştir. Giriş sayfasında Type IV seçilmesi durumunda elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir.



SUDOKU DESİGNS	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Squares	F-ratio	Table Value %5	Table Value %1
Treatments	105,778	8	13,222	0,966	2.18	2.94
Row Blocks	25,407	2	12,704	0,928	3.23	5.11
Column Blocks	69,556	2	34,778	2,54	3.23	5.11
Rows within BR	127,037	6	21,173	1,547	2.34	3.23
Column within BC	54	6	9	0,657	2.34	3.23
Squares	111,111	8	13,889	1,015	2.18	2.94
Error	657,111	48	13,69			
Total	1150	80				

Comment 1 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 2 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 3 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 4 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 5 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 6 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Şekil 4. Type II Sudoku deneme deseni için 3x3 lük karede örnek uygulamla sonuçları.

SUDOKU DESIGNS	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Squares	F-ratio	Tablo Value %5	Tablo Value %1
Treatments	105,778	8	13,222	0,825	2.18	2.99
Row Blocks	25,407	2	12,704	0,793	3.23	5.18
Column Blocks	69,556	2	34,778	2,17	3.23	5.18
Row	152,444	8	19,056	1,189	2.18	2.99
Column	123,556	8	15,444	0,964	2.18	2.99
H_Squares within RB	85,704	6	14,284	0,891	2.34	3.29
V_Squares within CB	41,555	6	6,926	0,432	2.34	3.29
Error	640,963	40	16,024			
Total	1150	80				

Comment 1 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 2 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 3 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 4 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 5 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 6 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 7 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Şekil 5. Type III Sudoku deneme deseni için 3x3 lük karede örnek uygulama sonuçları.

← → ↻ ⓘ localhost/sudoku/sudoku/sudoku/type4hesap.asp

SUDOKU DESIGNS	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Squares	F-ratio	Tablo Value %5	Tablo Value %1
Treatments	105,778	8	13,222	0,908	2.18	2.95
Row Blocks	25,407	2	12,704	0,872	3.23	5.12
Column Blocks	69,556	2	34,778	2,387	3.23	5.12
Rows within BR	127,037	6	25,407	1,744	2.34	3.24
Column within BC	54	6	20,593	1,414	2.34	3.24
H_Squares within RB	85,704	6	14,284	0,981	2.34	3.24
V_Squares within CB	41,555	6	6,926	0,475	2.34	3.24
Error	640,963	44	14,567			
Total	1150	80				

Comment 1 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 2 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 3 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 4 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 5 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 6 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Comment 7 = Treatment effect was found statistically insignificant.

Şekil 6. Type IV Sudoku deneme deseni için 3x3 lük karede örnek uygulama sonuçları.

5. Tartışma ve Sonuç

Çok fazla heterojenlik kaynağı barındıran denemelerde söz konusu heterojenlik kaynaklarının etkisinin hesaplanarak hata üzerindeki paylarının hesaplanmasını ve böylece deneme hatasının en aza indirilmesini sağlayabilen Sudoku deneme desenlerinin çözümü üzerine yapılan bu çalışmada gerekli görülen lüzum üzerine Web tabanlı bir yazılımda geliştirilmiştir. Yazılımın dili uluslararası kullanılabilirliğini artırmak amacıyla İngilizce olarak belirlenmiştir.

Sudoku deneme desenlerinin pek çok faktör ve heterojenlik kaynağının denemelerde etkili olduğu özellikle tarım gibi alanlarda çalışan bilim insanlarına faydalı olacağı düşünülmektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	B.H.	H.Ö.
K	30	70
T	80	20
Y	10	90
VTI	100	
VAY	90	10
KT	80	20
YZ	90	10
KI	90	10
GR	100	
PY	50	50
FA		100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Proje Yönetim Ofisi tarafından PYO.ZRT.1904.17.047 kodlu proje kapsamında desteklenmiş olup birinci yazarın yüksek lisans tezinden özetlenmiştir.

Kaynaklar

- Bek Y, Efe E. 1989. Araştırma ve Deneme Metodları 1. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Adana, Türkiye, pp: 71.
- Cochran WG, Cox GM. 1957. Experimental Designs, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, US, pp: 471.
- Çelik Ş. 2012. Tesadüf blokları deneylerde tam gözlemle kayıp gözlemi tahmin ederek nispi etkinliğin karşılaştırılması: Tarım verilerinde uygulaması. Iğdır Univ J Inst Sci Tech, 2(4): 49-54.
- Danbaba A, Shehu A. 2016. On the combined analysis of sudoku square designs with some common treatments. Int J Stat Appl, 6(6): 347-351.
- Derici Yıldırım D, Taşdelen B. 2012. Deneysel araştırmalarda latin kare deneme düzenlerinin kullanımı. Mersin Üniv Sağlık Bil Derg, 5(2): 2-4.
- Düzgüneş O, Kesici T, Kavuncu F. 1987. Araştırma ve deneme metodları (İstatistik Metodları-II). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara, Türkiye, pp: 33-48.
- Önder H. 2007. Using permutation tests to reduce type I and II errors for small ruminant research. J Appl Anim Res, 32(1): 69-72.
- Saba MFA, Sinha BK. 2014. SuDoKu as an experimental design - Beyond the traditional latin square design. Int J Stat Appl, 12(1): 15-20.
- Subramani J, Ponnuswamy KN. 2009. Construction and analysis of sudoku designs. Model Assist Stat Appl 4: 287-301.
- Yıldız N, Bircan H. 1991. Araştırma ve deneme metodları. Ankara Üniversitesi Yayınları, Ankara, Türkiye, pp: 1-9.



ALTERNATİF AKIM MİKRO-ŞEBEKELERDE ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN KONUM OPTİMİZASYONU

Tuncay ALTUN^{1*}

¹Yozgat Bozok University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, 66900, Yozgat, Türkiye

Özet: Bu çalışma, üretim yöntemleri ve tüketim davranışlarına göre elektrik üretim maliyetlerini en aza indirmek ve geleneksel üretim profilini düzeltmek için alternatif akım (AA) mikro-şebekedeki enerji depolama sistemlerinin optimum konumlandırılması problemi ele almaktadır. Dağıtım şebekelerinin fiziksel ve operasyonel kısıtlarının yanında üretim santrallerindeki kısıtlarda probleme dahil edilmiştir. Geleneksel üretim santralleri gibi düzenli üretim aralıklarına sahip santrallerin yanı sıra rüzgâr türbinleri gibi düzensiz üretim aralıklarına sahip yenilenebilir enerji kaynakları da AA mikro-şebeke yapısına dahil edilerek enerji depolama sistemlerinin optimal konumlandırılması problemi genişletilmiştir. Problemin doğrusal ve konveks olmayan kısıtları göz önüne alındığında çözümünü mümkün kılmak için güç akış denklemlerinin bir üst boyut uzayında ifade edilmesi gerekmektedir. Konveks ve doğrusal olmayan güç akış denklemleri ve ikili karar değişkenini içeren enerji depolama sistemlerinin konumlandırılması için karmaşık tam sayılı doğrusal olmayan programlama çerçevesi geliştirilmiştir. Enerji depolama sistemlerinin konumlandırılmasının optimum olarak bulunması, geleneksel üreteçlerin üretim profillerinin düzeltilmesini sağlar ve şebekede enerji sürekliliğinin sağlanmasında kritik rol oynar. Önerilen optimum enerji depolama sisteminin yerleşimi algoritması, IEEE 9-baralı test sistemine uygulanarak performansı doğrulanmıştır.

Anahtar kelimeler: AA mikro-şebekeler, Enerji depolama sistemleri, Karmaşık tam sayılı doğrusal olmayan programlama, Karmaşık tam sayılı ikinci dereceden konik programlama, Konveks optimizasyon


Optimal Location of Energy Storage Systems on Alternative Current Micro-grids

Abstract: This study addresses the problem of optimal positioning of energy storage systems in the AA micro-grids to minimize electrical generation costs and smooth the conventional generation profile based on generation methods and consumption behaviors. In addition to the physical and operational restrictions of distribution networks, restrictions in generation plants are also included in the problem formulation. The problem has been expanded by including power plants with regular generation intervals, such as traditional power plants, as well as renewable energy sources with irregular generation intervals, such as wind turbines, in alternative current (AC) micro-grids. In order to make the problem considering the non-convex and non-linear constraints solvable, reformulation of the power flow equations is needed to reformulate in higher dimensional space. A mixed-integer non-linear programming framework for handling the non-convex power flow equations, and binary decision variables accounting for the energy storage system placement has been developed. Obtaining optimal location of energy storage systems plays a critical role in smoothing the conventional generation profile and maintains energy reliability. The performance of the proposed optimal energy storage placement algorithm has been verified on IEEE 9-bus benchmark.

Keywords: AC Micro-grids, Energy storage systems, Mixed-integer non-linear programming, Mixed-integer second order-cone programming, Convex optimization

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Yozgat Bozok University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical and Electronics Engineering, 66900, Yozgat, Türkiye

E mail: tuncay.altun@yobu.edu.tr (T. ALTUN)

Tuncay ALTUN  <https://orcid.org/0000-0003-1499-3384>

Gönderi: 24 Mayıs 2024

Kabul: 23 Haziran 2024

Yayınlanma: 15 Temmuz 2024

Received: May 24, 2024

Accepted: June 23, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Altun T. 2024. Optimal location of energy storage systems on alternative current micro-grids. BSJ Eng Sci, 7(4): 662-671.

1. Giriş

Güç sistemlerindeki problemler üç başlık altında sınıflandırılmıştır. Güç akışı, ekonomik dağıtım ve optimal güç akışıdır. Güç akışı veya diğer bir ifadeyle yük akışı kontrolünde problem tanımı; üretim, yük ve iletim ağı denklemlerinden oluşmaktadır. Güç akışı yöntemlerinin analizi matematiksel olarak ifade edilebilir. Ancak fiziksel ve optimal olarak mümkün olmayan çözümler önerir. Güç sistemlerinde önemli olan diğer bir problem ekonomik güç dağıtımıdır. Güç dağıtım

hesaplamalarında en düşük maliyetin belirlenmesi için çeşitli parametreler ile problem formülize edilir. Ancak bu formüller, güç akışı kısıtlarını etkileyerek güç akışı kontrolünün basitleştirilmesine hatta bazı güç akışında önemli parametrelerin ihmal edilmesine neden olabilir. Bu durum güç sistemlerinin kararlı çalışmasını tehlikeye sokabilir. Optimal güç akışı (OGA) ile güç sistemlerinin kararlılığını bozmadan en düşük maliyetli dağıtım amaçlanmaktadır. Bu durum güvenlik kısıtlı ekonomik dağıtım olarak da adlandırılır. OGA'da güç akışı kısıtları,



jeneratör minimum çıkış kısıtları, iletim hattı kararlılığı, gerilim kısıtları, fiziksel kısıtlar ve operasyonel kısıtlar ile amaç fonksiyonuna en uygun çözüm bulunması hedeflenmektedir. OGA'daki tüm bu kısıtlar ile amaç fonksiyonunun çözümü için farklı analiz yöntemleri bulunmaktadır.

Güç sistemlerinde güç akışı problemleri ve çözüm önerileri 1930'ların başlarında şebekelerin ekonomik dağıtım yapmasının sağlanması amacıyla ele alınmıştır (Happ, 1977). O yıllarda ekonomik dağıtım hesaplama süresinin uzun olması uygulanabilirliğini azaltmıştır. OGA problemi ilk olarak 1960'larda formülüze edilmesine rağmen çözümündeki zorluklar tam olarak uygulanabilmesini zorlaştırmıştır (Carpentier, 1977). OGA probleminin çözümünde lineer çözümler problemin lineer kısımları için kullanılabilmesine rağmen lineer olmayan denklem ve terimler için önerilen çözümler yetersiz kalmıştır. Ayrıca lineer olmayan terimlerin tam olarak ifade edilememesi çözümün problem formülasyonunun doğruluğunu da azaltmıştır. Tüm bu nedenlerden dolayı problemlerin çözümünün elde edilmesi ağır işlem yükü getirirken, lineer olmayan yaklaşımlardan dolayı sadece küçük ölçekli uygulamalarda tercih edilmiştir. Bu durum elektrik dağıtım şebekelerinin arz-talep dengesinin planlanmasını ve kontrol edilmesini zorlaştırmıştır.

Elektrik dağıtım şebekelerinde tüketimin dengeli olmaması ve yük tahminlerinin yapılamaması beraberinde birçok problemi getirmektedir. Güç taleplerinin belli saat dilimlerinde yoğunlaşması enerji arzı, maliyet, yük akış kontrolü gibi problemlere neden olmaktadır. Gerek enerji maliyetlerini azaltmak gerekse de temiz enerji kullanımının artırılması için yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmaktadır. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarındaki enerji üretimi toplam talebe yetecek olsa bile, puant saatlerdeki kullanımı karşılayacak arz güvenliğini sunamamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki düzenli olmayan enerji üretim profili, enerji talep profilini karşılayamamaktadır. Özellikle puant saatlerde ortalamadan çok üstünde enerji ihtiyacı oluşmaktadır. Bu problemin aşılması için son yıllarda güç dağıtım sistemlerinde entegre enerji depolama sistemlerinin kullanımı artmaktadır. Enerji depolama sistemlerinin kullanımı ile tüketim maliyetleri azaltılmasının yanında arz güvenliği kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr türbinlerinin düzensiz ve tahmin edilemeyen enerji üretim profili, güneş panellerinin ise sadece tüketimin az olduğu saat dilimlerindeki enerji üretimi enerjinin depolanması zorunluluğunu getirmiştir. Bu nedenle enerji depolama sistemleri, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının olduğu güç dağıtım sistemlerinde önemli rol oynamaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı güç sistemlerinde depolama sistemlerinin yenilenebilir enerji kaynakları ile kullanılması arz güvenliğinin artırılması (Nojavan ve ark., 2017), sistemdeki voltaj regülasyonunun sağlanması (Nick ve ark., 2017), tepe

noktalarının azaltılması (Fossati ve ark., 2015), yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin kullanılması (Stecca ve ark., 2020) ve tahmin hatalarının azaltılması (Reddy ve ark., 2018) gibi çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bu amaçla güç sistemlerinde enerji depolama sistemlerinin kullanımıyla yenilenebilir enerji tabanlı sistemlerin faydalarının artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, enerji depolama sistemlerinin konumlandırma problemi yerine boyutları ve kayıplar konusu ele alınmıştır (Morstyn ve ark., 2017; Hannan ve ark., 2020). Ancak gerçekte enerji depolama sistemlerinin yüksek yatırım maliyetlerinden kaynaklı optimum olmayan konumlandırılması beklenen faydaları sağlayamamıştır. Bu nedenle, enerji depolama sistemlerinin optimum konumlandırılmasıyla güç dağıtım sistemlerindeki avantajların artırılması amaçlanmıştır. Güç dağıtım sistemlerinde enerji depolama sistemlerinin kullanımı ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda; güç kayıplarının azaltılması için whale optimizasyon algoritması (WOA) (Calderaro ve ark., 2013), meta-sezgisel tabanlı genetik algoritma (GA) (Dutta ve Sharma, 2012) ve parçacık sürü algoritması (PSO) (Karimi ve ark., 2014) kullanılmıştır. Sistem kayıplarını en aza indirmek ve enerji depolama sistemlerinin boyutlarını optimize etmek için kullanılan bu çalışmalarda geleneksel üretim profilinin düzleştirilmesi amaçlanmıştır. Ancak bu çalışmalarda da toplam maliyetin azaltılmasına yönelik enerji depolama sistemlerinin şarj/deşarj performansı dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla literatürde, enerji depolama sistemlerinin sisteminin konumu seçilirken yenilenebilir bir enerji kaynağı veya büyük bir yükün bağlandığı bara seçilmiştir. Çalışmalarda kayıpların azaltılması veya diğer kazanımlar için enerji depolama sistemlerinin boyutlandırılmasına odaklanılmıştır. Esas olarak toplam maliyeti azaltmak için enerji depolama sistemlerinin konumunun belirlenmesi göz ardı edilmiştir.

Güç dağıtım sistemlerinde toplam maliyetin azaltılması, yük profilinin düzleştirilmesi ve güç planlamalarının yapılabilmesi için enerji depolama sistemlerinin konumlandırılması problemi ortaya çıkmaktadır. Optimum enerji depolama sistemlerinin konumlandırma problemi karmaşık tam sayılı doğrusal olmayan programlama modeline ile ifade edilebilir. Ancak bu problemin çözümünde dışbükey olmayan güç akışı denklemleri ve baralara yerleştirilecek enerji depolama sistemlerinin miktarlarının belirlenmesindeki ikili değişkenler nedeniyle zordur (Kim ve Dvorkin, 2018; Wong ve ark., 2019). Problemin çözümü için yapılan çalışmalarda, doğrusal yaklaşımlar (Zidar ve ark., 2016; Dui ve ark., 2017; Yang ve ark., 2018), ve optimizasyon yöntemleri kullanılmıştır (Guo ve ark., 2021; Byrne ve ark., 2017; Li ve ark., 2022; Yang ve ark., 2023). Ancak bu çözümler sistemin fiziksel yapısını tam olarak temsil edememektedir. Bu nedenle güç akışı denklemlerindeki konveks olmayan ifadelerin çözümü için bazı yaklaşık yöntemler ve eşdeğer yaklaşımlar kullanılır (Huang ve ark., 2016; Huang ve ark., 2022). Bu çalışmada, enerji

depolama sistemlerinin rüzgâr türbin santrali ile kullanıldığı AA mikro-şebekelerde OGA probleminin çözümü ele alınmıştır. Problemin çözümü için ilk olarak konveks gevşetme yöntemleri uygulanmıştır. Böylelikle çözüm kolaylaştırılmıştır. Daha sonra ikinci dereceden konik programlama (SOCP-Second-Order-Cone-Programming) ve yarı kesin programlama (SDP-Semidefinite Programming) yöntemleri ile çözüm tamamlanmıştır (Kekatos ve ark., 2014; Tian ve ark., 2016; Zia ve ark., 2019).

Çalışma neticesinde güç dağıtım sisteminde geleneksel üretim profilinin düzleştirilmesiyle günlük enerji maliyetinin minimize edilmesi için enerji depolama sistemlerinin konumunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada, ikinci dereceden non-linear güç akışı denklemleri ve enerji depolama sistemlerinin hangi barada olacağı kararının verileceği ikili karar değişkenleri nedeniyle formülasyonda karmaşık tam sayılı doğrusal olmayan programlama (MINLP-mixed integer nonlinear programming) kullanılmıştır. İkinci aşamada problem, karışık tam sayılı ikinci dereceden koni programlamaya (MISOCP- mixed integer second-order cone programming) dönüştürülmüştür. Sonuç olarak elde edilen algoritma ile AA mikro-şebekelerdeki tüm fiziksel ve operasyonel kısıtlar ile sistemdeki jeneratörlerin üretim miktarları, yenilenebilir enerji kaynakları ile en düşük maliyet için uygun enerji depolama sistemlerinin konumunun belirlenmesine karar vermektedir.

Bu makalenin bir sonraki kısmında izlenecek metod açıklanmıştır. 3. başlıkta bulgular ve tartışmalara yer verilmiştir. 4. Kısımda sonuçlardan bahsedilerek makale tamamlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, bir AA-mikro şebekedeki yenilenebilir enerji kaynaklı dengesiz enerji üretimini enerji depolama sistemleriyle düzelterek toplam maliyeti azaltmak için tasarlanmıştır. Toplam maliyetin azaltılmasının yanı sıra enerji güvenilirliğinin ve sürdürülebilirliğinin artırılması amacıyla rüzgâr türbinlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarından kullanılması amaçlanmaktadır. Bu nedenle, AA mikro-şebekesindeki rüzgâr türbini güç

sistemleri ve enerji depolama sistemlerinin güç dağıtım sistemindeki konumu için kullanılan matematiksel denklemler aşağıdaki alt bölümlerde sunulmaktadır.

2.1. Rüzgâr Türbini Enerjisi

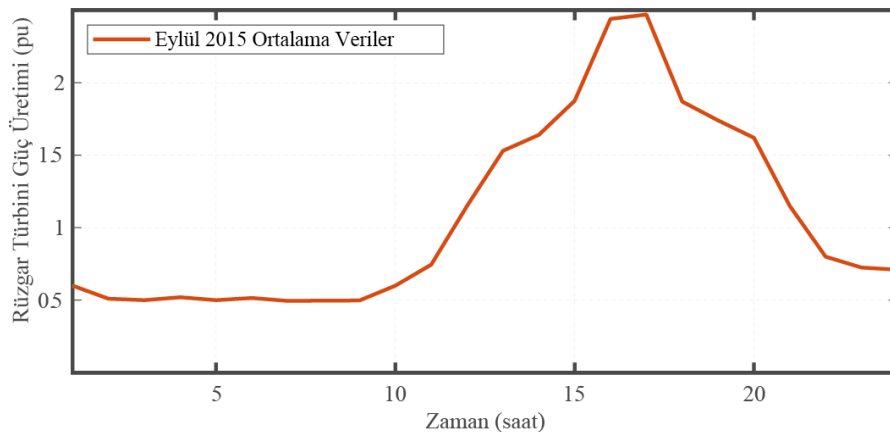
Rüzgâr, yeryüzünün eşit olmayan şekilde ısınması ve soğuması sonucu oluşan hava hareketleridir. Rüzgâr enerjisi ise rüzgârı oluşturan hava akımının hareket enerjisidir. Günümüzde enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve fosil yakıtların azaltılması amacıyla elektrik üretiminde rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Rüzgâr türbinleri rüzgardaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye, daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Ancak üretilen enerjinin hava akımlarına bağlı olması düzensiz enerji üretimine neden olmaktadır. Rüzgâr türbinlerinin kullanıldığı enerji dağıtım sistemlerinde bu önemli bir dezavantajdır. Bu nedenle enerji üretimi ve talep profili düzensiz olan güç dağıtım sistemlerinde enerji depolama sistemlerinin kullanılması önemlidir.

Çalışmada, Sivas ili Kangal ilçesindeki rüzgâr türbinlerinden Eylül 2015'te üretilen enerjinin aylık üretim verilerinin 24 saatlik ortalaması kullanılmıştır. Bu veriler, IEEE test veri setlerindeki geleneksel enerji kaynaklarından biriyle değiştirilmiştir. Çalışmada kullanılan rüzgâr türbininden üretilen enerji miktarı birim (pu) değerlerine göre Şekil 1'de gösterilmektedir.

2.2. Enerji Depolama Sistemlerinin Konumlandırılması

Enerji depolama sistemlerinin optimum konumu öncelikle bir MINLP problemi olarak formüle edilmiştir. Daha sonra problem, MINLP yerine dal-sınır ile uyumlu ikili değişkenlerin kullanımına olanak sağlayan MISOCP ile yeniden formülize edilmiştir. Böylelikle enerji depolama sistemlerinin şarj/deşarj anları güç elektroniği yarı iletken kontrol elemanları kullanılarak devreye alınabilecek veya devreden çıkarılabilecektir.

Güç dağıtım sistemlerinde enerji depolama sistemlerinin konumu OGA çözümlerinde olduğu gibi MINLP formülü (Kayacak ve Kocuk, 2020) ile belirtilebilir. OGA problemi, güç dağıtım sisteminde maliyetin düşürülmesi için enerji depolama sistemlerinin konumu problemine dönüştürülmüştür.



Şekil 1. Rüzgâr Türbini Güç Üretiminin bir günlük profili.

Bunun için üretim santralinde enerji maliyeti yüksek iken enerji depolama sistemlerinin deşarj olması, üretim maliyeti düşük olduğunda enerji depolama sistemlerini şarj etmeyi planlayan bir zamanlama problemine dönüştürmektedir (Alsharif ve ark., 2022; Kazemi ve Ansari, 2022).

Burada kullandığımız gösterimlerde küçük ve kalın simgeler vektörleri, büyük ve kalın simgeler ise matrisleri temsil etmektedir. Reel sayılar ve kompleks sayılar sırasıyla \mathbb{R} ve \mathbb{C} ile gösterilmektedir. \mathbb{S}^n ile $n \times n$ boyutundaki simetrik matrisler gösterilmektedir. (i, j) sıralı ikilisi bir matriste i.satır j. sütun elemanını temsil etmektedir. $(.)^T$ ve $(.)^*$ sırasıyla bir matrisin transpozunu ve eşlenik transpozunu ifade eder. $|\cdot|$ verilen ifadenin büyüklüğünü ifade ederken, $[\cdot]$ verilen matrisi temsil etmektedir.

Bu makalede AA mikro-şebekeler $\varphi(\omega, \varepsilon)$ şeklinde gösterilmektedir. Bu gösterimde sırasıyla ω ve ε sistemdeki baraların kümesini ve tüm iletim/dağıtım hatlarını ifade etmektedir. Dağıtım hatları enerji kaynaklarını baralar üzerinden son kullanıcıların yük taleplerine bağlar. Dağıtım hatlarındaki baralarda fiziksel kısıtlar dahilinde yük bağlanarak, enerji depolama sistemleri konumlandırılabilir. $\vec{E}, \bar{E} \in \{0,1\}^{|\mathbb{E}| \times |\omega|}$ dağıtım hatlarında çakışım matrisini ve yönlerini gösterir. Eğer bir hat $h \in \omega$, $b \in \omega$ barasından başlıyorsa $\vec{E}_{h,b} = 1$ olarak gösterilir. Hat $h \in \omega$, $b \in \omega$ barasında bitiyorsa $\bar{E}_{h,b} = 1$ olarak gösterilir. M, \vec{M}, \bar{M} matris gösterimleri ise, bara iletkenliğini, hat-bara arası iletkenliği ve bara-hat arası iletkenliği göstermektedir. Güç dağıtım sisteminde hatlardaki güç akış limiti f^{max} ile ifade edilmektedir. Güç dağıtım sistemindeki jeneratör kümesi \mathbb{K} ile ifade edilir. Jeneratörler için çakışım matrisi K için $K \in \{0,1\}^{|\mathbb{K}| \times |\mathbb{E}|}$ olarak tanımlanmaktadır. Eğer $k \in \mathbb{K}$ jeneratörü $m \in \omega$ barasında ise $K_{k,m} = 1$ dir. Güç dağıtım şebekesinde baradaki güç üretiminin vektörü $s_t^{SRC} \in \mathbb{C}^{|\mathbb{K}|}$, gerilim vektörü $v_t \in \mathbb{C}^{|\omega|}$ ve baralardaki talep vektörü $d_t \in \mathbb{C}^{|\omega|}$ ile gösterilmektedir. $v_t \in \mathbb{C}^{|\omega|}$ gerilim vektöründen bir üst boyut uzayında $W_t \in \mathbb{H}^{|\omega|}$ matrisi oluşmaktadır. Bu matriste π , $n \times n$ boyutundaki bir matrisin köşegen elemanlarını $n \times 1$ vektörüne götüren dönüşümü temsil etmektedir. Yani $[A]$ $n \times n$ boyutunda bir matris ve $[B]$ $n \times 1$ boyutunda bir sütun matrisi olmak üzere $\pi(a_{ii}) = b_i$ ve $\forall a_{ii} \in [A]$ için $b_i \in [B]$ olarak ifade edilen birebir fonksiyonu temsil etmektedir.

Güç dağıtım şebekelerinde enerji depolama sistemleri toplam üretim maliyetini en aza indirmeyi amaçlar. Bunun için barada jeneratörlerin gerilim, frekans ve güç ayar noktalarının belirlenmesine karar verir. Sisteme bağlanacak toplam enerji depolama sistemlerinin sayısının konumlarına ve sistemdeki şarj/deşarj zamanlamalarını belirler. Baradaki yükün günlük ortalama profili $t = (1, |T|)$ olarak ifade edilebilir. Burada T yük profiline bir günlük yük miktarlarının belirlendiği zaman kümesini temsil eder. Yük profiline zaman kümesindeki $t \in T$ için $v_t \in \mathbb{R}^{|\omega|}$ $t \in T$ anında düğüm gerilim

vektörünü, $p_t^{SRC} \in \mathbb{R}^{|\mathbb{K}|}$ $t \in T$ jeneratörden AA mikro-şebekeye aktarılan güç vektörünü göstermektedir. enerji depolama sistemindeki şarj/deşarj güç vektörü ise $t \in T$ için $p_t^{STR} \in \mathbb{R}^{|\omega|}$ olarak tanımlanır. Güç dağıtım sisteminde $t \in T$ anında $m \in \omega$ barasına yerleştirilmiş $l \in L$ enerji depolama sistemlerinin şarj ve deşarj oranları $r_{t,lm}^+$ ve $r_{t,lm}^-$ olarak gösterilir. Burada L güç dağıtım sisteminde konumlandırılacak enerji depolama sistemlerinin kümesini göstermektedir. $t \in T$ anında $m \in \omega$ barasındaki şarj kapasitesi $r_{t,m}^{STR}$ ile gösterilir. C_{lm} , l enerji depolama sisteminin m barasında olup olmadığını gösterir. Buna göre m barasında l enerji depolama sistemi varsa $C_{lm} = 1$, yoksa $C_{lm} = 0$ olarak formülize edilir. Amaç fonksiyonunun hedefi, üretimin toplam maliyetini en aza indirmektir. Öyle ki bu maliyet $t \in T$ için ikinci dereceden bir maliyet fonksiyonu olarak Eşitlik 1'deki şekilde ifade edilir.

$$\sum_{t \in T} (p_t^{SRC T} [a_t] p_t^{SRC} + b_t^T p_t^{SRC} + c_t^T \mathbf{1}_{\mathbb{K}}) \quad (1)$$

Yük profiline zaman kümesindeki $t \in T$ için baralara giren veya baralardan çıkan güç vektörü $\pi\{v_t v_t^T M^T\} \in \mathbb{R}^{|\omega|}$ olarak tanımlanır. Benzer şekilde, hatlara giren veya hatlardan çıkan güç vektörleri ise sırasıyla $\pi\{\bar{E} v_t v_t^T \bar{M}^T\} \in \mathbb{R}^{|\mathbb{E}|}$ ve $\pi\{\vec{E} v_t v_t^T \vec{M}^T\} \in \mathbb{R}^{|\mathbb{E}|}$ olarak ifade edilir.

Yük profiline zaman kümesindeki herhangi bir $t \in T$ için herhangi bir barada depolanan enerji miktarı Eşitlik 2'deki gibi hesaplanır.

$$r_{t,m}^{STR} = \sum_{l \in L} (r_{t,lm}^+ - r_{t,lm}^-) \forall m \in \omega \quad (2)$$

Burada $r_{t,lm}^+$ ve $r_{t,lm}^-$ pozitif değerli olup herhangi bir $t \in T$ için, sırasıyla l enerji depolama sisteminin m. baradan aldığı şarj gücünü ve l enerji depolama sisteminin m. barasına verdiği deşarj gücünü göstermektedir. Eğer m. barada yerleştirilmiş bir enerji depolama sistemi yoksa $r_{t,m}^{STR} = 0$ olacaktır. Bu durum enerji depolama sistemlerinin maksimum ve minimum şarj/deşarj kısıtı olup, kısıt ikili karar değişkenleriyle sıfır karar noktası için belirlenir ve Eşitlik 3 ve 4'deki gibi gösterilir.

$$r_{t,lm}^+ \leq r_{max;l}^+ C_{lm} \quad (3)$$

$$r_{t,lm}^- \leq r_{max;l}^- C_{lm} \quad (4)$$

Burada eğer $C_{lm} = 1$ ise $r_{t,lm}^-$ ve $r_{t,lm}^+$ maksimum şarj kapasitesiyle m. baraya yerleştirilir. Eğer $C_{lm} = 0$ ise m. barada enerji depolama sistemi bulunmuyor demektir. Bu durumda $r_{t,lm}^+ = 0$ ve $r_{t,lm}^- = 0$ 'dır.

Optimal enerji depolama sistemlerinin konumlandırılması toplam maliyetin minimize edilmesi için önemlidir. Optimal enerji depolama sistemlerinin konumunun belirlenmesi problemi bir MINLP ile Eitlik 5a'deki gibi formülize edilir.

$$\sum_{t \in T} (p_t^{SRC T} [a_t] p_t^{SRC} + b_t^T p_t^{SRC} + c_t^T \mathbf{1}_{\mathbb{K}}) \quad (5a)$$

Bu denklem için kısıtlar (Eşitlik 5b-5m);

$$\pi\{W_t Y^*\} + d_t = K^T S_t^{SRC} + p_t^{SRC} \quad (5b)$$

$$|\pi\{\vec{E}W_t \vec{M}^*\}| \leq f^{max} \quad (5c)$$

$$|\pi\{\vec{E}W_t \vec{M}^*\}| \leq f^{max} \quad (5d)$$

$$p^{min} \leq p_t^{SRC} \leq p^{max} \quad (5e)$$

$$q^{min} \leq q_t^{SRC} \leq q^{max} \quad (5f)$$

$$(v^{min})^2 \leq \pi\{W_t\} \leq (v^{max})^2 \quad (5g)$$

$$r_{t,m}^{STR} = \sum_{l \in L} (r_{t,lm}^+ - r_{t,lm}^-) \quad \forall m \in M \text{ and } \forall t \in T \quad (5h)$$

$$0 \leq r_{t,lm}^+ \leq r_{max;l}^+ C_{lm} \quad \forall l \in L, \forall m \in \omega, \forall t \in T \quad (5i)$$

$$0 \leq r_{t,lm}^- \leq r_{max;l}^- C_{lm} \quad \forall l \in L, \forall m \in \omega, \forall t \in T \quad (5j)$$

$$\sum_{m=1}^{|\omega|} C_{lm} = 1 \quad \forall l \in L \quad (5k)$$

$$e_t^{min} \leq \sum_{t \in T} \sum_{m \in \omega} (\mu^+ r_{t,lm}^+ - \mu^- r_{t,lm}^-) \leq e_t^{max} \quad \forall l \in L \text{ and } \forall t \in T \quad (5l)$$

$$W_t = v_t v_t^* \quad \forall t \in T \quad (5m)$$

Yukarıdaki ifadelerde kullanılan değişkenler (Eşitlik 6a-6d);

$$p_t^{SRC} \in \mathbb{R}^{|\mathbb{K}|}, q_t^{SRC} \in \mathbb{R}^{|\mathbb{L}|}, W_t \in \mathbb{H}^{|\omega|} \quad (6a)$$

$$r_{t,lm}^+, r_{t,lm}^-; \forall t \in T, \forall m \in \omega, \forall l \in L \quad (6b)$$

$$C_{lm} \in \{0,1\}; \forall l \in L, \forall m \in \omega \quad (6c)$$

$$s_t^{SRC} \in \mathbb{C}^{|\mathbb{K}|}, q_t^{SRC} \in \mathbb{C}^{|\mathbb{K}|} \quad (6d)$$

Denklem (6), tüm jeneratörlerin görünür güç vektörü, $s_t^{SRC} = p_t^{SRC} + q_t^{SRC} \in \mathbb{C}^{|\mathbb{K}|}$, aktif ve reaktif güç üretiminden oluşmaktadır. $p_t^{SRC} \in \mathbb{R}^{|\mathbb{K}|}, q_t^{SRC} \in \mathbb{R}^{|\mathbb{K}|}, s_t \in \mathbb{R}^{|\mathbb{K}|}$ sırasıyla jeneratörün aktif, reaktif ve görünür gücünü temsil eder. Eşitlik (7), jeneratörlerin toplam görünür gücü, aktif ve reaktif gücün toplamı olarak ifade edilen karmaşık bir vektör denklemdir.

$$s_t^{SRC} = p_t^{SRC} + q_t^{SRC} \in \mathbb{C}^{|\mathbb{K}|} \quad (7)$$

Eşitlik (5a), OGA problemi, (5b) de verilen konveks olmayan kısıt ile gerçekleştirilmiştir. Ancak, Eşitlik (5)'de verilen OGA problemi genelinde de doğrusal olmayan ve konveks olmayan bir problemidir.

Eşitlik (5a) ile verilen problemin çözümünü mümkün kılmak için; Eşitlik (5m), Eşitlik (8a ve 8b) ile gevşetilmiş MISOCP'ye dönüşümü sağlanmıştır. Bu dönüşümler ile problem konveks haline getirilerek çözümü gerçekleştirilebilir.

$$W_{t,ii} \times W_{t,ij} \geq |W_{t,ij}|^2 \quad \forall (i,j) \in \mathbb{E} \text{ and } \forall t \in T \quad (8a)$$

$$W_{t,ij} \geq 0 \quad i \in \omega, \forall t \in T \quad (8b)$$

3. Bulgular ve Tartışma

Dağıtım tesislerinde enerji depolama sistemlerinin konumlandırma optimizasyon çalışması Intel i9 işlemci ve 32 GB RAM ile donatılmış bir bilgisayar ile

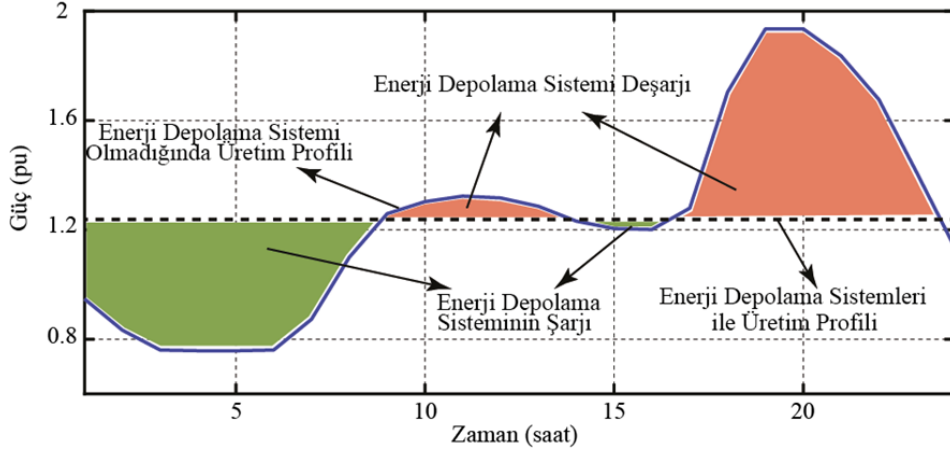
gerçekleştirilmiştir. Çalışma sırasında programlama arayüzü CVX v2.1, konik karmaşık tamsayı çözücüsü GUROBI v9.5.2 ve IEEE test veri setleri kullanılmıştır. Enerji depolama sistemlerinin kapasitesi puant talebin %10 ila %20'si arasında olduğu AA mikro-şebekelerde, seçili baralara farklı sayılarda enerji depolama sistemi konumlandırılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de verilen Şarkışla / Sivas / Türkiye ilçesinin 24 saatlik ortalama yük tüketimi, IEEE test veri setlerinin ölçeklendirilmesi için kullanılmıştır. Önerilen enerji depolama sistemlerinin konumlandırma optimizasyon algoritması ile IEEE test veri setleri 9 baralı sistemlere uygulanmıştır. Çalışmada elde edilen ve karşılaştırılan tüm güç değerleri birim değerlere (pu-per unit) dönüştürülerek kullanılmıştır.

3.1. IEEE 9-baralı Dağıtım Sistemi

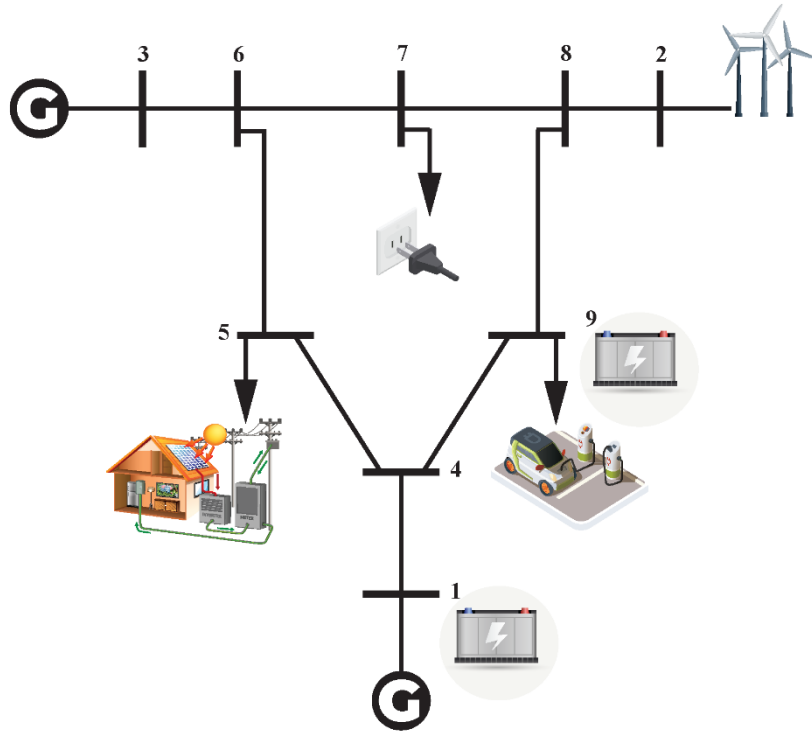
Bu bölümde, IEEE 9 baralı veri setleri ile sabit üretim tesislerinin yanında rüzgâr türbinlerinin de olduğu dağıtım tesisinde enerji depolama sistemlerinin konumlandırılmasını ve üretim profili düzleştirilmesiyle maliyetlerin azaltılması konusu incelenmiştir. Şekil 3'te gösterilen dağıtım sisteminde 1, 2 ve 3 numaralı baralarda üretim santralleri bulunmaktadır. Çalışmada farklı enerji depolama sistemlerinin kapasitelerinde ve kısıtlar ile maliyetin düşürülmesi için enerji depolama sistemlerinin konumlarının nasıl değiştiği incelenmiştir. IEEE 9 baralı test veri setleri incelendiğinde, sistemde üç yük barası ve üç üretim barası bulunmaktadır. Çalışmada, IEEE 9 baralı orijinal veri setinde ikinci baradaki geleneksel üretim tesisi Şekil 2'de verilen üretim profili için bir rüzgâr türbini ile değiştirilmiştir. Şekil 4 ile IEEE 9 baralı değiştirilmiş veri setindeki toplam yük profilinin değişimi, her bir yükün miktarı ve yük üzerindeki toplam yük için gösterilmektedir. Şekil 5'te, 9 baralı bir dağıtım tesisinin puant talebinin %10 ve %20'si için enerji depolama sistemlerinin kapasiteleri belirlenmiştir. Dağıtım hattı için farklı sayılarda seçilmiş enerji depolama sistemleri için (|L|) üretim profili |L| = 0,2,4,6 için toplam yük profilleri gösterilmektedir. Her grafik, enerji depolama sistemleri |L|= 0,2,4,6 sayısına bağlı olan dört farklı durumu göstermektedir. Buna göre sistemde enerji depolama sistemi olmadığına (mavi eğriler) ve altı enerji depolama sistemi kullanıldığında (yeşil eğriler) yük profili karşılaştırıldığında sistemdeki enerji depolama sistemi kullanımının önemi fark edilmektedir. Yük profili, enerji depolama sistemi konumlarının optimum belirlenmesiyle düzleştirilmiştir. Öte yandan, AA mikro-şebekesinde |L|= 0,2,4,6 enerji depolama sistemleri için şarj/deşarj profilleri gösterilmektedir. AA mikro-şebekede enerji depolama sistemi olmaması durumu ve |L|= 0,2,4,6 olan en uygun enerji depolama sistemi konumu için bir karşılaştırma yapılmıştır. |L| = 0, 2, 4, 6 enerji depolama sistemlerinin sayıları ve kapasitelerine göre şarj-deşarj miktarları Şekil 6'da verilmiştir. Sonuç olarak, sistemde enerji depolama sistemi olmadığına şarj miktarı sıfırdır (mavi eğriler) ve altı enerji depolama sistemi kullanıldığında (yeşil eğriler) şarj seviyeleri karşılaştırılmıştır. Mikro-şebekede seçilen

enerji depolama sistemleri kapasitesinin puant talep miktarının sırasıyla %10 ve %20'si seçildiği durumlar için enerji depolama sistemlerinin konumu, toplam maliyet, hesaplama süresi ve optimizasyon boşluğu $|L|=0, 2, 4$ ve 6 için Tablo 4 ve 5'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Toplamda en düşük maliyet altı enerji

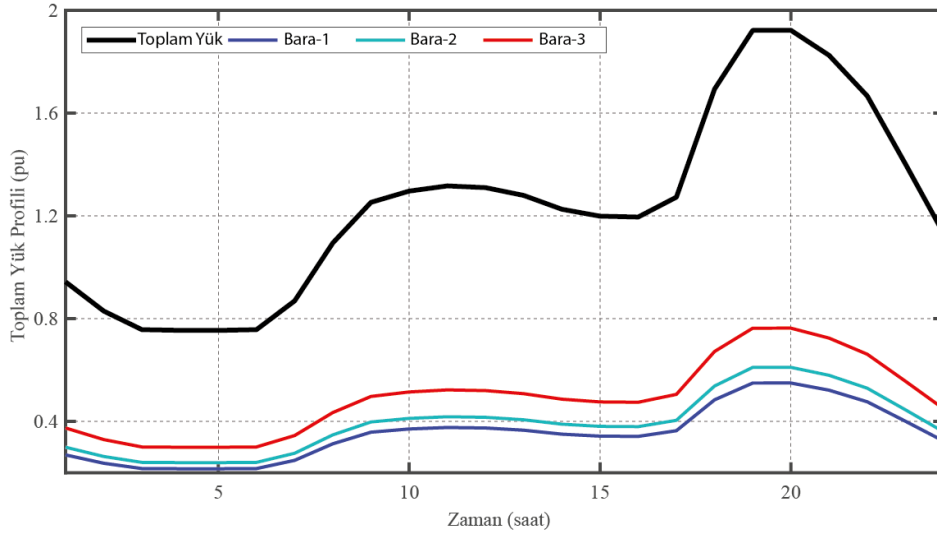
depolama sistemi ile sağlanmıştır. Ayrıca tabloda her bir baraya kaç adet enerji depolama sisteminin konumlandırılacağı da gösterilmektedir. Buna göre karşılaştırmalar $|L| = 6$ enerji depolama sistemleri sayısı için puant talebin sırasıyla %10 ve %20'sinde maliyetin en düşük seviyelerde olduğu gösterilmektedir.



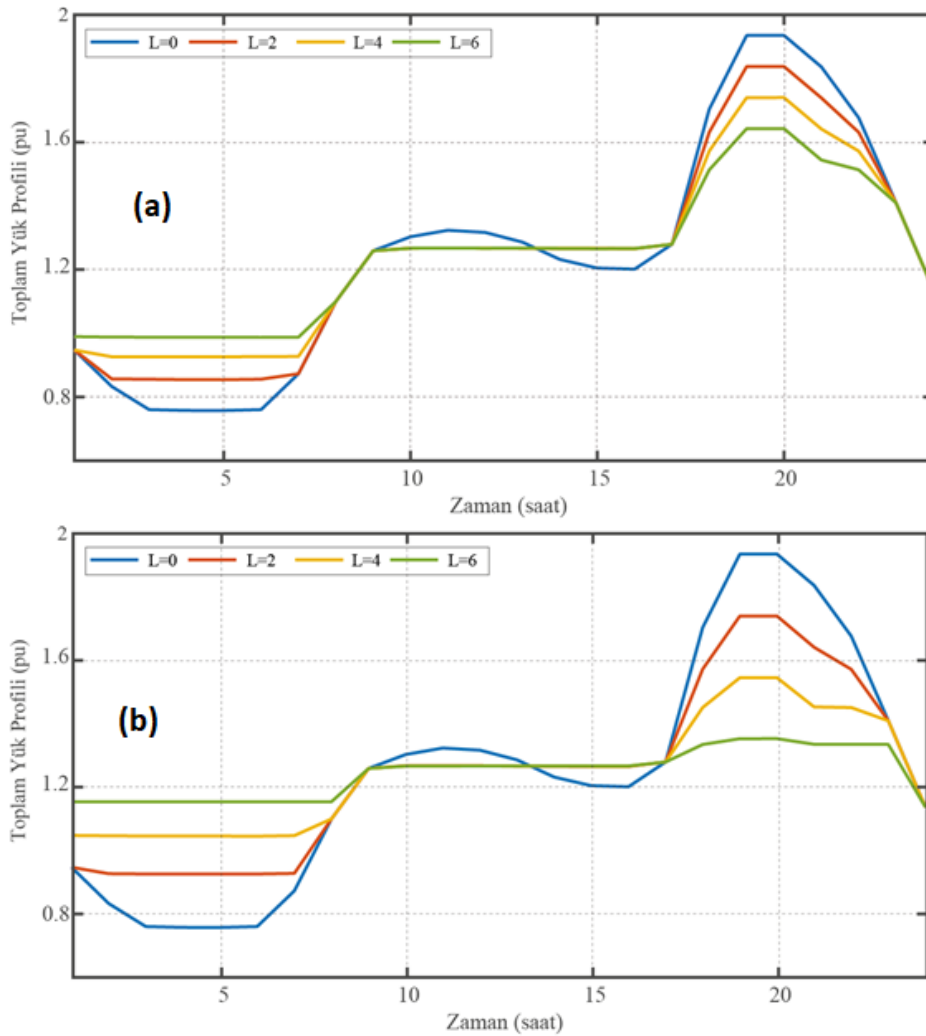
Şekil 2. Yeterli sayıda enerji depolama sistemine sahip ve önerilen algoritma ile doğru şekilde konumlandırılmış bir AA mikro-şebekesinde enerji depolama sistemlerinin düzleştirilmiş bir yük profilinde şarj/deşarj gösterimi.



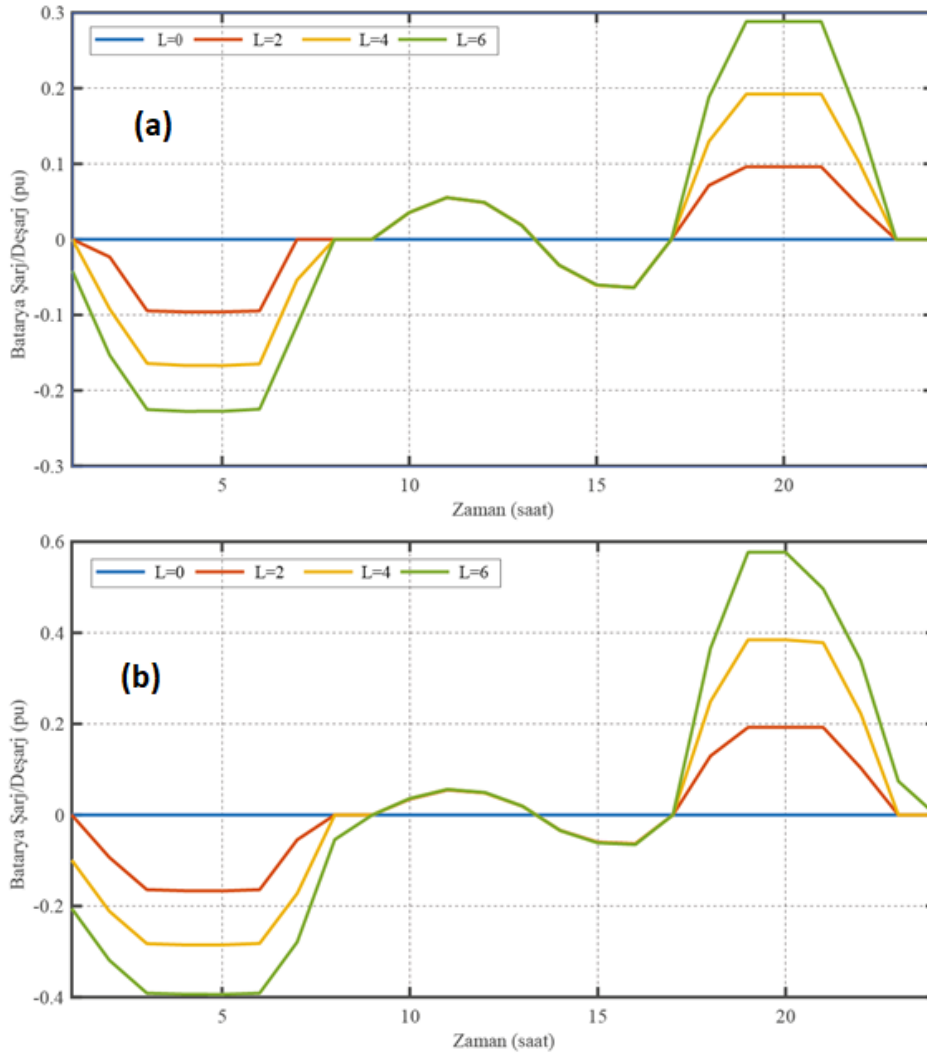
Şekil 3. Geleneksel ve yenilenebilir üretim santrallerinin olduğu iki enerji depolama sistemi konumlandırılmış 9 baralı bir dağıtım şebekesi örneği.



Şekil 4. 9 baralı bir sistemde IEEE test verileri kullanılarak örneklendirilen baralardaki yükler ve toplam yük profili.



Şekil 5. 9 Baralı bir dağıtım sisteminde $|L| = 0,2,4,6$ enerji depolama sistemi sayıları için üretim profili. (a) Enerji depolama sistemi kapasitesi sistemin maksimum talep değerinin %10'u olduğunda toplam yük profilindeki değişim. (b) Enerji depolama sistemi kapasitesi sistemin maksimum talep değerinin %20'si olduğunda toplam yük profilindeki değişim.



Şekil 6. 9 Baralı bir dağıtım sisteminde $|L| = 0,2,4,6$ enerji depolama sistemi sayıları için enerji depolama sistemi şarj/deşarj profili. (a) Enerji depolama sistemi kapasitesi sistemin maksimum talep değerinin %10'u olduğunda toplam yük profilindeki değişim. (b) Enerji depolama sistemi kapasitesi sistemin maksimum talep değerinin %20'si olduğunda toplam yük profilindeki değişim.

Tablo 1. Enerji depolama sistemi kapasitesi sistemin maksimum talep değerinin %10'u olduğunda; Enerji depolama sisteminin konumu, toplam maliyet, hesaplama süresi, optimizasyon başarısı.

Enerji Depolama Sistemi Sayısı	Enerji Depolama Sistemi Konumu	Toplam Maliyet	Hesaplama Süresi (s)	Optimizasyon Boşluğu
0	-	46288	2,38	% 0
2	9x1, 1x1	46001	29,82	% 0,0355
4	9x2, 5x1, 4x1	45767	35,40	% 0,0052
6	9x4, 5x1, 4x1	45577	51,41	% 0,0065

Tablo 2. Enerji depolama sistemi kapasitesi sistemin maksimum talep değerinin %20'si olduğunda; Enerji depolama sisteminin konumu, toplam maliyet, hesaplama süresi, optimizasyon başarısı

Enerji Depolama Sistemi Sayısı	Enerji Depolama Sistemi Konumu	Toplam Maliyet	Hesaplama Süresi (s)	Optimizasyon Boşluğu
0	-	46288	2,51	% 0
2	9x2	45767	13,58	% 0,0071
4	9x1, 4x1, 5x2	45430	34,90	% 0,0097
6	7x2, 9x2, 5x1, 4x1	45251	187,38	% 0,0071

4. Sonuç

Çalışmada, AA mikro-şebekelerde üretim maliyetlerinin azaltılması ve üretim profillerinin düzleştirilmesi için enerji depolama sistemlerinin yerleştirilmesinde MINLP olarak formülize edilen problem MISOCP olarak yeniden ifade edilmektedir. Önerilen yöntem, rüzgâr ve geleneksel üretim kaynaklarını kullanarak bir IEEE test verisi üzerinde karşılaştırmalı çalışmalarla doğrulanmıştır. Sonuçlar, önerilen yöntem kullanılarak optimize edilen enerji depolama sistemi konumlandırılmasıyla toplam maliyetteki değişiklikleri göstermektedir. AA mikro-şebekelerin üretim maliyetinin azaltılmasına ek olarak geleneksel jeneratörlerin üretim profilleri de düzleştirilmiştir. Bunun için seçilen enerji depolama sistemi boyutları ve konumları, IEEE test verilerinin operasyonel ve fiziksel kısıtlarına bağlı olarak belirlenmiştir. Dışbükey olmayan güç akışı denklemlerinin ve enerji depolama sistemleri konumlandırılmadaki ikili karar değişkenlerinin birlikte çözülmeye çalışılmasının neden olduğu karmaşıklık gevşetilmiş MISOCP programlamayla çözülmüştür. Önerilen programlama, rüzgâr türbini entegre edilmiş IEEE 9-baralı test sistemine uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlarda doğru enerji depolama sisteminin konumlandırılmasıyla üretim profillerinin düzleştirildiği ve toplam maliyetlerin düştüğü görülmektedir. Ayrıca vurgulamak gerekir ki bu çalışmanın bazı değişikliklerle doğru akım (DA) mikro-şebekelere de uygulanabilir hale kolaylıkla getirilebilir. Burada dikkat edilmesi gereken değişiklikler: iletim hatlarının tamamen resistif bir yapıda olması, reaktif güç değişkeninin denklemlerden çıkarılması ve faz açısı konseptinin DA uygulamalarında olmayacağı unutulmamalıdır.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	T.A.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100
PY	100
FA	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Alsharif H, Jalili M, Hasan KN. 2022. Power system frequency stability using optimal sizing and placement of battery energy storage system under uncertainty. *J Energy Storage*, 50: 104610.
- Byrne RH, Nguyen TA, Copp DA, Chalamala BR, Gyuk I. 2017. Energy management and optimization methods for grid energy storage systems. *IEEE Access*, 6: 13231-13260.
- Calderaro V, Conio G, Galdi V, Massa G, Piccolo A. 2013. Optimal decentralized voltage control for distribution systems with inverter-based distributed generators. *IEEE Trans Power Syst*, 29(1): 230-241.
- Carpentier J. 1977. Optimal power flows. *Int J Electr Power Energy Syst*, 1(1): 3-15.
- Dui X, Zhu G, Yao L. 2017. Two-stage optimization of battery energy storage capacity to decrease wind power curtailment in grid-connected wind farms. *IEEE Trans Power Syst*, 33(3): 3296-3305.
- Dutta S, Sharma R. 2012. Optimal storage sizing for integrating wind and load forecast uncertainties. In: *Proceedings of IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies*, January 16-20, Washington DC, USA, pp: 1-7.
- Fossati JP, Galarza A, Martín A, Fontan L. 2015. A method for optimal sizing energy storage systems for microgrids. *Renew Energy*, 77: 539-549.
- Guo J, Zhang P, Wu D, Liu Z, Ge H, Zhang S, Yang X. 2021. A new collaborative optimization method for a distributed energy system combining hybrid energy storage. *Sustain Cities Soc*, 75: 103330.
- Hannan MA, Faisal M, Ker PJ, Begum RA, Dong ZY, Zhang, C. 2020. Review of optimal methods and algorithms for sizing energy storage systems to achieve decarbonization in microgrid applications. *Renew Sustain Energy Rev*, 131: 110022.
- Happ HH. 1977. Optimal power dispatch comprehensive survey. *IEEE Trans Power App Syst*, 96(3): 841-854.
- Huang S, Wu Q, Wang J, Zhao H. 2016. A sufficient condition on convex relaxation of ac optimal power flow in distribution networks. *IEEE Trans Power Syst*, 32(2): 1359-1368.
- Huang Y, Ju Y, Ma K, Short M, Chen T, Zhang R, Lin Y. 2022. Three-phase optimal power flow for networked microgrids based on semidefinite programming convex relaxation. *Appl Energy*, 305: 117771.
- Karimi H, Ansari J, Gholami A, Kazemi A. 2014. A comprehensive well to wheel analysis of plug-in vehicles and renewable energy resources from cost and emission viewpoints. In: *Proceedings of IEEE Smart Grid Conference*, November 3-6, Venice, Italy, pp: 1-6.
- Kayacık SE, Kocuk B. 2020. A misocp-based solution approach to the reactive optimal power flow problem. *IEEE Trans Power Syst*, 36(1): 529-532.
- Kazemi M, Ansari MR. 2022. An integrated transmission expansion planning and battery storage systems placement-a security and reliability perspective. *Int J Electr Power Energy Syst*, 134: 107329.
- Kekatos V, Wang G, Conejo AJ, Giannakis GB. 2014. Stochastic reactive power management in microgrids with renewables. *IEEE Trans Power Syst*, 30(6): 3386-3395.
- Kim J, Dvorkin Y. 2018. Enhancing distribution system resilience

- with mobile energy storage and microgrids. *IEEE Trans Smart Grid*, 10(5): 4996-5006.
- Li Y, Li T, Zhang H, Xie X, Sun Q. 2022. Distributed resilient double-gradient-descent based energy management strategy for multi-energy system under DoS attacks. *IEEE Trans Netw Sci Eng*, 9(4): 2301-2316.
- Morstyn T, Hredzak B, Aguilera RP, Agelidis VG. 2017. Model predictive control for distributed microgrid battery energy storage systems. *IEEE Trans Control Syst Technol*, 26(3): 1107-1114.
- Nick M, Cherkaoui R, Paolone M. 2017. Optimal planning of distributed energy storage systems in active distribution networks embedding grid reconfiguration. *IEEE Trans Power Syst*, 33(2): 1577-1590.
- Nojavan S, Majidi M, Esfetanaj NN. 2017. An efficient cost-reliability optimization model for optimal siting and sizing of energy storage system in a microgrid in the presence of responsible load management. *Energy*, 139: 89-97.
- Reddy KS, Mudgal V, Mallick TK. 2018. Review of latent heat thermal energy storage for improved material stability and effective load management. *J Energy Storage*, 15: 205-227.
- Stecca M, Elizondo LR, Soeiro TB, Bauer P, Palensky P. 2020. A comprehensive review of the integration of battery energy storage systems into distribution networks. *IEEE Open J Ind Electron Soc*, 1: 46-65.
- Tian Z, Wu W, Zhang B, Bose A. 2016. Mixed-integer second-order cone programming model for var optimisation and network reconfiguration in active distribution networks. *IET Gener Transm Distrib*, 10(8): 1938-1946.
- Wong LA, Ramachandaramurthy VK, Taylor P, Ekanayake JB, Walker SL, Padmanaban, S. 2019. Review on the optimal placement, sizing and control of an energy storage system in the distribution network. *J Energy Storage*, 21: 489-504.
- Yang L, Li X, Sun M, Sun C. 2023. Hybrid policy-based reinforcement learning of adaptive energy management for the energy transmission-constrained island group. *IEEE Trans Industr Inform*, 19(11): 10751-10762.
- Yang Y, Bremner S, Menictas C, Kay M. 2018. Battery energy storage system size determination in renewable energy systems: A review. *Renew Sustain Energy Rev*, 91: 109-125.
- Zia MF, Elbouchikhi E, Benbouzid M, Guerrero JM. 2019. Energy management system for an islanded microgrid with convex relaxation. *IEEE Trans Ind Appl*, 55(6): 7175-7185.
- Zidar M, Georgilakis PS, Hatzigiorgiou ND, Capuder T, Škrlec D. 2016. Review of energy storage allocation in power distribution networks: applications, methods and future research. *IET Gener Transm Distrib*, 10(3): 645-652.



Open Access Journal
e-ISSN: 2619 – 8991

Araştırma Makalesi (Research Article)

Cilt 7 - Sayı 4: 672-682 / Temmuz 2024
(Volume 7 - Issue 4: 672-682 / July 2024)

ZAMAN GECİKMELİ KESİR DERECELİ KAOTİK SİSTEMLERİN SENKRONİZASYONU VE FPGA UYGULAMASI

Semih Can DEĞİRMEN¹, Kenan ALTUN^{2*}

¹Sivas Cumhuriyet University, Institute of Science and Technology, Department of Defense Industry Technologies and Strategies, 58140, Sivas, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet University, Sivas Vocational School of Technical Sciences, Department of Electronics and Automation, 58140, Sivas, Türkiye

Özet: Elektronik tabanlı sistemlerin kontrolü, geliştirilmesi ve birçok işletme hatasının tespiti için matematiksel olarak ifade edilebilmesi oldukça önemlidir. Matematiksel olarak ifade edilebilen sistemlerde, geliştirilebilmesinin yanında birçok problemin tespit edilmesini de kolaylaştırır. Özellikle haberleşme sistemleri ve bu sistemlerdeki taşıyıcı sinyallerin, haberleşme protokollerinin matematiksel modellenmeleri ve geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar son dönemde artmaktadır. Özellikle karmaşık yapısı ile dikkat çeken kaotik tabanlı sistemlerin haberleşme sistemlerinde kullanılmasıyla bilgi sinyallerinin güvenilirliği artırılmıştır. Ancak kaotik sistemlerin tam dereceli olarak modellenmesi, özellikle kullanıldığı haberleşme sistemlerindeki hatalı bit sayılarını artırmakta ve zaman gecikmelerinden kaynaklı uzun senkronizasyon sürelerine neden olmaktadır. Bu nedenle kaotik sistemlerin kesir dereceli olarak modellenmesinin yanında verici-alıcı sistemlerin mümkün olan en kısa sürelerde senkronize olmaları için sistemler arasındaki zaman gecikmelerinin de dikkate alınması gereklidir. Bu çalışmada haberleşme sistemlerinde kullanılan kaotik bir sistemin kesir dereceli olarak elde edilmesi, daha sonra ise bir kontrolör ile zaman gecikmelerinden kaynaklı senkronizasyon gecikmelerinin azaltılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada Charef yaklaşım metodu kullanılarak kesir dereceli kaotik sistem tasarımı yapılmış ve bulanık mantık tabanlı bir kontrolör ile zaman gecikme sürelerinden kaynaklı senkronizasyon süresi azaltılmıştır. Neticede, kesir dereceli olarak gerçek sistem davranışı elde edilen bir kaotik sistemin bir kontrolör ile senkronizasyon sürelerinin azaltılabildiği gösterilmektedir. Yapılan çalışma önce bilgisayar benzetimi ile daha sonra ise FPGA kullanılarak deneysel uygulaması gerçekleştirilmiş ve doğrulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Kesir dereceli kaotik sistemler, Zaman gecikmeli sistemler, Charef metodu, FPGA


Synchronization of Fractional Order Chaotic Systems with Time Delay and FPGA Implementation

Abstract: It is very important to be able to express it mathematically for the control and development of electronic-based systems and the detection of many operating errors. It makes it easier to detect many problems in systems that can be expressed mathematically, as well as to be developed. In particular, studies on communication systems and the mathematical modeling and development of carrier signals and communication protocols in these systems have been increasing recently. The reliability of information signals has been increased by using chaotic-based systems, which attract attention with their complex structure, in communication systems. However, full-degree modeling of chaotic systems increases the number of erroneous bits, especially in the communication systems in which it is used, and causes long synchronization times due to time delays. For this reason, in addition to modeling chaotic systems in fractional order, it is necessary to take into account the time delays between the systems in order to synchronize the transmitter-receiver systems in the shortest possible time. In this study, it is aimed to obtain a chaotic system used in communication systems in fractional order, and then to reduce synchronization delays due to time delays with a controller. In the study, a fractional order chaotic system was designed using the Charef approximation method and the synchronization time due to time delays was reduced with a fuzzy logic-based controller. As a result, it is shown that the synchronization times of a chaotic system, where real system behavior is obtained in fractional order, can be reduced with a controller. The study was first implemented and verified experimentally using computer simulation and then using FPGA.

Keywords: Fractional order chaotic systems, Time delay systems, Charef method, FPGA

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Sivas Cumhuriyet University, Sivas Vocational School of Technical Sciences, Department of Electronics and Automation, 58140, Sivas, Türkiye

E mail: kaltun@cumhuriyet.edu.tr (K. ALTUN)

Semih Can DEĞİRMEN  <https://orcid.org/0009-0009-8077-6960>

Kenan ALTUN  <https://orcid.org/0000-0001-7419-1901>

Gönderi: 19 Mayıs 2024

Received: May 19, 2024

Kabul: 01 Temmuz 2024

Accepted: July 01, 2024

Yayınlanma: 15 Temmuz 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Değirmen SC, Altun K. 2024. Synchronization of Fractional Order Chaotic Systems with Time Delay and FPGA Implementation. BSJ Eng Sci, 7(4): 672-682.

1. Giriş

Kaos sinyalleri, başlangıç değerlerine duyarlı, periyodik olmayan, geniş bant aralıklı, uzun sürelerde tahmin edilmesi zor rastgele sinyaller olarak bilinir (Ott ve ark., 1990). Kaotik davranış sergileyen bu sinyaller,

matematiksel olarak dinamik eşitlik takımları kullanılarak kaos teorisi olarak ifade edilir (Lorenz, 1963). Doğrusal olmayan bu teori ilk olarak 1960'larda Edward Lorenz'in araştırmalarında kullanılmıştır (Lorenz, 1963). Kaotik sinyallerin kısa zamanlarda



tahmin edilememesi, güvenli haberleşme sistemleri için taşıyıcı sinyal olarak önemli bir parametre haline gelmiştir. Kaos sinyalleri, kaotik iletişim sistemlerinde taşıyıcı sinyal olarak kullanılan temel yapıdır. Kaotik sinyallerdeki karmaşık yapı sinyalin taşıyıcı olarak kullanıldığı haberleşme sisteminin de karmaşıklığını, dolayısıyla da güvenilirliğini artırmaktadır. Kaos tabanlı osilatörler tarafından üretilen sinyaller, dağınık spektrumları nedeniyle bilgi sinyallerinin arka planda gizlenmesine olanak tanıyan, öngörülemeyen ve gürültülü sinyaller olarak bilinmektedir (Peitgen ve ark., 2004). Kaosa dayalı doğrusal olmayan dinamik eşitlikler deterministik olmasına rağmen sistem davranışını tahmin etmek zordur. Ayrıca güvenilir iletişim sistemlerinin önemli bir özelliği de parametrelerin başlangıç değeri ve duyarlılığıdır. Kaos temelli iletişim sistemleri, sürekli senkronizasyon gerektirmeyen ve anlık senkronizasyonla sağlanabilen iletişim yöntemlerine sahiptir (Cuomo ve ark., 1993; Kennedy ve Kolumban, 2000). Anlık senkronizasyonun sağlandığı haberleşme sistemlerinde taşıyıcı sinyalin sürekli senkronizasyonuna gerek yoktur. Bu durum, taşıyıcı olarak hem kaotik sinyalleri hem de periyodik sinyalleri kullanan haberleşme sistemlerinde aynıdır (Chua ve ark., 1987). Alıcı devrelerde taşıyıcı sinyaller elde edilmeden bilgi sinyaline ulaşılmasına olanak sağlar. Ancak bu durumda bilginin güvenilirliği kaotik sinyalin karmaşıklığına değil iletişim sisteminin yapısına bağlıdır. Bu nedenle veri güvenliğini arttırmak için anlık senkronizasyon yerine sürekli senkronizasyon gerektiren sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü sürekli senkronizasyon gerektiren sistemlerde verici devredeki kaotik taşıyıcı sinyalin alıcı devrede yeniden elde edilmesi gerekir. Böylece bilginin güvenilirliği artırılmış olur.

Doğrusal olmayan sistemlerde dinamik sistemin kaosa girebilmesi ve kaotik davranmaya devam edebilmesi için durum eşitliklerinin toplam derecesinin minimum üç olması gerekir. Diğer taraftan sistem eşitliklerinde de en az bir doğrusal olmayan terime sahip olmalıdır (Peitgen ve ark., 2004). Ancak toplam sistem derecesinin 3'ten az olduğu bazı durumlarda da sistem kaotik davranış gösterebilir (Petras, 2011). Bu durum kaotik sistemlerin öngörülebilirliğini daha da zorlaştırmaktadır. Bu nedenle kaotik yapıların tam dereceli eşitlikler yerine kesir dereceli durum eşitliklerinde kaotik davranması iletişim sistemlerini daha güvenilir hale getirmektedir. Bu sayede kaotik sistemlerin karmaşık yapısı mevcut parametrelerle birlikte artar (Petras ve Bednarova, 2009). Diğer taraftan ise kesir dereceli modelleme ile kaotik eşitliklerin asıl sistem davranışının elde edilmesi sağlanmış olur. Kaotik eşitliklerin gerçek sistem davranışının elde edilmesi özellikle haberleşme sistemlerindeki alıcı verici devrelerdeki kaotik osilatörlerin daha kısa sürelerde senkronize olmasını sağlar. Haberleşme sistemlerinde en çok veri kaybı senkronizasyon sağlanana kadar geçen sürede olmaktadır. Bu nedenle kesir dereceli modelleme ile

gerçekleştirilen ve daha kısa sürelerde senkronize olan bu sistemde veri kaybı daha az olmaktadır. Günümüzde haberleşme sistemleri çoğunlukla kablosuz olarak gerçekleştirilmektedir. Kablolu haberleşme sistemlerinin kablosuz haberleşme sistemlerine göre daha az dış etkenlere maruz kaldığı düşünüldüğünde kablosuz haberleşme sistemlerinde önerilen sistemin daha faydalı olacağı düşünülmektedir (Qian ve ark., 2011). Dolayısıyla önerilen yöntem ile kablosuz haberleşme sistemlerinde senkronizasyon sürelerinin daha da azalacağı öngörülmektedir. Ancak önerilen sistemin uygulaması kablolu olarak gerçekleştirilmiştir.

Başta kontrol ve haberleşme sistemleri olmak üzere birçok sistemin modellenmesinde önemli diğer bir etken ise zaman gecikmesidir. Çok kanallı ve yüksek frekanslardaki haberleşme ağ yapılarındaki zaman gecikmelerinin matematiksel tanımlamalara dahil edilmemesi önemli bir problemdir. Günlük hayatın birçok alanındaki ağ yapısına göre, ağ dinamiklerinin davranışlarının araştırılması önemli bir problem olarak görünmektedir. Ağ yapısında, ağı bir düğümü olarak her dinamiğin diğer düğümlerle ilişkisi vardır. Birçok çalışmada ağı düğümleri arasındaki bağlantı sabit bir bağlantı olarak ele alınmıştır (Li ve ark., 2021; Zhao ve ark., 2021). Oysaki ağların düğümleri arasındaki bağlantılar değişken olabilir (Divya ve ark., 2021; Kuo ve Resmi, 2019). Haberleşme sistemlerindeki çalışmaların çoğu ağ bağlantılarında herhangi bir zaman gecikmesi olmayan sistemler üzerine yapılan çalışmalardır (Rajaei ve ark., 2018). Ancak gerçek ağ bağlantılarındaki zaman gecikmelerinin dikkate alınması gereklidir, çünkü veri iletimindeki zaman gecikmesi yaygın bir sorundur. Bu gecikmeler değişken olabileceğinden, ağların karmaşık yapısına göre, ağ yapısının tam olarak tanımlanması önemli bir problemdir. Karmaşık haberleşme ağlarının matematiksel tanımlaması için bazı yöntemler vardır (Wang ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2016). Ancak bu çalışmalar zaman gecikmesi olmayan sistemler içindir. Haberleşme sistemlerinin her düğümünde bir değişken dinamiğinin dikkate alınması, ağların karmaşıklığını artırabilir. Bu durum değişkenlerinin gerçek sistem davranışı ise ancak kesir dereceli olarak elde edilebilmektedir (Behinfaraz ve ark., 2015). Kesir dereceli hesaplamaların en önemli uygulamalarından biri kaotik sistemlerdir (Silva-Jua' rez ve ark., 2021). Kaotik sistemler, birçok spesifik özelliği olan öngörülemeyen sistemlerdir (Behinfaraz ve Badamchizadeh, 2015). Bu özelliklere göre bu sistemler için birçok uygulama bulunmuştur (Behinfaraz ve ark., 2019). Kaotik dinamikler çok sayıda karmaşık ağda kullanılmıştır (Blakely ve ark., 2018; Lee, 2019; Er ve ark., 2019; Zhu ve ark., 2021). Yüksek karmaşıklık ve varyasyona sahip ağlarda senkronizasyonu sağlamak için bir çözüm bulmak zorlu bir problemdir.

Bu çalışmada; Sprott H kesir dereceli kaotik osilatörün zaman gecikmeli bir kontrolör ile senkronizasyon süresinin azaltılması amaçlanmıştır (Sprott, 1994). İlk olarak çalışmada kullanılan Sprott h osilatörü Charef

yaklaşım metodu kullanılarak kesir dereceli olarak modellenmiş ve elde edilen kesir dereceleri belirlenmiştir. Daha sonra tasarlanan kontrolör sürekli senkronize olacak haberleşme sistemi ile senkronize edilmiştir. Tasarımın benzetim sonuçlarını elde edilen verilerde 0,03 saniyede sistemin senkronize olduğu gözlemlenmiştir. Matlab Simulink ile tasarlanan sitem HDL coder kullanılarak VHDL diline çevrilmiş ve FPGA tümleşik yapısına yüklenmiştir. Daha sonra FPGA kullanarak gerçekleştirilen çalışmada sonuçlar dijital osiloskop kullanılarak senkronizasyonları gözlemlenmiştir. Çalışmanın materyal metot bölümünde kesir dereceli sistemlerde, zaman gecikmeli sitemlerden ve FPGA yapılarından bahsedilmiştir. Ayrıca bu bölümde Sprot H kaotik sisteminin kesir derecesi hesabı yapılarak simülasyon sonuçları verilmiştir. Bulgular ve tartışma bölümünde ise tasarlanan kontrolör ile kesir dereceli sistemin benzetim çalışması ve senkronizasyon zamanını tespiti gösterilmiştir. Benzetim yapılan çalışmanın FPGA deneysel uygulaması gerçekleştirilerek senkronizasyon sonuçları paylaşılmıştır. Son olarak çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Kaos tabanlı haberleşme sistemlerinde sürekli senkronizasyon çalışmalarında ilk olarak Pecora-Carrol tarafından gerçekleştirilen farklı başlangıç şartları için aynı dinamik yapının farklı dinamikleri kullanılarak bir yöntem önerilmiştir (Pecora ve Carrol, 1990). Önerilen yöntemin basitliği ve kullanılabilirliği kaotik haberleşme sistemlerinde kullanımının önünü açmış ve birçok yöntemde benzer şekilde araştırılmasını sağlamıştır (Çavuşoğlu ve ark., 2014; Riaz ve Ali, 2008; Pecora ve Carrol, 1990; Bai ve Lonngren, 1997; Liao ve Lin, 1999; Uçar, 2003; Huang ve ark., 2004; Park, 2005; Wang ve Liu, 2007). Kaos tabanlı dinamik yapıların senkronizasyonu için birçok yöntem önerilmektedir. Bu yöntemler, uyarmalı kontrol (Liao ve Lin, 1999), aktif kontrol (Bai ve Lonngren, 1997; Liao ve Lin, 1999; Uçar ve ark., 2003), geri beslemeli kontrol (Huang ve ark., 2004; Park, 2005) ve pasif kontroldür (Wang ve Liu, 2007). Ancak iki sistemin senkronizasyonunun önündeki en büyük problem zaman gecikmesidir. Zaman gecikmeleri sadece elektronik devreler için değil birçok sistemde görülen bir durumdur. Örneğin, biyolojik, kimyasal, canlılar gibi örneklendirilebilir (Zhong, 2006). Yani bu sistemlerde etki tepki arası bir zaman gecikmesine bağlıdır. Örneğin bir kanser hücresi uzun süreli olumsuz etkilerin bir ürünüdür. Benzer durum elektronik tabanlı devre ve haberleşme sistemleri için de söz konusudur. Ancak sistemlerin modellenmesinde bu zaman gecikmelerin ihmal edilmesi sistemlerin gerçek davranışının kaybolmasına neden olmaktadır. Özellikle kaotik tabanlı haberleşme sistemlerinde zaman gecikmelerinin ihmalı alıcı devrelerde sistemin senkronizasyonunu zorlaştırmaktadır.

Bu bölümde çalışmada kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir. İlk olarak kesir dereceli kaotik

sistemlerin literatür, temel analiz ve hesaplama örnekleri verilmektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan Sprot H kaotik osilatörünün kesir dereceli hesabı ve faz-uzay gösterimleri sunulmuştur. Diğer taraftan zaman gecikmeli sitemlerin çalışmadaki önemi ve literatür özeti verilerek çalışmanın önemi açıklanmıştır. Son olarak önerilen çalışmanın deneysel uygulamasının yapılacağı FPGA gömülü sistemler ve üstünlüklerinden bahsedilmektedir.

2.1. Kesir Dereceli Kaotik Sistemler

Kesir dereceli sistemler ilk olarak 17. Yüzyılın sonlarında Leibniz tarafından incelenmiş olmasına rağmen, Liouville ve Rieman tarafından 20. Yüzyılın başlarında tanıtılmıştır (Oldham ve Spanier, 1974; Nishimoto, 1984). Bu çalışmalar ile kesir dereceli eşitlikler kullanılarak birçok sistem tam olarak ifade edilebilmiş ve neticesinde sistemlerin davranışları ortaya konabilmiştir (Oustaloup ve ark., 2000). Kesir dereceli sistemlerin kullanılması, doğrusal olmayan sistemlerin, güç sistemlerinin ve kontrol sistemlerinin tasarımını büyük ölçüde etkilemiştir (Jin ve ark., 2011; Petras, 2011; Herzallah, 2014; Udita, 2014). Kesir dereceli olarak tasarlanmış sistemlerin, özellikle doğrusal olmayan sistemlerde, tamsayı dereceli sistemlerden daha iyi performans gösterdiği ortaya konmuştur (Ma ve ark., 2014). Doğada oluşan problemlerin kesir dereceli operatörlerle modellenmesi ve elde edilen modellerin tamsayı dereceli eşitliklerle karşılaştırılması yoluyla gerçek sistem davranışının elde edildiği bulunmuştur (Petras ve Bednarova, 2009). Kesir dereceli türevler ve integratörler, Grünwald-Letnikov, Liouville-Riemann ve Charef yaklaşım yöntemleri ile açıklanmıştır (Podlubny, 1999).

Mühendislik biliminde zaman domenindeki doğrusal sistemlerin frekans domeninde modellenmesinde Laplace dönüşüm metodu ve ters laplace metodu kullanılmaktadır. Bu çalışmada kesir dereceli kaotik sistemlerin yüksek frekanslarda sayısal tabanlı FPGA ile gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. FPGA tasarımında kesir dereceli operatörler öncelikle frekans domeninde modellendikten sonra ters laplace ile zaman HDL koduna dönüştürülerek gerçekleştirilebilir. Bu nedenle kesir dereceli sistemlerin frekans domeninde modellenmesine en uygun tanımlamalardan biri Charef yaklaşım metodudur (Charef ve ark., 1992). Charef yaklaşım metodu ile s-domeninde kesir dereceli sistemin sürekli zamanlı yaklaşımı elde edilmektedir.

Bu yöntem ile kesir dereceli integral hesabının tam dereceye yakınsamış Laplace transfer fonksiyonu elde edilir (eşitlik 1).

$$I^{\alpha}_{(s)} = \frac{1}{s^{\alpha}} \quad (1)$$

Eşitlikde; $s=j\omega$ kompleks frekans, α pozitif kesir derecesini temsil etmektedir (eşitlik 2).

$$I^{\alpha}_{(s)} = \frac{1}{s^{\alpha}} \approx \frac{1}{\left(1+\frac{s}{p_T}\right)^{\alpha}}, 0 < \alpha < 1 \quad (2)$$

Burada, yakınsatılmış transfer fonksiyonunun

hesaplanmasında; p_T köşe frekansı, p_0 ilk kutup değeri, y dB olarak hata oranını belirtmektedir. Son kutup olan p_N değeri ise N tarafından belirlenmektedir. $1/p_T$: durulma zaman sabitini temsil etmektedir. Buna göre kesir dereceli transfer fonksiyonu (eşitlik 3) ile ifade edilmektedir.

$$I^\alpha(s) = \frac{1}{s^\alpha} \approx \frac{1}{\left(1 + \frac{s}{p_T}\right)^\alpha} \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\prod_{i=0}^{N-1} \left(1 + \frac{s}{z_i}\right)}{\prod_{i=0}^N \left(1 + \frac{s}{p_i}\right)}, \quad (3)$$

Transfer fonksiyonunun kutup ve sıfırları eşitlik 4 ile ifade edilmektedir. Eşitlik 5 ile $N-1$ sıfır ve kutup oranını ifade eden a , $N-1$ kutup ve sıfır oranını ifade eden b ve ab değerleri eşitlik 6 ile verilmektedir.

$$p_0 = p_T 10^{[y/20\alpha]}, z_0 = p_0 10^{[y/10(1-\alpha)]}, p_1 = z_0 10^{[y/10\alpha]}, z_1 = p_1 10^{[y/10(1-\alpha)]} \quad (4)$$

$$z_{N-1} = p_{N-1} 10^{[y/10(1-\alpha)]}, p_N = z_{N-1} 10^{[y/10\alpha]} \quad (5)$$

$$a = 10^{[y/10(1-\alpha)]} \quad b = 10^{[y/10\alpha]} \quad ab = 10^{[y/10\alpha(1-\alpha)]} \quad (6)$$

Elde edilen bu kısaltmalarla transfer fonksiyonu eşitlik 7 ile verilmiştir. Ayrıca transfer fonksiyonunun boyutunu gösteren N ifadesi ise eşitlik 8 ile verilmektedir.

$$I^\alpha(s) = \frac{1}{s^\alpha} \approx \frac{1}{\left(1 + \frac{s}{p_T}\right)^\alpha} \approx \frac{\prod_{i=0}^{N-1} \left(1 + \frac{s}{z_i}\right)}{\prod_{i=0}^N \left(1 + \frac{s}{p_i}\right)} = \frac{\prod_{i=0}^{N-1} \left(1 + \frac{s}{(ab)^i a p_0}\right)}{\prod_{i=0}^N \left(1 + \frac{s}{(ab)^i p_0}\right)}, \quad (7)$$

$$N = \text{int} \left(\frac{\log\left(\frac{\omega_{max}(0)}{p_0}\right)}{\log(ab)} \right) \quad (8)$$

Charef yaklaşım metodu ile elde edilen s^α değeri bu eşitliklerle belirli frekans aralıklarında belirli hata oranı ile yaklaşık olarak frekans domeninde elde edilebilmektedir.

2.2. Zaman Gecikmeli Kaotik Sistemler

Zamana bağlı gecikmeli sistem, giriş sinyali veya değişkeninin, sistem çıkışını aynı anda etkilemediği, ancak belirli bir zaman gecikmesiyle sisteme etki ettiği bir sistem türüdür. Fiziksel ve kimyasal yapıların matematiksel modelleri genellikle anlık durumlara dayanır, ancak zaman gecikmeli sistemlerde, geçmiş durumlar da dikkate alınır. Bu tür sistemlere zaman gecikmeli sistemler adı verilir. Zaman gecikmeli sistemlerin matematiksel modelleri, geçmiş zamana dayalı olduğundan sistem davranışını analiz etmek ve kontrol etmek daha karmaşıktır. Zaman gecikmesi genellikle $e^{-\theta s}$ gibi bir üstel fonksiyon kullanılarak ifade edilir. Üstel fonksiyonun köklerinin sonsuz sayıda olması nedeniyle, zaman gecikmeli sistemler genellikle sonsuz boyutlu fonksiyonel diferansiyel eşitlikler sınıfına dahil edilirler (Michiels ve Niculescu, 2007). Gerçek dünyada zaman gecikmeleri oldukça yaygındır ve yapılan araştırmalar, zaman gecikmesinin küçük bir değişikliğinin kaotik sistemin dinamik davranışını önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermektedir. Kaotik tabanlı sistemler için önerilen ve uçar modeli olarak bilinen sistem ile zaman gecikmeleri eşitlik 9 ile ifade edilmektedir.

$$\frac{dx}{dt} = \delta x(t - \tau) - \varepsilon [x(t - \tau)]^3, (t \geq t_0) \quad (9)$$

Eşitlik 9 ile verilen tanımlamada, δ ve ε pozitif parametreleri, t_0 başlangıç aralığını ifade eder. τ (0'dan farklı), sistemin başlangıcı ile etkisi arasındaki zaman gecikmesini tanımlamaktadır. Literatürde kesir dereceli kaotik tabanlı bir haberleşme sisteminde bilgi sinyalinin elde edilmesi incelenmiştir. Bu sistem şu şekilde formüle edilmiştir (eşitlik 10).

$$\begin{cases} D^\alpha x = (25\beta + 10)(y - x) \\ D^\alpha y = (28 - 35\beta)x - xz + (29\beta - 1)y \\ D^\alpha z = xy - \frac{(8+\beta)z}{3} \end{cases} \quad (10)$$

Eşitlik 10 ile verilen örneklendirilen kaotik sistem eşitlik 11'de verilen zaman gecikmeli yapıya dönüştürülmüştür.

$$\begin{cases} D^\alpha x = (25\beta + 10)(y - x(t - \tau)) \\ D^\alpha y = (28 - 35\beta)x - xz + (29\beta - 1)y(t - \tau) \\ D^\alpha z = xy - \frac{(8+\beta)z(t - \tau)}{3} \end{cases} \quad (11)$$

Çok kanallı haberleşme sistemlerinde ise ağların tümünde senkronizasyonu sağlamak oldukça zordur. Bu nedenle karmaşıklığı azaltacak bir çözüm yöntemi tercih edilmelidir. Bulanık mantık ile kesir dereceli kaotik sistemlerde karmaşıklığı azaltmak için birçok uygulama gerçekleştirilmiştir (Jafari ve ark., 2019; Ma ve Ma, 2019). Bu yöntemlerden Takagi-Sugeno (T-S) kaotik dinamik yapılarda çok kullanışlı bir modelleme aracı olduğu gösterilmiştir (Mohammadzadeh ve ark., 2016; Mohammadzadeh ve Ghaemi, 2018). Ayrıca, kesir dereceli sistemlerin T-S bulanık model gösterimi hakkında birkaç çalışma yapılmıştır (Wang ve ark., 2018). Ancak zaman gecikmeli kesir dereceli sistemlerin matematiksel modellemesi ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır.

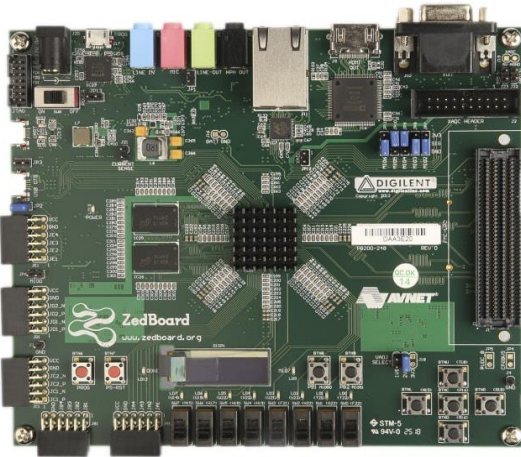
Sonuç olarak, ağların eşzamanlı olarak tanımlanması ve senkronizasyonu için yapılan çalışmalar sabit ağ yapıları ile sınırlıdır ve bu çalışmaların çoğu (Wang ve ark., 2018) tam sayı dereceli dinamikler ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile zaman gecikmeli kesir dereceli bir kaotik sistem bir haberleşme sisteminde gerçek zaman sistem davranışı ile elde edilmesi ve tümleşik devre yapıları ile gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

2.3. FPGA Tabanlı Devre Uygulamaları

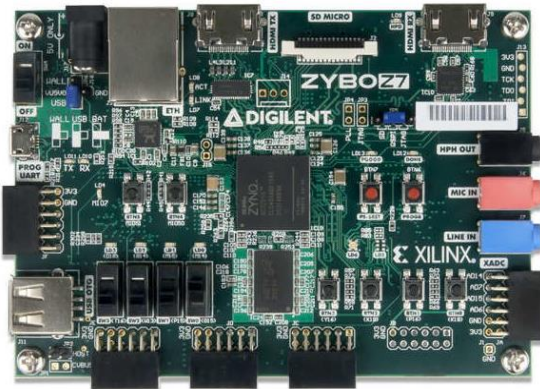
Çalışmada önerilen sistemlerin ayrık devre elemanları kullanılarak gerçekleştirilmesi zor olduğundan programlanabilir tümleşik yapılar kullanılır. Kaos tabanlı elektronik devrelerin ayrık devre elemanlarıyla gerçekleştirilmesindeki zorluklar ASIC, DSP, FPGA gibi sayısal tabanlı tümleşik devre yapıları ile aşılmıştır. ASIC yapı ile kaotik üreteçlerinin yüksek performanslı devre yapıları olduğu görülmektedir. Fakat ASIC tabanlı kaos üreteçlerinin ilk kurulum maliyetinin yüksek ve sahada değiştirilemeyen tasarım yöntemi en önemli dezavantajları olduğunu göstermektedir. O yüzden üretim sırasında yapılacak bir hata çok ciddi mali kayıplara yol açabilir. DSP tasarım metodunun ise düşük frekanslı oldukları gözlemlenmektedir. Bundan dolayı tasarımı yapılan sistemlerin yavaş çalışmasına sebep olur. Ve bir diğer sayısal tabanlı devre yapısı olan FPGA

tabanlı tasarımda bu dezavantajlar bulunmamaktadır. FPGA kullanılarak elde edilen yapıların değiştirilebilir olmaları, aynı anda işlem yapabilmeleri ve çok yüksek anahtarlama frekansları sayısal sistemler için çok önemlidir (Gürses ve ark., 2006). FPGA yapılar, özellikle teknolojinin hızlıca geliştiği son zamanlarda medikal, savunma, radar, işaret işleme, uzay, otomotiv endüstrisi gibi geniş bir alanda kullanılmaktadır (Özer ve Zorlu, 2012). Fourier dönüşümü ve konvolüsyon gibi yüksek performans gerektiren matematiksel döngülerde FPGA yapılar kullanılmaktadır. FPGA tümleşik yapıları alanda programlanabilen sayısal tabanlı donanımlardır. FPGA yapılar programlanabilen entegre blokları olarak da bilinir. En önemli özellikleri aynı anda işlem yapmalarıdır. Böylelikle aynı anda birçok görevi veya hesaplamayı yapabilirler (Koyuncu, 2014). Bilinen entegre devre yapıları paralel işlem yapamazlar. En çok bilinen FPGA yapıları Xilinx ve Altera firmalarının ürettiği kartlardır. Xilinx firması tarafından üretilen geliştirme kartları ZedBoard Zynq-7000 Şekil 1'de ve Zybo Z7-20 Şekil 2'de gösterilmektedir.

Bu çalışma, kesir dereceli kaotik sistemlerin zaman gecikmeli sistemlerde senkronizasyon süresini kısaltmak için bir kontrolör tasarımı ve güvenilir haberleşme sistemlerindeki FPGA uygulamalarını içermektedir. Yüksek çalışma frekansları ve paralel işlem yapma kabiliyetleri nedeniyle FPGA yapılar kesir dereceli sistem tasarımında ön plana çıkmaktadır.



Şekil 1. Xilinx ZedBoard Zynq-7000 geliştirme kartı.

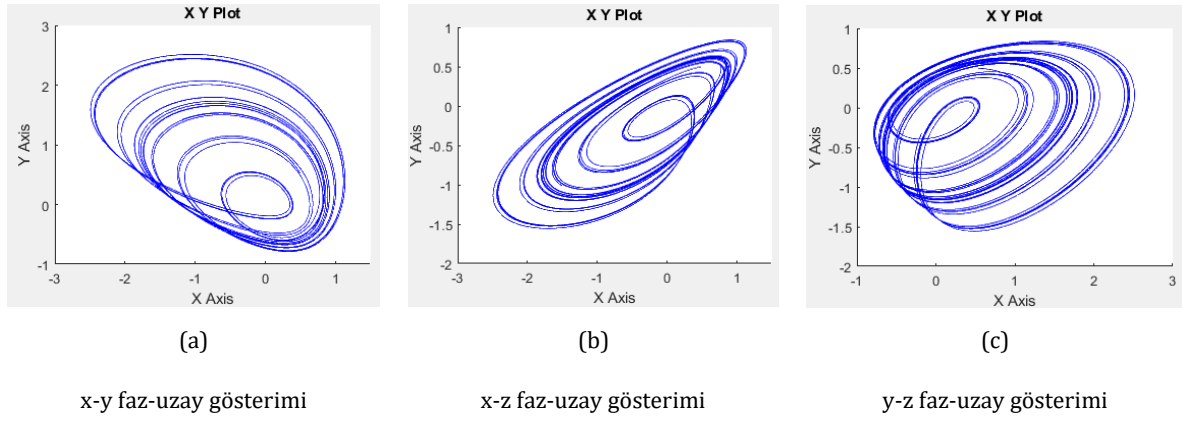


Şekil 2. Xilinx Zybo Z7-20 geliştirme kartı.

3. Bulgular ve Tartışma

Günümüzde birçok problemin araştırılması, çözümü ve kontrolü için matematiksel modellenmesi oldukça önemlidir. Matematiksel modellemelerde sistemin gerçek davranışının tam olarak belirlenememesi ve yakınsayan sonuçların elde edilmesi özellikle sürekli tekrarlanan sistemlerde önemli hata mekanizmalarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu durumda sistemin kontrol edilebilirliği zorlaşır ve sistem kararsız bir duruma gidebilir. Kararlılık birçok sistem ve uygulamalarda önemli bir problem olarak araştırma konusu olmuştur. Sistemin kararlılığını etkileyen en önemli parametrelerden biri zaman gecikmesidir. Diğer taraftan problemlerin gerçek sistem davranışlarının belirlenmesi de kontrol sistemleri için oldukça önemlidir. Elektrik, pnomatik ve hidrolik ağlar, kimyasal prosesler, uzun haberleşme hatları vb. gibi sistemlerde gecikmeyle çok sık karşılaşılmaktadır. Gecikmeler birçok fiziksel ve mühendislik sisteminin doğasında vardır. Gecikmeler özellikle haberleşme sistemlerde olumsuz etkilerini ideal olarak temsil etmek için kullanılır. Bu sistemler sadece diferansiyel eşitliklerle tanımlanamaz. Özellikle kontrol sistemlerinde gerçek sistem davranışının modellenememesi sistemin kontrol edilebilirliğini zorlaştırmaktadır. Benzer durumlar kararsız sistemlerin durumunu koruması içinde geçerlidir. Bilindiği gibi dışarıdan kararsız gibi görünen ancak kendi içerisinde bir düzen bulandıran yapılar vardır. Düzensiz ve kararsız gibi görünen bu sistemlerin matematiksel modellenmesini mümkün kılan doğrusal olmayan sistemler vardır. Doğrusal olmayan dinamik eşitlikler ile matematiksel olarak tanımlanabilen bu eşitlikler kaotik sistemlerin modellenmesinde de kullanılmaktadır. Kaotik sistemler meteorolojiden, uzay bilimine, sağlıktan, kontrol sistemlerine ve güvenilir haberleşme gibi birçok uygulama alanı vardır.

Kesirli dereceli sistemlerde, kaotik sistemi modellemek için kesirli dereceli bir türev alıcı kullanılır. Bu çalışmada Simulink kullanılarak benzetimi, FPGA kullanılarak ise deneysel çalışması kesir dereceli olarak, frekans domeninde ifade edilmiştir. Bunun için Charef yaklaşımı kullanılır. Öncelikle kaotik sistemin frekans alanındaki Sprott_h kesirli transfer fonksiyonu Simulink'te ve ardından FPGA'da uygulanmıştır. Sprott H sistemine ait durum eşitlikleri aşağıda verilmiştir (Sprott, 1994). Uygulamada Sprott H kaotik üreticinin kesir derecesi $q_1 = q_2 = q_3 = 0,92$ için analiz yapılmış ve elde edilen benzetim sonuçları aşağıda Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. Sprott H kesir dereceli kaotik sistemin faz uzay gösterimi.

Eşitlik 12 ve 13'de x, y, z durum değişkenlerini (state controls), ifade etmektedir. Sistemin başlangıç şartları $x(0)=0.05, y(0)=0.05, z(0)=0.05$ şeklindedir.

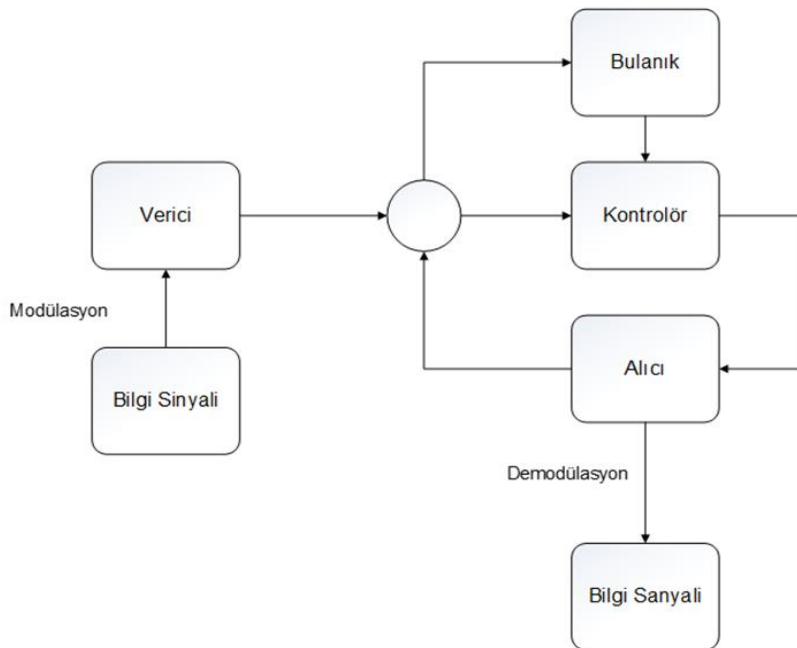
$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= -y + z^2 \\ \frac{dy}{dt} &= x + 0,5y \\ \frac{dz}{dt} &= x - z \end{aligned} \quad (12)$$

$$H(s) = \frac{num(s)}{den(s)} = \frac{2,271s^2+490,24s+630,95}{s^3+361s^2+776s+10} \quad (13)$$

Doğrusal olmayan dinamik eşitlikler ve zamanla değişen gecikmelerle hızlı anahtarlama topolojisine sahip kesir dereceli ağların tanımlanması ve senkronizasyonu için bir yöntem tasarlamak gerekli görünmektedir. Bu nedenle kesir dereceli ağın tanımlanması için yine kesir dereceli zaman gecikmeli doğrusal olmayan dinamik yapıların tanımlanması gerekmektedir. Ayrıca, kesir dereceli zaman gecikmeli ağların senkronizasyonu için bulanık modellere dayalı fonksiyonların tanımlanması gerekmektedir.

Güvenli haberleşme sistemi için önerilen kontrolörün blok şeması Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi iki kaotik sisteme ihtiyaç vardır. Bilgi sinyalleri vericide modüle edilir ve alıcıda algılanır. Alıcı tarafına senkronizasyon ve parametre tahmin hatalarını sıfıra yakınsayan bir kontrolör eklenmiştir. Bu kontrolör bulanık bir yöntem kullanarak gerçekleştirilmektedir. Kontrolörün amacı senkronizasyonun en kısa sürede tüm düğüm noktaları için gerçekleştirilmesidir.

Çalışmada dinamik ağ yapısı, haberleşme sisteminde sürekli senkronizasyon ile gerçekleştirilmiştir. Bunun için master tarafında zaman gecikmeli-kesir dereceli tanımlanan kaotik taşıyıcı n düğüm noktası için bir matris formuna dönüştürülmüştür. Master tarafında n dinamik yapısı için elde edilen matrisin köşegen matrisi ile Slave yapıda T-S bulanık kontrolcü ile elde edilen matrisin köşegenleri sürekli olarak bir hata fonksiyonu üretirek karşılaştırma yapılmıştır. Kontrolcü geri besleme ile hata fonksiyonunu sıfıra indirerek sürekli senkronizasyon sağlanmıştır.



Şekil 4. Önerilen modelin blok diyagramı.

Eşitlik 14 ve eşitlik 15'te iki sistemi sırasıyla verici ve alıcı olarak tanımlanmaktadır. Verici tarafındaki parametre modülasyonu şu şekilde tanımlanır.

$$\hat{p}_i = p_i(t) + m_i(t) \quad (14)$$

Alıcı tarafındaki tanımlama ise,

$$\hat{p}'_i = p'_i(t) + m'_i(t) \quad (15)$$

Senkronizasyon hatası şu şekilde tanımlanır (eşitlik 16):

$$\begin{cases} e_1 = x' - x \\ e_2 = y' - y \\ e_3 = z' - z \end{cases} \quad (16)$$

Ve parametrelerde bilgi sinyalinin hatası (eşitlik 17 ve 18),

$$e_{p_i} = \hat{p}_i - \hat{p}'_i \quad (17)$$

$$e_{m_i} = m'_i(t) - m_i(t) \quad (18)$$

Sistemde asıl amaç, senkronizasyon ve güvenli haberleşme sağlamak için uygun kontrolör tasarlamaktır. Kontrolör, zaman geçirerek aşağıdaki durumlarda eş zamanlı olarak sıfıra yakınsama sağlamaktadır.

$$1 - \|x(t) - x'(t)\|$$

$$2 - \|\hat{p}(t) - \hat{p}'(t)\|$$

$$3 - \|m(t) - m'(t)\|$$

Yukarıda modellenen sistem matematiksel olarak iki düğüm noktası için aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Buna göre master devredeki zaman gecikmeli-kesir dereceli sistem için elde edilen eşitlik aşağıda verilmiştir (eşitlik 19).

$$\frac{d^\alpha x_i(t)}{dt^\alpha} = f(x_i(t)) + Ax_i(t - \tau) + \sum_{j=1}^N \sigma_{ij} x_j(t) + \sum_{j=1}^N \omega_{ij} x_j(t - \tau) \quad (19)$$

Eşitlikde; σ_{ij} köşegen matris elemanlarını, ω_{ij} zaman gecikmeli bölümlerin köşegen matrisinin elemanlarını ifade etmektedir. Slave devre için ise aşağıdaki eşitlik 20 kullanılmıştır.

$$\frac{d^\alpha y_i(t)}{dt^\alpha} = f(y_i(t)) + Ay_i(t - \tau) + \sum_{j=1}^N \sigma'_{ij} y_j(t) + \sum_{j=1}^N \omega'_{ij} y_j(t - \tau) + u_i \quad (20)$$

Bu iki sistem arasındaki hata fonksiyonu ise (eşitlik 21);

$$\frac{d^\alpha e_i(t)}{dt^\alpha} = \sum_{j=1}^N \bar{\sigma}_{ij} y_j(t) + \sum_{j=1}^N \bar{\omega}_{ij} y_j(t - \tau) + u_i \quad (21)$$

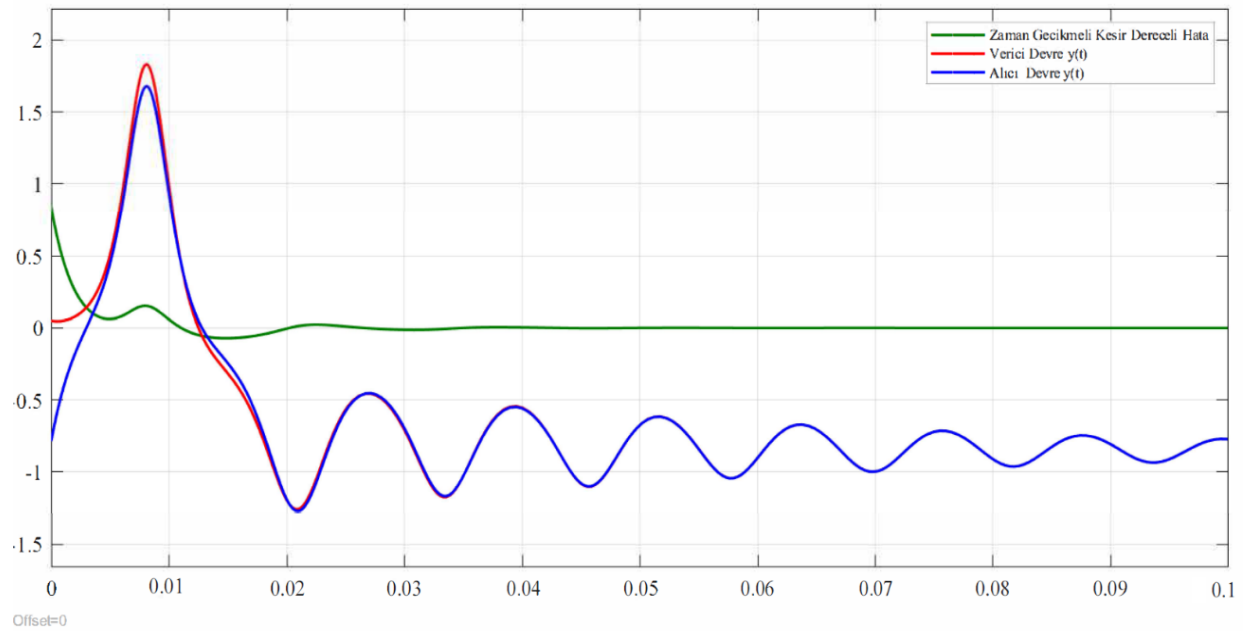
olarak ifade edilir. Master-Slave devrelerde köşegen matris elemanlarının hata fonksiyonu $\bar{\sigma}_{ij} = \sigma'_{ij} - \sigma_{ij}$ ve zaman gecikmeli sistemin hata fonksiyonu $\bar{\omega}_{ij} = \omega'_{ij} - \omega_{ij}$ olarak gösterilir. Senkronizasyon anında hata fonksiyonlarının sıfır olması gerekmektedir.

Buradan eşitlik (12) ile verilen kesir dereceli hesaplanmış Sprot H taşıyıcı osilatörü düzenli bir karmaşık ağın yapısı olarak eşitlik (22) gibi tanımlanmıştır:

$$\begin{cases} D_t^{q_1} x_i(t) = -a y_i(t) - e z_i^2(t), \\ D_t^{q_2} y_i(t) = b x_i(t) - k y_i(t) + c \sum_{j=1}^N \mu_{ij} y_j, \\ D_t^{q_3} z_i(t) = -d z_i(t) + m x_i(t), \end{cases} \quad (22)$$

$i = 1, 2, 3, 4, \dots, 9$ için $q_1 = q_2 = q_3 = 0.91$ 'dir ve $a=1, e=-1, b=1, k=-0.5, d=1, m=1$.

Şekil 5 ile $j = 1, 2, 3, \dots, 9$ için $x_j(t)$ durum değişkenlerinin zaman gecikmesini gösterir ve burada senkronizasyon sağlanmış olur.



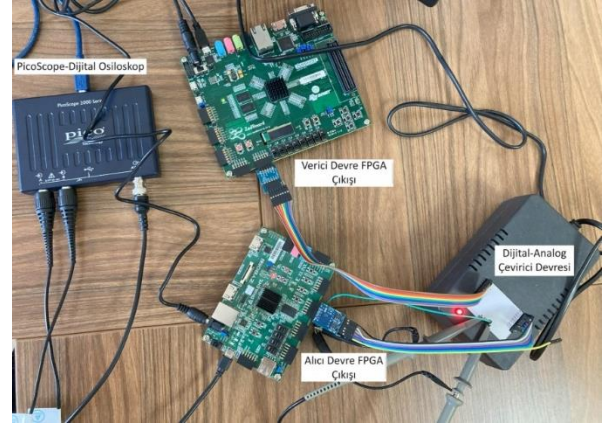
Şekil 5. Zaman gecikmeli kesir dereceli modelin benzetimi. Kırmızı renkli sinyal verici, mavi sinyal alıcı sinyali sembolize etmektedir. Yeşil sinyal ise alıcı verici sinyallerin hata miktarını göstermektedir.

Benzetimi yapılan çalışmanın sonuçları incelendiğinde 0.05 saniyenin altında sistem senkronize olmuştur. Bu sonuç ile daha az bilgi sinyalinin hata sinyaline dönüşmesi sağlanmıştır. Yapılan çalışmadaki sonuç senkronizasyon sürelerinin kısaltılmasıyla mümkün olmaktadır. Genel olarak kaos tabanlı güvenli haberleşme sistemlerinin amacı alıcı devreye iletilecek sinyalin gizlenmesidir. Yaygın olarak kullanılan yöntemlerde, iletilen bilgi sinyali bir kaotik durum değişkeni ile gizlenmektedir. Bu gizlenen sinyal daha sonra, farklı gürültü seviyeleri ve gürültü çeşitliliğinden alıcıya iletilir. Gerek simülasyonda gerekse de FPGA uygulamalarında rastgele üretilen Gaussian gürültü eklenerek senkronizasyon sağlanmıştır. Alıcı devre modülü sinyali aldığı anda, iletilen sinyalin yeniden elde edilebilmesi için öncelikle taşıyıcı sinyalin tekrarlanması gerekmektedir. Ancak taşıyıcı sinyalin yeniden elde edilmesi gerek doğrusal olmayan dinamik eşitliklerin yapısından gerekse de zaman gecikmelerinden dolayı oldukça zordur. Bir haberleşme sisteminde gürültünün dikkate alınmasıyla bilgi sinyalinin iletilmesi birçok parametre dahil edilmiş olur. Tüm bu analizleri kesir dereceli kaotik sistemler kullanarak yapmak, önerilen haberleşme sistemini diğer türlere göre daha güvenli ve gerçek sistem davranışının elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

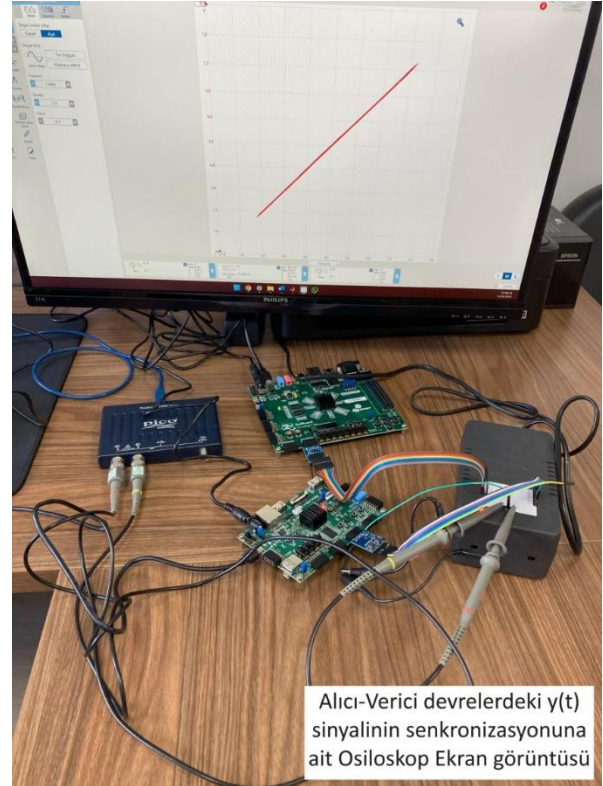
Benzetimi yapılan çalışmanın deneysel uygulamasında FPGA yapıları kullanılmıştır. Tasarlanan çalışmada gerek kontrolörün gerekse de kesir dereceli sistemin ayrık devre elemanları ile gerçekleştirilmesi oldukça zordur. Ayrıca kaos tabanlı haberleşme sistemi ve kaotik osilatörün kesir dereceli elde edilmesi eklendiğinde tüm bu işlemler için yüksek frekanslı ve paralel işlem yapabilen bir tüm devre ihtiyacı doğmaktadır. Tüm bu nedenlerden dolayı FPGA geliştirme kartı kullanılarak çalışmanın uygulama devresi ve analizleri gerçekleştirilmiştir.

Kontrolör ve diğer tüm tasarımlarda Matlab Simulink Xilinx matematiksel bloklar kullanılmıştır. Yukarıda verilen matematiksel eşitlikler kesir dereceli kaotik yapıların FPGA uygulamalarında kullanıldığı gibi verici devrede blok yapılar co-simülasyon kullanılarak FPGA aktarımı sağlanmıştır. Ayrıca Simulink HDL-Coder toolbox kullanılarak alıcı devre için ise VHDL kod dönüşümü ile kod aktarımı sağlanmıştır. Böylelikle alıcı devre FPGA içerisine gömülerek bilgisayardan ve Matlab'dan bağımsız çalıştırılması sağlanmıştır. Şekil 6 ile uygulama devre şeması verilen deneysel çalışmada iki adet Xilinx geliştirme kartı kullanılmıştır. Ayrıca burada alıcı devre çıkışı ve verici devre çıkışındaki sinyallerin karşılaştırılması analog olarak elde edilmiştir. FPGA kart çıkışındaki alıcı-verici datalarının 8 bitlik dijital verisi DAC kullanılarak analog sinyale çevrilmiştir. Daha sonra elde edilen iki analog sinyal Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterildiği gibi PicoScope kullanılarak gözlemlenmiştir. Çalışmada önerilen zaman gecikmeli kesir dereceli kaotik tabanlı sistemin matematiksel modellemesinde ilk olarak kaotik taşıyıcı sinyalin kesir dereceli analizi Charef

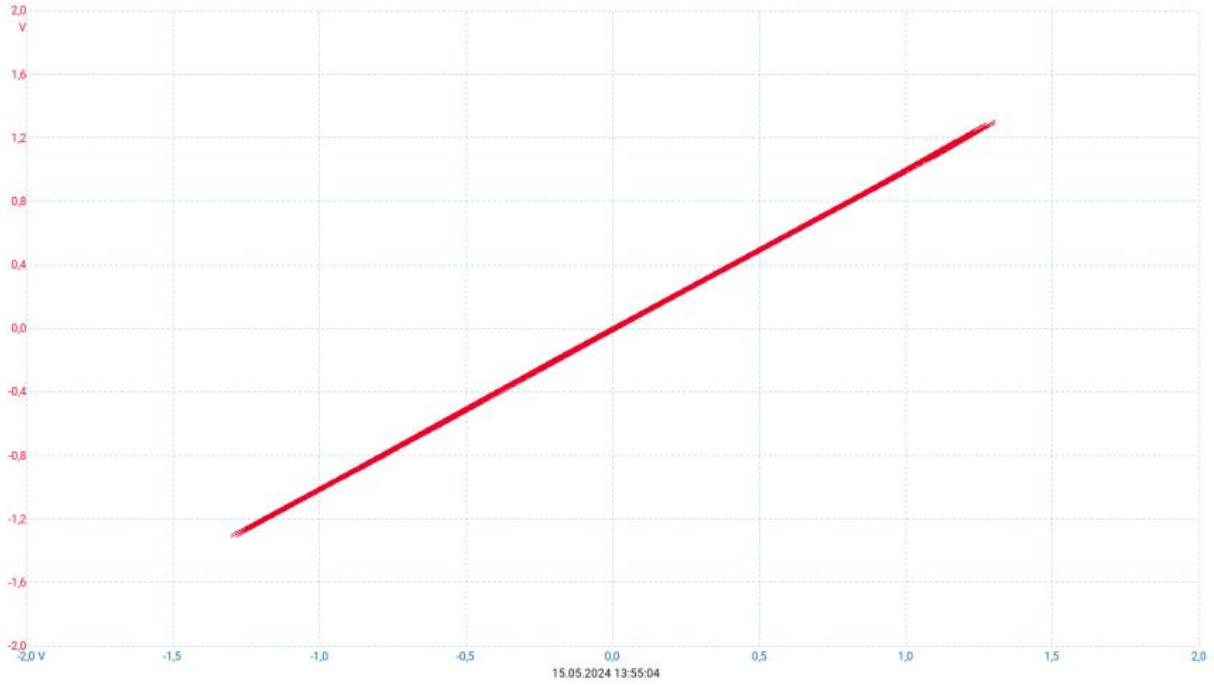
yaklaşım metodu ile yapılmıştır. Devamında alıcı devrede zaman gecikmeli olarak kesir dereceli kaotik taşıyıcı sinyalin elde edilmesinde her bir düğüm noktası için oluşturulan ağ matrisin köşegenlerinin hata fonksiyonu geri beslemesi ile sağlanarak dahil edilmiştir. Çalışma kapsamındaki amaç doğrultusunda önerilen sistem matematiksel olarak modellenerek benzetim ve FPGA uygulaması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. FPGA ve DAC kullanılarak gerçekleştirilen uygulamanın deneysel bağlantıları.



Şekil 7. FPGA kart çıkışındaki alıcı-verici sinyallerin senkronizasyonu ve deneysel bağlantıları.



Şekil 8. FPGA çıkışındaki alıcı-verici sinyallerin senkronizasyonu.

4. Sonuç

Bu çalışmada, kesir dereceli kaotik sistemlerde zaman gecikmeli kaotik sistemlerin senkronizasyon süresini kısaltmak için bir kontrolör tasarımı gerçekleştirilmiş ve neticesinde haberleşme sistemlerinde kısa sürelerde senkronizasyon sağlanmıştır. Alıcı devrelerde tasarlanan kontrolör zaman gecikme parametrelerini de dahil ederek hızlı bir senkronizasyon sağlanmıştır. Böylece senkronizasyon olana kadar gerçekleşen hatalı bit sayıları azaltılmıştır. Buna ek olarak çalışma yüksek frekanslarda ve paralel çalışma kabiliyeti olan FPGA ile deneysel uygulaması gerçekleştirilmiş ve benzetim çalışmaları doğrulanmıştır. Çalışma neticesinde elde edilen bulgular ile sadece haberleşme sistemlerinde değil; kontrol, kararlılık problemleri ve optimizasyon çalışmaları içinde faydalı olacaktır. Sürekli tekrarlanan ve yüksek frekanslarda çalışan sistemlerde önemli kayıp ve kararsızlığa neden olan zaman gecikmelerinin neden olduğu problemlerin tespit ve azaltılmasında uygulanabilecektir. Özellikle savunma sanayi odaklı birçok projede kısa sürelerde senkronizasyonun hedef bulma, hedef kilitleme gibi uygulamaların geliştirilmesi için de bir alt yapı oluşturacağı düşünülmektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	S.C.D.	K.A.
K	30	70
T	50	50
Y	30	70
VTI	60	40
VAY	60	40
KT	50	50
YZ	50	50
KI	50	50
GR	50	50
PY	50	50
FA	30	70

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çalışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 123E274 Numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- Bai EW, Lonngren KE. 1997. Synchronization of two Lorenz systems using active control. *Chaos Solutions Fractals*, 8: 51-58.
- Behinfaraz R, Badamchizadeh MA, Ghiasi AR. 2015. An approach to achieve modified projective synchronization between different types of fractional-order chaotic systems with timevarying delays. *Chaos Solitons Fractals*, 1(78): 95- 106.
- Behinfaraz R, Badamchizadeh MA. 2015. New approach to synchronization of two different fractional-order chaotic systems. In: 2015 The International Symposium on Artificial Intelligence and Signal Processing (AISP), 3-5 March, Mashhad, Iran, pp: 149-153.
- Behinfaraz R, Ghaemi S, Khanmohammadi S. 2019. Risk assessment in control of fractional-order coronary artery system in the presence of external disturbance with different proposed controllers. *Appl Soft Comput*, 1(77): 290- 299.
- Blakely J, Milosavljevic M, Corron N. 2018. Analytic solution for a complex network of chaotic oscillators. *Entropy*, 20(6): 468.
- Çavuşoğlu Ü, Uyaroğlu Y, Pehlivan İ., 2014. Sürekli zamanlı otonom kaotik devre tasarımı ve sinyal gizleme uygulaması. *J Fac Eng Archit Gazi Univ*, 29:79-87.
- Charef A, Sun HH, Tsao YY, Onaral B. 1992. Fractal system as represented by singularity function. *IEEE Trans Automat Contr*, 37(9): 1465-1470.
- Chua LO, Desoer CA, Kuh ES. 1987. *Linear and nonlinear circuits*. McGraw-Hill College, New York, USA, pp: 839.
- Cuomo KM, Oppenheim AV, Strogatz SH. 1993. Synchronization of Lorenz-based chaotic circuits with applications to communications. *IEEE Trans Circuits Syst II*, 40(10): 626-633.
- Divya H, Sakthivel R, Liu Y. 2021. Delay-dependent synchronization of TS fuzzy Markovian jump complex dynamical networks. *Fuzzy Sets Syst*, 30(416): 108- 124.
- Er MJ, Deng C, Su SF, Wang N. 2019. Fuzzy synchronization control of complex dynamical networks under network attacks and actuator faults. *Int J Fuzzy Syst*, 21(7): 2043- 2053.
- Gürses S, Akkaş N, Platin BE. 2006. Ters dönmüş bir sarkacın doğrusal olmayan konum denetiminden en büyük lyapunov üstelinin poincare kesitinden elde edilmesi. *J Ist K Univ Sci Eng*, 4(4): 121-137.
- Herzallah MA. 2014. Notes on some fractional calculus operators and their properties. *J Fract Calc Appl*, 5(19): 1-10.
- Huang L, Feng R, Wang M. 2004. Synchronization of chaotic systems via nonlinear control. *Phys Lett A*, 320:271-275.
- Jafari AA, Mohammadi SM, Nasiriyeh MH. 2019 Adaptive type-2 fuzzy backstepping control of uncertain fractional-order nonlinear systems with unknown dead-zone. *Appl Math Model*, 1(69): 506- 532.
- Jin Y, Chen YQ, Xue D. 2011. Time-constant robust analysis of a fractional order [proportional derivative] controller. *IET Control Theory Appl*, 5(1): 164-172.
- Kennedy MP, Kolumbán G. 2000. Digital communications using chaos. *Signal Proces*, 80(7): 1307-1320.
- Koyuncu İ. 2014. Kriptolojik Uygulamalar İçin FPGA Tabanlı Yeni Kaotik Osilatörlerin ve Gerçek Rasgele Sayı Üreteçlerinin Tasarımı ve Gerçeklenmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Tüekiyw, ss: 145.
- Kuo YL, Resmi IE. 2019. Model predictive control based on a Takagi- Sugeno fuzzy model for nonlinear systems. *Int J Fuzzy Syst*. 21(2): 556- 570.
- Lee RS. 2019. Chaotic interval type-2 fuzzy neuro-oscillatory network (CIT2-FNON) for Worldwide 129 financial products prediction. *Int J Fuzzy Syst*, 21(7): 2223- 2244.
- Li L, Liu X, Tang M, Zhang S, Zhang XM. 2021 Asymptotical synchronization analysis of fractional-order complex neural networks with non-delayed and delayed couplings. *Neurocomputing*, 20(445): 180- 193.
- Liao TL, Lin SH. 1999. Adaptive control and synchronization of Lorenz systems. *J Franklin Inst*, 336:925-937.
- Lorenz EN. 1963. Deterministic nonperiodic flow. *J Atmos Sci*, 20(2): 130-141.
- Ma S, Zheng J, Li Y. 2014. Chaos control and synchronization of a new fractional order chaotic system. *Int J Comput Sci*, 11(10): 3469-3479.
- Ma Z, Ma H. 2019. Adaptive fuzzy backstepping dynamic surface control of strict-feedback fractional-order uncertain nonlinear systems. *IEEE Trans Fuzzy Syst*, 28(1): 122- 133.
- Michiels W, Niculescu SI. 2007. *Stability and stabilization of time-delay systems: an eigenvalue-based approach*. Society for Industrial and Applied Mathematics, Gif-sur-Yvette, France, pp: 400.
- Mohammadzadeh A, Ghaemi S, Kaynak O, Khanmohammadi S. 2016. Observer-based method for synchronization of uncertain fractional order chaotic systems by the use of a general type-2 fuzzy system. *Appl Soft Comput*, 1(49): 544- 560.
- Mohammadzadeh A, Ghaemi S. 2018. Robust synchronization of uncertain fractional-order chaotic systems with time-varying delay. *Nonlinear Dyn*, 93(4): 1809- 1821.
- Nishimoto K. 1984. *Fractional calculus*. Decartess Press, Koriyama, Japan, pp: 96.
- Oldham KB, Spanier J. 1974. *The fractional calculus*. Academic Press, New York, USA, pp: 142.
- Ott E, Grebogi C, Yorke JA. 1990. Controlling chaos. *Phys Rev Lett*, 64(11): 1196.
- Oustaloup A, Levron F, Mathieu B, Nanot FM. 2000. Frequency-Band Complex Noninteger Differentiator: Characterization and Synthesis, *IEEE Trans Circuits Syst I Fundam Theory Appl*, 47(1): 25-39.
- Özer Ş, Zorlu H. 2012. Doğrusal olmayan par sistemler kullanılarak kaotik zaman serisi kestirimi. *J Fac Eng Archit Gazi Univ*, 27(2): 323-331.
- Park JH. 2005. Chaos synchronization of a chaotic system via nonlinear control. *Chaos Soliton Fractals*, 25:579-584.
- Pecora LM, Carrol TL. 1990. Synchronization in Chaotic Systems. *Phys Rev Lett*, 64(8): 821.
- Peitgen HO, Jürgens H, Saupe D, Feigenbaum MJ. 2004. *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*. Springer Science & Business Media, New York, USA, pp: 560-604.
- Petras I, Bednarova D. 2009. *Fractional-Order Chaotic Systems*. In: *Fractional-Order Nonlinear Systems*. Nonlinear Physical Science. Springer, Berlin, Heidelberg, pp: 103-184.
- Petras I. 2011. *Fractional-order nonlinear systems: Modeling, analysis and simulation*, Springer, New York, USA, pp: 205.
- Podlubny I. 1999. *Fractional differential equations*. *Math Sci Eng*, 198: 41-119.
- Qian Y, Hu W, Lin X, Wang B. 2011. Fractional order proportional integral controller for active queue management of wireless network, *Proceedings of the 30th Chinese Control Conference*, 22-24 July, Yantai, China, pp: 4406-4410.
- Rajaei R, Bagheri A, Ramezani A, Cornelius SP, Gao J. 2018. Designing pinning network controllability for interdependent dynamical networks. In: 2018 Annual American Control Conference (ACC), June 27-29, Milwaukee, WI, USA, pp: 3478-3483.
- Riaz A, Ali M. 2008. Chaotic communications, their applications and advantages over traditional methods of commination. In *Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing*, 6th International Symposium on IEEE, 22-25 April, Graz, Austria, pp: 21-24.

- Silva-Jua' rez A, Tlelo-Cuautle E, de la Fraga LG, Li R. 2021. Optimization of the Kaplan- Yorke dimension in fractional-order chaotic oscillators by metaheuristics. *Appl Math Comput*, 1(394): 125831.
- Sprott JC. 1994. Some simple chaotic flows. *Phys Rev E*, 50(2): R647.
- Uçar A, Lonngren KE, Bai EW. 2003. Synchronization of chaotic behavior in nonlinear Bloch equation. *Phys Lett A*, 314:96-101.
- Uçar A. 2003. On the chaotic behavior of a prototype delayed dynamical system. *Chaos Soliton Fractals*, 16:187-194.
- Udita NK. 2014. A new approach to generalized fractional derivatives. *B Math Anal App*, 6(4): 1-15.
- Wang F, Liu C. 2007. Synchronization of unified chaotic system based on passive control. *Physica D*, 225(1): 55- 60.
- Wang L, Zhang J, Sun W. 2018. Adaptive outer synchronization and topology identification between two complex dynamical networks with time-varying delay and disturbance. *IMA J Math Control Inf*, 36(3): 949- 961.
- Zhang H, Wang XY, Lin XH 2016. Topology identification and module-phase synchronization of neural network with time delay. *IEEE Trans Syst Man Cybern Syst*, 47(6): 885- 892.
- Zhao Y, Li X, Rao R. 2021. Synchronization of nonidentical complex dynamical networks with unknown disturbances via observer-based sliding mode control. *Neurocomputing*, 24(454): 441- 447.
- Zhong QC. 2006. Robust control of time-delay systems. Springer Science & Business Media, Liverpool, UK, pp: 216.
- Zhu J, Gong Z, Sun Y, Dou Z. 2021. Chaotic neural network model for SMISs reliability prediction based on interdependent network SMISs reliability prediction by chaotic neural network. *Qual Reliab Eng Int*, 37(2): 717- 742.



TAŞKIN DUYARLILIĞININ BEST-WORST YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ: SULUCA DERESİ HAVZASI (TOKAT) ÖRNEĞİ

Kemal ERSAYIN^{1*}, Mustafa YAŞ¹

¹Tokat Gaziosmanpaşa University, Faculty of Science and Letters, Department of Geography, 60000, Tokat, Türkiye

Özet: Taşkın, ani yağışlarla oluşabilecek büyük su kütlelerinin akarsu yataklarını doldurduğu ve yatak dışına çıkıp etrafına zarar verdiği bir doğa olayıdır. Taşkın duyarlılık çalışmalarında olası bir taşkın anında nerelerin etkilenip zarar göreceği önceden tahmin edilerek doğal bir olayın afet boyutuna geçmesini önlemek amaçlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında Tokat il sınırları içerisinde bulunan Suluca Deresi Havzası'nda taşkın gerçekleşme potansiyeline sahip alanların belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma Sahası, Orta Karadeniz Bölgesi'ndeki Tokat ili Merkez ve Niksar ilçeleri arasında önemli karayolu güzergahı üzerinde bulunan, en yüksek noktası 1565 metre ve en alçak noktası 372 metre olan 40,58 km² alana sahip Suluca Deresi Havzası'dır. Havzanın alçak kesimlerinde dar bir vadi içerisinde köylerin bulunması ve halihazırda inşası devam etmekte olan Tokat-Niksar Karayolu'nun da bu dar vadi içerisinden geçmesi çalışma alanının önemini artırmaktadır. Taşkın duyarlılık alanlarının belirlenmesinde arazi örtüsü, eğim, litoloji, profil eğriliği, sayısal yükselti modeli, topografik pozisyon indeksi ve topografik nemlilik indeksi olmak üzere toplam 7 parametre kullanılmıştır. Bu parametrelere çok kriterli karar verme yöntemlerinden Best-worst metodu ile ikili karşılaştırma uygulanarak parametrelerin birbirlerine kıyasla ağırlık değerleri elde edilmiştir. Bu ağırlık değerleri Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımı olan ArcGIS 10.5 programında ağırlıklı çakıştırma yöntemi ile değerlendirilmiş ve taşkın duyarlılık sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar düşük derecede duyarlı, orta derecede duyarlı ve yüksek derecede duyarlı şeklinde 3 sınıfa ayrılmıştır. Çalışma alanının 1,12 km²'lik (%2,76) kısmı yüksek derecede duyarlı alan olarak tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Taşkın duyarlılığı, Coğrafi bilgi sistemleri, Best-worst yöntemi, Tokat, Suluca deresi


Flood Susceptibility Assessment with Best-Worst Method: Suluca Basin (Tokat) Example


Abstract: Flood is a natural phenomenon in which large water masses formed by heavy rains fill the river beds and spill out of the beds, causing damage to the surrounding areas. Flood susceptibility assessments aim to prevent a natural phenomenon from becoming a disaster by predicting where it will be affected and damaged in the event of a possible flood. Within the scope of this study, it was aimed to determine areas that are flood-prone in the Suluca Stream Basin located within the borders of Tokat province. The Suluca Basin, located on the important highway route between the Central Black Sea Region, has an area of 40.58 km², the highest altitude of which is 1565 meters and the lowest is 372 meters. The fact that there are villages in a narrow valley in the lower parts of the basin and that the Tokat-Niksar Highway, which is currently under construction, passes through this narrow valley increases the importance of the study area. 7 parameters were used to determine flood susceptibility areas: land cover, slope, lithology, profile curvature, elevation, topographic position index, and topographic wetness index. By applying pairwise comparison to these parameters with the Best-worst method, one of the multi-criteria decision-making methods, the weight values of the parameters compared to each other were obtained. These weight values were used with the weighted overlay method in ArcGIS 10.5, a Geographic Information Systems software, and flood sensitivity results were obtained. The obtained result map was divided into 3 classes: low susceptibility, moderate susceptibility, and high susceptibility. 1.12 km² (2.76%) of the basin was determined as a highly flood susceptible area.

Keywords: Flood susceptibility, Geographic information systems, Best-worst method, Tokat, Suluca stream

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Tokat Gaziosmanpaşa University, Faculty of Science and Letters, Department of Geography, 60000, Tokat, Türkiye

E mail: ersayinkemal@gmail.com (K. ERSAYIN)

Kemal ERSAYIN  <https://orcid.org/0000-0002-5963-1590>

Mustafa YAŞ  <https://orcid.org/0009-0006-0150-3269>

Gönderi: 23 Mayıs 2024

Received: May 23, 2024

Kabul: 01 Temmuz 2024

Accepted: July 01, 2024

Yayınlanma: 15 Temmuz 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: ERSAYIN K, YAŞ M. 2024. Flood susceptibility assessment with best-worst method: Suluca Basin (Tokat) example. BSJ Eng Sci, 7(4): 683-692.

1. Giriş

Nüfusun artması ve insanın etki sahasının sınırlarının genişlemesiyle afet boyutu kazanan doğal olayların sayıları her geçen gün artmaktadır. Bunun neticesinde gerçekleşen afet olayları, afetten etkilenen insan sayıları ve ekonomik kayıpların miktarı da her geçen yıl yükselmektedir (Anonymous, 2023). Bu doğal afetlerden birisi olan sel ve taşkın olaylarının sayısı ve yarattığı olumsuz etkilerin büyüklüğü de geçmişten günümüze

artış trendi göstermektedir (Kundzewicz ve ark., 2013). Taşkın, bir akarsuyun yatağından taşarak çevresindeki doğal ve beşeri unsurlara zarar vermek suretiyle etki bölgesindeki normal sosyoekonomik hayatı kesintiye uğratabilecek ölçüde bir akış büyüklüğü göstermesi olayı olarak tanımlanmaktadır (DEMP, 2014). Dünya çapında atmosferik kökenli en yaygın afet olan taşkın, suyun normalde kuru olan araziye taşması olayını ifade etmektedir (Dowell, 2003). Plansız gelişme ve kentleşmenin artması, ormansızlaşma ve iklim



değişikliğinin etkisiyle artan yağışlar neticesinde taşkın felaketi görülmekte ve sıklığının artması beklenmektedir (Tehrany ve ark., 2015). Bu durum taşkın afetiyle mücadelenin önemini ortaya koymaktadır. Afetin etki sahasının sınırlandırılması, zararlarının hafifletilmesi veya gerçekleşen akarsu taşkınının bir afet boyutu kazanmadan hidrolojik döngünün doğal bir parçası olarak kalmasını sağlamak oldukça önemlidir.

Afet yönetimi; afetle etkili bir şekilde mücadele edebilmek için hazırlık, müdahale, iyileştirme ve yeniden yapılandırma gibi aşamaları barındıran bir süreci ifade etmektedir (Dölek, 2019). Hızlı gelişen bir afet olan taşkın ile mücadelede zararların azaltılması için afet gerçekleşmeden birtakım önlemlerin alınması, hazırlıkların yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda taşkın afetiyle mücadele en önemli adım, taşkın gerçekleşebilecek olası alanların daha önceden tespit edilmesidir. Taşkın duyarlılığının değerlendirilmesi ile bu tespit yapılabilmektedir. Bu değerlendirmeler sayesinde çevresel koşullara bağlı olarak taşkın olayına karşın en hassas alanların belirlenmesi mümkün olmaktadır (Vojtek ve Vojteková, 2019). Elde edilen duyarlılık değerlendirmeleri, karar vericiler için taşkın yönetme ve önleme konusunda rehberlik edebilmektedir (Fang ve ark., 2021). Bu değerlendirmeler ile üretilen haritalar, mekânsal planlama süreçlerinde önemli bir altlık veri görevi görmektedir. Bu nedenlerle taşkın duyarlılığının değerlendirildiği çok sayıda araştırma yapılmış ve bu çalışmaları değerlendiren yayınlar (Lee ve Rezaie, 2022; Rehman ve ark., 2019) üretilmiştir.

Taşkın duyarlılığı haritaları, birçok kriterin bir arada değerlendirilerek mekânsal sonuçların üretildiği çalışmalardır (Kaya ve Derin, 2023; Kuşçu ve Özdemir, 2023). Geçmişte yaşanmış taşkın olaylarına dair mekânsal kayıtların olduğu alanlarda taşkın duyarlılığı niceliksel yöntemlerle değerlendirilebilmektedir (Al-Juaidi ve ark., 2018; Costache, 2019; Priscillia ve ark., 2021). Yaşanmış taşkına ait bir veri olmadığında ise kriterler karşılıklı olarak kıyaslanarak duyarlılık durumu değerlendirilmektedir. Bu bağlamda çok kriterli karar verme (ÇKKV) süreçleri değerlendirme yapılırken çalışmada kullanılan yöntemin temelini oluşturmaktadır. ÇKKV, kriterlerin içerisinde seçimin karmaşık olduğu alanlarda, kriterler arasından en uygun olanının seçilmesi için kullanılan ve bu sayede güçlü karar vermeyi mümkün kılan süreçleri ifade etmektedir (Aruldoss ve ark., 2013; Jahan ve ark., 2016). Birçok ÇKKV yöntemi bulunmaktadır (Timor, 2011). Bu farklı yöntemleri kullanarak taşkın duyarlılığının haritalandığı çalışmalar yapılmıştır (Gudiyangada Nachappa ve ark., 2020; Hammami ve ark., 2019; Işık ve ark., 2020; Khosravi ve ark., 2019; Ocak ve ark., 2021; Wang ve ark., 2019). Bu çalışmada Rezaei (2015) tarafından geliştirilen bir ÇKKV yöntemi olan Best-Worst yöntemi (BWM) kullanılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile birlikte kullanımının başarısının yapılan çalışmalar (Akyüz ve ark., 2023; Gök ve Taşoğlu, 2023; Güler ve Yomralioğlu, 2021; Konurhan ve Başaran, 2023; Li ve ark., 2012) ile

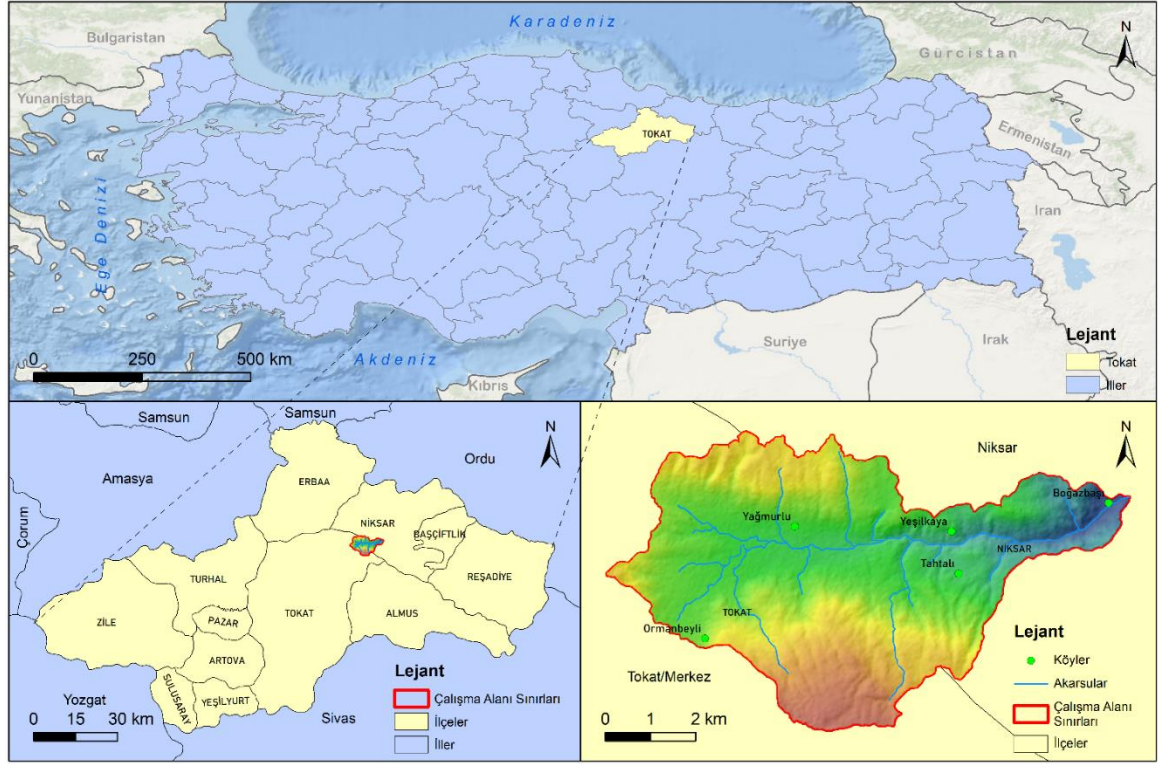
kanıtlanmış olmasının yanı sıra sınırlı sayıda da olsa taşkın duyarlılığı çalışmalarında (Özay ve Orhan, 2023; Yıldız ve Şişman, 2022) kullanımı bu yöntemin tercih edilmesinin nedeni olmuştur. BWM yöntemiyle taşkın duyarlılığının değerlendirildiği bu çalışmada arazi koşulları, literatür ve uzman görüşü dikkate alınarak yedi (eğim, arazi örtüsü, litoloji, yükseklik, topografik nemlilik indeksi, topografik pozisyon indeksi, profil eğriliği) çevresel faktör kullanılmıştır.

Türkiye sahip olduğu fiziki çevre koşulları nedeniyle doğal afetlerin sık meydana geldiği bir ülkedir. Taşkınlar, deprem ve heyelandan sonra Türkiye’de en çok oluşan doğal afettir (Gökçe ve ark., 2008). Çalışma alanı olarak seçilen Suluca Deresi Havzası, Kelkit Çayı Havzası’nın küçük bir parçası olmasına karşın inşası devam eden karayolu yatırımlarının olduğu bir saha olmasından dolayı önemlidir. Özellikle yapılan karayolunun, Suluca Deresi’nin yatağı üzerinde konumlandırılmış olması havzada taşkın duyarlılığı çalışması yapılmasını gerekli kılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, sahanın yaklaşık %3’ünün yüksek taşkın duyarlılığına sahip olduğu göstermektedir. Yüksek duyarlı tespit edilen alanların yüzölçümü az olmasına karşın bu alanların inşası devam eden karayolu güzergahı ile büyük oranda örtüşmesi dikkat çekmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Yeşilirmak Nehri’nin havzası sınırları içerisinde bulunan Suluca Deresi, Merkez (Tokat) İlçe sınırları içerisinde doğarak ana kolu kabaca doğu yönlü sahayı drene ederek Niksar İlçesi’nin sınırları içerisinde, Boğazbaşı Köyü civarında Kelkit Çayı’na katılmaktadır. Suluca Deresi’nin drene ettiği ve bu çalışmanın da alanını oluşturan saha toplam 40,58 km²’dir (Şekil 1). Havza, küçük bir alana sahip olmasına karşın Tokat-Niksar karayolu güzergahında bulunması ve bu hattın Türkiye’nin kuzeydoğusuna bağlanan önemli bir karayolu olması nedeniyle önem arz etmektedir. Suluca Deresi Havzası, Sakarat Dağları ile Köse Dağları arasındaki sınırı da oluşturmaktadır. Yükselti değerleri 372 m ile 1565 m arasında değişim göstermektedir. Sıcaklık ve yağış değerleri, yükselti koşullarında kısa mesafelerde gerçekleşen değişimlerden dolayı havzanın yukarı kesimleri ile aşağı çığıruları arasında farklılık arz etmektedir. Havzanın aşağı çığırını temsilen Niksar, yukarı çığırını temsilen Tokat meteoroloji istasyonlarının verileri dikkate alınmıştır. Niksar’da yıllık ortalama sıcaklık 13,9 °C, Tokat’ta 12,5 °C’dir. Niksar’da yıllık yağış miktarı 508,7 mm iken Tokat’ta ise 435 mm’dir.

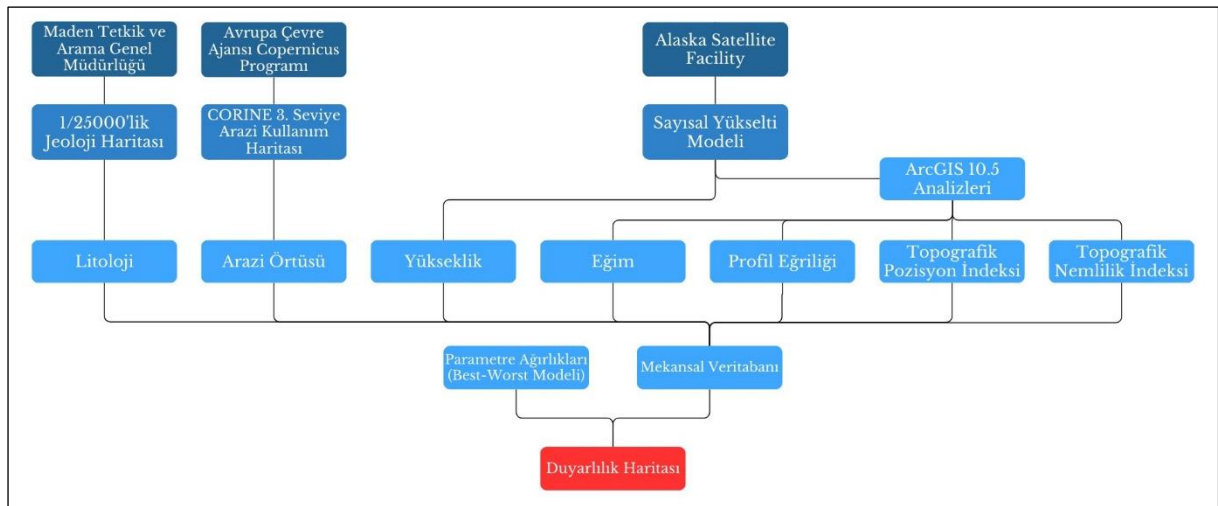


Şekil 1. Çalışma alanının lokasyon haritası.

2.2. Veri

Suluca Deresi Havzası'nda taşkın duyarlılığını değerlendirmek amacıyla kullanılan veri kaynakları ve yapılan işlemleri gösteren iş akışı Şekil 2'de verilmiştir. Taşkın duyarlılığının mekânsal farklılığını ortaya koymak amacıyla yedi farklı parametre kullanılmıştır. Bu parametreler; litoloji, arazi örtüsü, yükseklik, eğim, profil eğriliği, topografik pozisyon indeksi ve topografik nemlilik indeksidir. Litoloji verisi Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından üretilen 1/25.000 ölçekli

jeoloji haritalarından (G37a2, G37b1, G37c3, G37c4, G37d3) üretilmiştir. Arazi örtüsü verisi olarak CORINE veri seti kullanılmıştır (Copernicus, 2018). Yükselti verisi olarak 12,5 metre çözünürlüklü ALOS (Advanced Land Observing Satellite) veri tabanından temin edilen Sayısal Yükselti Verisi kullanılmıştır (ASF, 2020). Bu yükselti verisi kullanılarak eğim, profil eğriliği, topografik pozisyon indeksi ve topografik nemlilik indeksine ait haritalar üretilmiştir.



Şekil 2. İş akışı şeması.

2.3. Taşkın Duyarlılığı Değerlendirmesinde Kullanılan Faktörler

Taşkın duyarlılığı üzerinde etkili olduğu düşünülen faktörlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi çalışmanın

en önemli adımını oluşturmaktadır. Su kütlesi, havza içindeki nispeten alçak rakımlı alanlara doğru akış gerçekleştireceğinden dolayı yükselti faktörü taşkın oluşumunda önemli bir çevresel değişken olarak dikkate

alınmaktadır (Botzen ve ark., 2013; Mojaddadi ve ark., 2017). Yüksek rakımlı arazilerden alçak rakımlı arazilere doğru akış eğilimi gösteren su kütlesi, eğimin nispeten az olduğu düz sahalarda birikme eğiliminde olacağından eğim değerinin azalması taşkın duyarlılığını artıracaktır (Das, 2018; Dou ve ark., 2018; Li ve ark., 2012). Tehrany vd. (2014) yaptıkları değerlendirmede profil eğriliği bakımından iç bükey alanlarda taşkın oluşma ihtimalinin daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Taşkın oluşma ihtimalini artıran çevresel unsurlardan birisi suyun infiltrasyona uğrayamamasıdır. Bu bağlamda yüzeysel akıştaki suyun infiltrasyonunu kontrol eden faktörlerden birisi arazi kullanımıdır. Özellikle yapay yüzeylerden oluşan arazi kullanım sınıfları taşkın üzerine yüksek öneme sahiptir (Bayazit, 2021; Duman ve İrcan, 2022). Arazinin geçirimsizlik koşulları üzerinde etkili olarak taşkın mekânsal değişimini dolaylı olarak etkileyen bir diğer faktör litolojidir. Tüzgen ve Karaca (2021) deniz seviyesinde yapmış oldukları çalışmada yeraltı suyu seviyesinin yüksek olduğu alanlarda geçirimsizliğin az olduğu ifade ederek alüvyon arazilerde taşkın duyarlılığının yüksek olacağını belirtmişlerdir. Suluca Deresi Havzası'nda yapılan bu çalışmada, litoloji parametresinin taşkın yaratma potansiyeli açısından dolayı etkisi yeraltı suyu ile ilişkilendirilmemiştir. Litolojik birimler geçirimsizlik durumlarına göre sınıflandırılmış, geçirimsiz olduğu düşünülen birimlerin taşkın duyarlılığı üzerindeki önemi düşük, geçirimsiz olanlar ise yüksek önemde değerlendirilmiştir. Duman ve İrcan (2022) da benzer şekilde litolojinin taşkına olan etkisini geçirimsizlik durumu üzerinden değerlendirmiştir. Topografik pozisyon indeksi arazinin durumunu sayısal olarak ortaya koyarak hızlı ve etkili bir morfolojik sınıflandırma imkânı sağlamaktadır. Topografik pozisyon indeksi kullanılarak yapılmış bir taşkın duyarlılığı çalışmasına literatürde rastlanmamıştır. İndeks, sahip olduğu hızlı ve etkin morfolojik değerlendirme imkânı nedeniyle bu çalışmada tercih edilmiştir. Topografyanın olası nemlilik durumunu sayısal olarak ortaya koyan Topografik Nemlilik İndeksi de taşkın ile ilişkilendirilebilmektedir. Topografik nemlilik indeksi (TWI) değerinin yüksek olduğu düşük eğime sahip ve akaçlama alanı geniş olan sahalarda su toplanacağından buralarda taşkın ihtimali artmaktadır (Bui ve ark., 2018; Tola ve Shetty, 2022). Bu nedenle çalışmada topografik nemlilik indeksi kullanılmıştır. Bu bilgiler, uzman görüşü ve arazi koşulları dikkate alınarak her bir faktörün alt sınıfına 1 ile 10 arasında önem değeri atanmıştır. Parametrelere ait tematik haritaların üretimlerinde ArcGIS 10.5 yazılımı kullanılmıştır. Eğim ve profil eğriliği verisi yazılımdaki mekânsal analiz araçları ile üretilmiştir. Topografik pozisyon indeksi aşağıda belirtilen formülü (eşitlik, 1) çalıştıran, Jenness (2006) tarafından geliştirilen eklenti ile üretilmiştir. Topografik nemlilik indeksi ise aşağıda belirtilen formülün (eşitlik, 2) raster calculator aracında çalıştırılması ile üretilmiştir. Topografik pozisyon indeksi (TPI) ile elde edilen değerlerden pozitif olanlar, ilgili hücrenin (piksel, grid)

çevresinden daha yüksek olduğunu; negatif değerler ise daha alçak olduğunu göstermektedir. Sıfıra yakın değerler ise sabit eğimli ya da düz alanları temsil etmektedir (Weiss, 2001; Jenness, 2006).

$$TPI = Z_0 - \bar{Z} \quad (1)$$

Formülde bulunan Z_0 , TPI değeri hesaplanan hücrenin yükselti değerini ifade etmektedir. \bar{Z} ise bu hücrenin çevresindeki hücrelerin ortalama yükseltisidir (Wilson ve Gallant, 2000). Çevredeki hücrelerin ortalama yükselti değeri, çevre tarama çapına göre değişkenlik göstermektedir. Bu durum belirlenecek morfolojik sınıfları etkilemektedir. Bu bağlamda çalışmanın amacı ve arazi koşulları göz önünde bulundurularak 150 m tarama çapı belirlenmiştir. Beven ve Kirkby (1979) tarafından tasarlanan akış modeli kapsamında geliştirilen topografik nemlilik indeksi, homojen zemin varsayımına dayanarak topografyanın hidrolojik koşullar üzerindeki etkisini değerlendirmektedir. İndeks böylece topografik anlamda suya doygun alanların lokasyonlarının ve boyutlarının tespitini mümkün kılmaktadır (Moore ve ark., 1991). Topografik nemlilik indeksi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$TWI = \ln(A_s / \tan \beta) \quad (2)$$

Formülde bulunan A_s , her bir hücrenin özgül havza alanı; β ise derece cinsinden yamaç eğimini ifade etmektedir (Moore ve ark., 1991). Topografik pozisyon indeksi, yükselti ve topografik nemlilik indeksi parametrelerine ait haritalar Jenks (1967)'in doğal kırılım yöntemi ile sınıflandırılarak tematik haritalar elde edilmiştir. Eğim parametresi, benzer çalışma (Işık ve ark., 2020) ve saha koşulları dikkate alınarak beşer derecelik aralıklarla sınıflandırılmıştır. Profil eğriliği; iç bükey, düz ve dış bükey olarak sınıflandırılmıştır. Kategorik veri içeren arazi kullanımı ve litoloji parametreleri ise mevcut sınıfların taşkın üzerindeki etki durumları dikkate alınarak gruplandırılmış ve tematik haritalar elde edilmiştir. Bu gruplandırma daha önce belirtilen geçirimsizlik hususu dikkate alınarak yapılmıştır. Bu parametrelere ait alt sınıfların taşkın duyarlılığı üzerindeki etkinliği ve ağırlıkları, bulgular başlığı altında değerlendirilmiştir.

2.4. Best-Worst Yöntemi

Taşkın duyarlılığı üzerinde çevresel faktörlerin her birinin önem ağırlığı eşit değildir. Bu nedenle faktörlerin önem ağırlıklarının belirlenmesi çalışmanın önemli bir adımını oluşturmaktadır. Birden fazla faktörü birlikte kullanarak bir sonuç elde edilmesi süreci, çok kriterli karar verme olarak değerlendirilmektedir. Çok kriterli karar verme, Chen ve Hwang'ın (1992)'da belirttiği gibi birbiriyle çelişen ya da etkileşimli olan kriterler arasından en uygun olan alternatifin belirlenmesini sağlar. Bu amaç doğrultusunda geliştirilmiş çok kriterli karar verme yöntemleri vardır. Analitik Hiyerarşi Yöntemi, Analitik Ağ Prosesi, TOPSIS, ELECTRE, Promethee, Utadis başlıca çok kriterli karar vermek yöntemleridir (Timor, 2011) ve bu yöntemler başarılı bir

şekilde taşkın duyarlılığı analizlerinde kullanılmaktadır (Aydın ve Birincioğlu, 2022; Fatah ve ark., 2022; Köroğlu ve Akıncı, 2023; Özcan, 2017). Bu yöntemlerin haricinde Rezaei (2015) tarafından Best-Worst adıyla yeni bir çok kriterli karar verme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem farklı mekânsal değerlendirmelerin yapıldığı çalışmalarda Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımları ile birlikte kullanılmaktadır (Akyüz ve ark., 2023; Güler ve Yomralioğlu, 2021; Konurhan ve Başaran, 2023; Li ve ark., 2012). Best-worst yöntemi, sınırlı sayıda olmakla birlikte taşkın duyarlılığının değerlendirildiği çalışmalarda uygulanabilmektedir (Özay ve Orhan, 2023; Yıldız ve Şişman, 2022). Tüm bu bilgiler ışığında, bu çalışmada da Best-Worst yöntemi tercih edilmiştir. İşlem detayları ve formülleri Rezaei (2015, 2016) tarafından izah edilmiş olan yöntem temel olarak altı işlem adımına sahiptir. Bunlar;

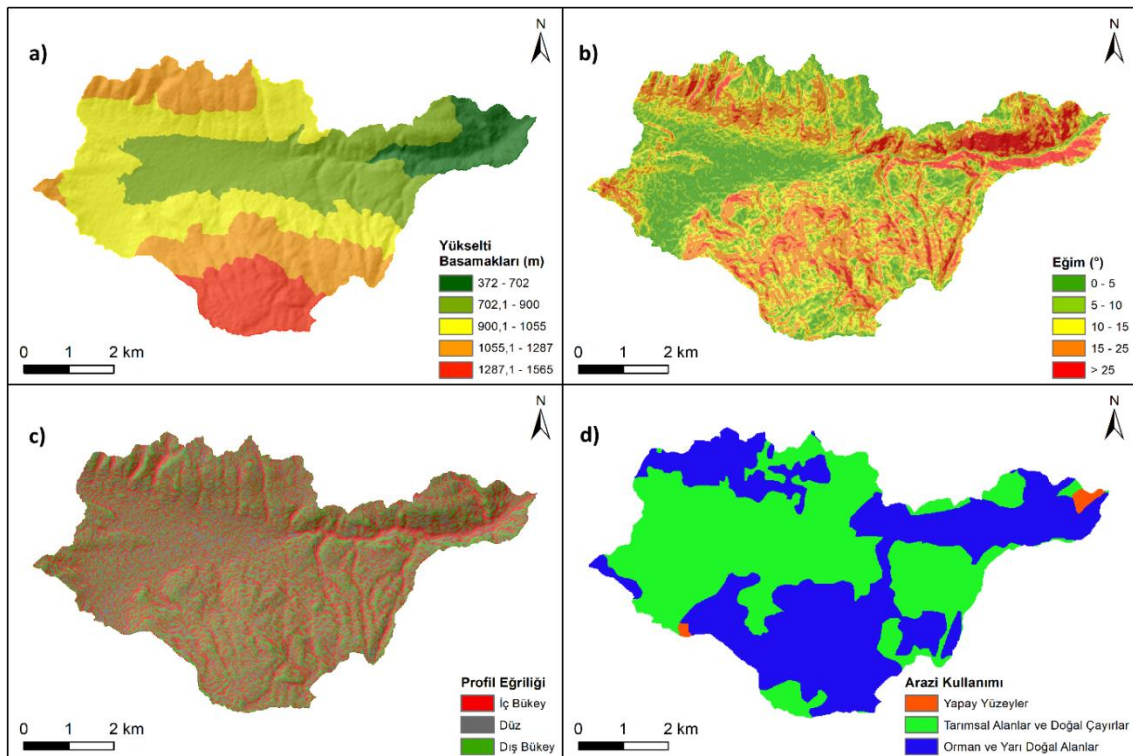
- 1.Kriterlerin belirlenmesi
- 2.Kriter içerisinde en fazla ve en az öneme sahip olanların belirlenmesi
- 3.En önemli kriter ile diğer kriterler arasında ikili karşılaştırmanın yapılması
- 4.En önemsiz kriter ile diğer kriterler arasında ikili karşılaştırmanın yapılması
- 5.Optimal ağırlıkların elde edilmesi
- 6.Tutarlılığın kontrol edilmesi

Kriterlerin ikili karşılaştırması yapılırken 1 ile 9 arasında değer kullanılmaktadır. Değer arttıkça kriterin önemi artmaktadır (Rezaei, 2016). İşlem adımları tamamlandıktan sonra her bir kritere ait önem ağırlık değerleri, ilişki eşik değeri ve tutarlılık oranı elde edilmektedir. Tutarlılık oranı, ilişki eşik değerinden küçük ise kurulan ikili karşılaştırmalar uygundur (Liang

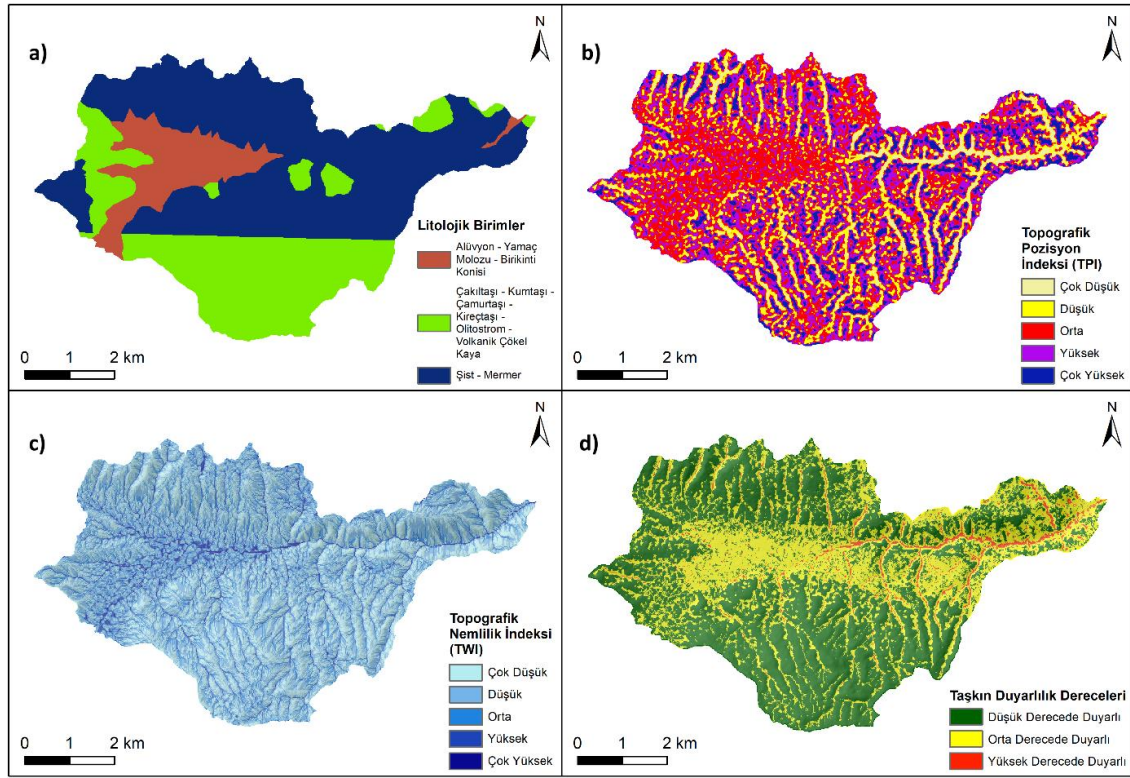
ve ark., 2020). Böylece elde edilen kriter önem ağırlıkları kullanılabilir. Her bir kriter için üretilen haritalara, önem ağırlıklar değerleri ile Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında ağırlıklı çakıştırma uygulanmış ve sonuç haritası elde edilmiştir. Elde edilen sonuç haritasına eşit sınıflandırma uygulanarak, 3 sınıfta (düşük derecede duyarlı, orta derecede duyarlı, yüksek derecede duyarlı) Suluca Deresi Havzası taşkın duyarlılık haritası üretilmiştir.

3. Bulgular

Suluca Deresi Havzası'nda taşkın duyarlılığı üzerinde etkili olabilecek faktörlere ait tematik haritalar üretilmiştir (Şekil 3, 4). Yükselti faktöründe, taşkın duyarlılığı üzerinde en yüksek öneme sahip olan, en alçak rakımlı sınıf (372 - 702 m) havzanın %8,12'sini (3,30 km²) kaplamaktadır (Tablo 1). 900 - 1055 m yükselti sınıf aralığı havza içerisinde en geniş yayılış alanına (%32,52) sahip yükselti sınıfıdır. Taşkın üzerinde en etkin olan 0 - 5 derece eğim sınıfında alanlar havzanın %15,41'ini kapsamaktadır. Düşük eğimli bu alanların büyük kısmı havzanın yukarı çığırındaki tektonik kökenli ova kısmına karşılık gelmektedir. Kabaca doğu yönde akarak Yağmurlu Köyü'nden sonra dar bir vadi içerisine giren Suluca Deresi, Kelkit Irmağına ulaşmak üzere burada oluşturduğu arazinin eğim değerlerini artırmıştır. Profil eğriliği sınıflarından taşkın duyarlılığı üzerinde en etkin olan iç bükey alanlar havzanın %38,54'ünde (15,65 km²) yayılış göstermektedir. Geçirimsizlik koşulları dikkate alınarak gruplandırılan litoloji verisinde, havzadaki birimler içerisinde geçirimsizliğin en düşük olacağı mermer, şist sahaları havzanın %54,74'ünü (22,22 km²) kaplamaktadır.



Şekil 3. Suluca Deresi Havzası (a) yükselti, (b) eğim, (c) profil eğriliği ve (d) arazi kullanımı haritası.



Şekil 4. Suluca Deresi Havzası (a) litoloji, (b) TPI, (c) TWI ve (d) taşkın duyarlılık haritası.

Alüvyon, yamaç molozu-birikinti konisi sahaları havzanın %12,55'inde (5,10 km²) yayılış göstermektedir. Bu alanlar geçirimsizliğin en yüksek olduğu litoloji birimleri olarak gruplandırılmıştır. Bu gruba nazaran geçirimsizliğin düşük olduğu; çamurtaşı, kireçtaşı, kumtaşı, çakıltaşı, olistostrom, volkanik çökel-kayadan oluşan birimler ise havzanın %32,70'ini (13,28 km²) örtmektedir. Taşkın üzerinde etkin olan en düşük TPI sınıfı, havzanın %5,74'üne (2,33 km²) karşılık gelmektedir. Bu sınıfın yayılış alanı havza içerisindeki dar vadileri temsil etmektedir. Topografyanın kontrolünde havza içerisinde nemlilik miktarının en yüksek dolayısıyla taşkın oluşturma potansiyelinin de fazla olduğu çok yüksek TWI sınıfı havzanın %1,84'ünde (0,75 km²), yüksek TWI sınıfı %5,53'ünde (2,24 km²) saptanmıştır.

Best-Worst yöntemi kapsamında Suluca Deresi Havzası'nda taşkın duyarlılığı için en önemli parametre olarak TPI saptanmıştır. En önemsiz parametre olarak ise profil eğriliği tanımlanmıştır. En önemli ve en önemsiz faktörlerin diğer faktörlerle ikili düzeyde karşılaştırmaları yapılmıştır (Tablo 2). Bu ikili karşılaştırma elde edilen; en önemli faktörün diğerleri ile kıyaslandığını ve en önemsiz faktörün diğerleri ile kıyaslandığı değerlerden hareketle her bir faktöre ait önem ağırlık değeri elde edilmiştir (Tablo 1). Taşkın duyarlılığı üzerinde en etkin parametre olan TPI'nin önem ağırlığı 0,31 olarak hesaplanmıştır. İkinci en önemli parametre TWI (0,27), üçüncü ise yükseltidir (0,17). Diğer parametreler ise öneme ağırlıklarına göre sırasıyla; eğim (0,09), litoloji (0,07), arazi örtüsü (0,06) ve profil eğriliğidir (0,03). İkili karşılaştırmanın tutarlılığının kontrolü amacıyla elde edilen ilişki eşik değeri ve

tutarlılık oranı değerleri sırasıyla; 0,34 ve 0,14'tür. Tutarlılık oranının ilişki eşit değerinden küçük oluşu, Best-Worst yönteminde kurulan ikili karşılaştırmalar ve elde edilen ağırlıklar değerlerinde bir problem olmadığını kanıtlamaktadır.

Üretilen altık veriler ve faktörlere ait önem ağırlık değerleri kullanılarak Suluca Deresi Havzası taşkın duyarlılığı haritası elde edilmiştir (Şekil, 4d). Taşkın duyarlılığının en yüksek olduğu alanlar, akarsuyun vadisinin daraldığı sahalara karşılık gelmektedir. Bu alanlar topografyanın kontrolünde yüzeysel akışın toplanacağı alanlardır. Ayrıca akarsuyun dar bir vadiye eriştiği yerler, aynı zamanda havzanın yükselti değerlerinin hızla azaldığı yani bütün havza sularının drene olacağı aşağı çığırlara karşılık gelmektedir. Tüm bu hususlar, havzada bu alanlarda taşkın duyarlılığının yüksek olmasını sağlamaktadır. Suluca Deresi Havzası'nın yüksek rakımlı, eğim değerlerinin düşük ve topografik pürüzlülüğün nispeten az olduğu, akarsuların geniş vadiler boyunca aktığı alanlarında taşkın oluşma potansiyeli nispeten düşüktür. Alansal değerler incelendiğinde; yüksek taşkın duyarlılığına sahip alanlar havzanın %2,77'sini (1,13 km²), orta derecede duyarlı alanlar %37,40'ını, düşük derecede taşkın duyarlılığına sahip alanlar ise %59,83'ünü kaplamaktadır.

Tablo 1. Taşkın duyarlılığı faktörleri, sınıfları ve bunlara ait alansal değer ile önem ağırlıkları

Faktörler	Faktör Sınıfları	Alan		Sınıf Ağırlıkları	Faktörlerin Ağırlıkları
		km ²	%		
Topografik Pozisyon İndeksi (TPI) (150m)	-13,76 – -3,94	2,33	5,74	10	0,31
	-3,94 – -1,25	7,37	18,16	5	
	-1,25 – 0,91	14,79	36,44	2	
	0,91 – 3,39	11,56	28,48	1	
Arazi Örtüsü	3,39 – 13,75	4,54	11,18	1	0,06
	Yapay Yüzeyle	0,28	0,68	10	
	Tarımsal Alanlar ve Doğal Çayırlar	20,90	51,47	5	
	Orman ve Yarı Doğal Alanlar	19,42	47,85	1	
Eğim (°)	0 – 5	6,26	15,41	10	0,09
	5 – 10	9,17	22,60	5	
	10 – 15	9,11	22,44	3	
	15 – 25	12,59	31,02	2	
Profil Eğriliği	25<	3,46	8,53	1	0,03
	İç Bükey	15,65	38,54	10	
	Düz	9,81	24,15	5	
Litoloji	Dış Bükey	15,15	37,31	1	0,07
	Yüksek Geçirimli	5,10	12,55	1	
	Orta Geçirimli	13,28	32,70	5	
Topografik Nemlilik İndeksi (TWI)	Düşük Geçirimli	22,22	54,74	10	0,27
	2,56 – 5,21	14,12	34,78	1	
	5,21 – 6,88	16,58	40,83	2	
	6,88 – 9,46	6,91	17,02	3	
Yükseklik (m)	9,46 – 13,25	2,24	5,53	7	0,17
	13,25 – 21,89	0,75	1,84	10	
	372 – 702	3,30	8,12	10	
	702 – 900	11,11	27,36	8	
	900 – 1055	13,20	32,52	3	
	1055 – 1287	8,89	21,90	2	
	1287 – 1565	4,10	10,10	1	

Tablo 2. En önemli ve en önemsiz kriterler ile diğer kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

	TPI	TWI	Yükselti	Eğim	Arazi Örtüsü	Litoloji	Profil Eğriliği
En önemli (TPI)	1	1	2	4	5	6	8
En önemsiz (Profil eğriliği)	8	7	6	4	3	2	1

TPI= topografik pozisyon indeksi, TWI= topografik nemlilik indeksi.

4. Tartışma ve Sonuç

Suluca Deresi, Yeşilirmak Havzası sınırları içerisinde, Kelkit Irmağı'nın küçük bir kolu olmasına karşın vadisi üzerinde bulunan önemli ulaşım güzergâhı ve üstyapı yatırımları nedeniyle önem arz etmektedir. Bu bağlamda çalışmada yedi farklı çevresel faktör ve Best-Worst yöntemi kullanılarak havzada taşkın duyarlılığının mekânsal dağılışı ortaya koyulmuştur. Elde edilen sonuçlarda havzanın yaklaşık %3'ünde taşkın duyarlılığının yüksek olduğu saptanmıştır. Taşkın meydana gelme ihtimalinin yüksek olduğu alanlar, inşası devam eden Tokat-Niksar karayolunun güzergâhı ile

büyük oranda paralellik göstermektedir.

Normal koşullarda akarsuyun düz ve geniş vadi yataklarında taşkın üretme potansiyelinin yüksek olması öngörülmektedir. Yer yer bu alanlarda zaten taşkın yatağı durumundadır. Ancak Suluca Deresi Havzası'nda çevresel koşullar başkadır. Havzanın yukarı çığırı nispeten düz, geniş akarsu vadilerine sahiptir. Bu alanlarda başlayan yüzeysel akış ve birleşen birçok akarsu kolu bir araya gelerek, Kelkit Irmağı'na bağlanmak üzere akış göstermektedir. Bu bağlamda Suluca Deresi'nde taşkın meydana gelme ihtimalinin yüksek olduğu saha, akarsuyun yukarı çığırında geniş vadiler boyunca aktığı

yerlerden ziyade bütün akaçlamanın topladığı ve havzanın aşağı çıkırını oluşturan dar vadisidir. Burada en önemli tehlike, inşası devam etmekte olan Tokat-Niksar karayolu çalışmasıdır. Genel itibarıyla vadi tabanında ve akışa paralel olarak inşa edilen karayolu, havza sınırları içerisinde gerçekleşebilecek ekstrem yağışlardan olumsuz etkilenebilir. Havza içerisinde yüksek taşkın potansiyeline sahip alanlar az yayılışa sahip olmasına karşın, taşkın oluştuğunda önemli bir üstyapı unsurunu tehdit edebileceğinden saptamalar önemlidir. Çalışma, havza sınırları içerisinde meydana gelebilecek sağanak bir yağışın ciddi zararlar yaratabilecek bir afete dönüşebileceğini göstermektedir.

Taşkın duyarlılığının değerlendirildiği çalışmalarda kullanılacak faktörler hususunda bir standart yoktur (Kuşçu ve Özdemir, 2023; Kaya ve Derin, 2023). Aynı faktörler kullanılsa dahi faktörlerin sınıflandırılması ve bu sınıfların ağırlıklarının belirlenmesinde farklılıklar vardır. Uzman görüşüne dayanarak yapılan bu çalışmalarda farklılıkların görülmesi olağandır. Ayrıca çalışan her bir saha özelinde kullanılacak çevresel faktörlerin, bunların sınıfları ve ağırlıklarının değişkenlik göstermesi de normaldir. Tek bir havza özelinde taşkın çalışması, mekânsal olarak daha önce meydana gelmiş taşkınlara ait envanterin yokluğunda uzman görüşüne dayanan niteliksel değerlendirmelerle mümkün olabilmektedir. Niceliksel taşkın değerlendirmelerin mümkün olabilmesi için ilgili kurumların, insan ve eserlerine zarar verip vermediğine bakmaksızın meydana gelen bütün taşkın olaylarını kayıt altına alması önem arz etmektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	K.E	M.Y
K	50	50
T	50	50
Y	70	30
VTI	40	60
VAY	50	50
KT	50	50
YZ	50	50
KI	50	50
GR	80	20
PY	50	50
FA	50	50

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma, 8-10 Mayıs 2024 tarihinde gerçekleşen "Uluslararası Tıp, Eczacılık, Tarım, Gıda, Ormanlık, Çevre ve Mühendislikte Bilişim Teknolojileri Kongresinde (INFTEC-2024)" özet bildiri olarak sunulmuştur. Katkı ve önerilerinden dolayı katılımcılara teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Akyüz G, Yalpir Ş, Ertunç E. 2023. Determining the suitability of lands for agricultural use with the best-worst method: Ankara Province Example. *Afyon Kocatepe Univ J Sci Engin*, 23: 1045–1055.
- Al-Juaidi AE, Nassar AM, Al-Juaidi OE. 2018. Evaluation of flood susceptibility mapping using logistic regression and GIS conditioning factors. *Arabian J Geosci*, 11(24): 1–10.
- Anonymous. 2023. 2022 Disasters in numbers. Brussels. URL: https://cred.be/sites/default/files/2022_EMDAT_report.pdf (accessed date: May 21, 2024).
- Aruldoss M, Lakshmi TM, Venkatesan VP. 2013. A survey on multi criteria decision making methods and its applications. *American J Inform Systems*, 1(1): 31–43.
- ASF. 2020. ALOS PALSAR—Digital elevation model (12.5 m Spatial Resolution). URL: <https://search.asf.alaska.edu/#/> (accessed date: December 14, 2023).
- Aydın MC, Birincioğlu SE. 2022. Flood risk analysis using gis-based analytical hierarchy process: a case study of Bitlis Province. *Applied Water Sci*, 12(6).
- Bayazit Y. 2021. Bilecik ilindeki şehirleşmenin taşkın riski üzerindeki etkilerinin araştırılması. *BŞEÜ Fen Bilim Derg*, 8(1): 217–227.
- Beven KJ, Kirkby MJ. 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol Sci Bulletin*, 24(1): 43–69.
- Botzen WJW, Aerts JCJH, van den Bergh CJM. 2013. Individual preferences for reducing flood risk to near zero through elevation. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 18: 229–244.
- Bui DT, Panahi M, Shahabi H, Singh VP, Shirzadi A, Chapi K, Khosravi K, Chen W, Panahi S, Li S, vd. 2018. Novel hybrid evolutionary algorithms for spatial prediction of floods. *Sci Reports*, 8:1-14.
- Chen SJ, Hwang CL. 1992. Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications. Springer, Berlin, heidelberg, pp: 540.
- Copernicus. 2018. CORINE land cover 2018. URL: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018> (accessed date: May 20, 2024).
- Costache R. 2019. Flood susceptibility assessment by using bivariate statistics and machine learning models - a useful tool for flood risk management. *Water Resour Manage*, 33(9): 3239–3256.
- Das S. 2018. Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India. *Arabian J Geosci*, 11(19): 1-13.
- DEMP. 2014. Annotated dictionary of disaster terms (in Turkish). Ministry of Interior Disaster and Emergency Management Presidency, Ankara, Türkiye, pp: 216.
- Dölek İ. 2019. Afetler ve afet yönetimi. Pegem Akademi, Ankara, Türkiye, pp: 392.

- Doswell CA. 2003. Flooding: encyclopedia of atmospheric sciences. Elsevier Sci, Ltd, Amsterdam, Nederland, pp: 769–776.
- Dou X, Song J, Wang L, Tang B, Xu S, Kong F, Jiang X. 2018. Flood risk assessment and mapping based on a modified multi-parameter flood hazard index model in the Guanzhong Urban Area, China. *Stochastic Environ Res Risk Assess*, 32(4): 1131–1146.
- Duman N, İrcan MR. 2022. Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı Çankırı merkez ilçesinin taşkın duyarlılık analizi. *Jeomorfol Araş Derg*, (9): 50–66.
- Fang Z, Wang Y, Peng L, Hong H. 2021. Predicting flood susceptibility using LSTM neural networks. *J Hydrol*, 594: 125734.
- Fatah KK, Mustafa YT, Hassan IO. 2022. Flood susceptibility mapping using an analytic hierarchy process model based on remote sensing and GIS Approaches in Akre District, Kurdistan region, Iraq. *Iraqi Geol J*, 55(2): 121–149.
- Gök M, Taşoğlu E. 2023. Yasaklı bitkiden potansiyel bir hazineye doğru: samsun, amasya ve tokat illerinde kenevir (cannabis sativa l. hemp) yetiştiriciliğinin best-worst yöntemiyle analizi. *Coğrafi Bilim Derg*, 21(2): 427–452.
- Gökçe O, Özden Ş, Demir A. 2008. Türkiye’de afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımı afet bilgileri envanteri. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, pp: 118.
- Gudiyangada NT, Tavakkoli PS, Gholamnia K, Ghorbanzadeh O, Rahmati O, Blaschke T. 2020. Flood susceptibility mapping with machine learning, multi-criteria decision analysis and ensemble using Dempster Shafer Theory. *J Hydrol*, 590: 125275.
- Güler D, Yomralıoğlu T. 2021. Location evaluation of bicycle sharing system stations and cycling infrastructures with best worst method using GIS. *Professional Geograp*, 73(3): 535–552.
- Hammami S, Zouhri L, Souissi D, Souei A, Zghibi A, Marzougui A, Dlala M. 2019. Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia). *Arabian J Geosci*, 12(21): 1–16.
- Işık F, Bahadır M, Zeybek Hİ, Çağlak S. 2020. Karadere çayı taşkını (Araklı -Trabzon). *Mavi Atlas*, 8(2): 526–547.
- Jahan A, Edwards KL, Bahraminasab M. 2016. Multi-criteria decision-making for materials selection. *Multi-criteria Decision Analysis for Supporting the Selection of Engineering Materials in Product Design*, London, UK, pp: 63–80.
- Jenks GF. 1967. The data model concept in statistical mapping. *Int. Yearbook Cartogr*, London, UK, 7: 186–190.
- Jenness J. 2006. Topographic position index (TPI) v. 1.2. Jenness enterprises. URL: <https://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm> (accessed date: November 19, 23)
- Kaya CM, Derin L. 2023. Parameters and methods used in flood susceptibility mapping: a review. *J Water Climate Change*, 14(6): 1935–1960.
- Khosravi K, Shahabi H, Pham BT, Adamowski J, Shirzadi A, Pradhan B, Dou J, Ly HB, Gróf G, Ho HL, vd. 2019. A comparative assessment of flood susceptibility modeling using Multi-Criteria Decision-Making Analysis and Machine Learning Methods. *J Hydrol*, 573: 311–323.
- Konurhan Z, Başaran E. 2023. Rüzgâr enerji santrali (RES) yer seçimi için BWM-CBS tabanlı bir yaklaşım: Tunceli örneği. *Coğrafya Derg*, (47): 15–28.
- Koroğlu B, Akıncı H. 2023. Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı çok kriterli karar analizi ile Giresun ili dereli ilçesinin taşkın duyarlılık analizi. *Artvin Çoruh Üniv Müh Fen Bilim Derg*, 1(2): 62–81.
- Kundzewicz ZW, Pi I, Robert BG. 2013. Large floods in Europe. *Hydrological Sci J*, 58(1): 1–7.
- Kuşçu İ, Özdemir H. 2023. Taşkın duyarlılık analizinde kullanılan parametreler üzerine bir değerlendirme. *Türk Coğrafya Derg*, (84): 67–83.
- Lee S, Rezaei F. 2022. Data used for GIS-based Flood Susceptibility Mapping. *Geo Data* 4(1): 1–15.
- Li K, Wu S, Dai E, Xu Z. 2012. Flood loss analysis and quantitative risk assessment in China. *Nat Hazards*, 63: 737–760.
- Liang F, Brunelli M, Rezaei J. 2020. Consistency issues in the best worst method: Measurements and thresholds. *Omega*, 96: 102175.
- Mojaddadi H, Pradhan B, Nampak H, Ahmad N, Ghazali AH. 2017. Ensemble machine-learning-based geospatial approach for flood risk assessment using multi-sensor remote-sensing data and GIS. *Geomatics, Nat Hazards Risk*, 8(2): 1080–1102.
- Moore ID, Grayson RB, Ladson R. 1991. Digital terrain modeling : a review of hydrological geomorphological and biological applications. *Hydrol Proces*, 5(1): 3–30.
- Ocak F, Bahadır M, Uzun A, Şahin K. 2021. Atakum ilçesi kıyı kuşağının taşkın ve duyarlılık analizi, Samsun/Türkiye. İçinde *Coğrafya Araştırmalarında Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları II*, Samsun, Türkiye, pp: 273–292.
- Özay B, Orhan O. 2023. Flood Susceptibility Mapping By Best–Worst And Logistic Regression Methods in Mersin, Turkey. *Environ Sci Pollut Res*, 30(15): 45151–45170.
- Özcan O. 2017. Taşkın tespitinin farklı yöntemlerle değerlendirilmesi: Ayamama deresi örneği. *Doğal Afetler Çevre Derg*, 3(1): 9–27.
- Priscillia S, Schillaci C, Lipani A. 2021. Flood susceptibility assessment using artificial neural networks in Indonesia. *Artific Intel Geosci*, 2: 215–222.
- Rehman S, Sahana M, Hong H, Sajjad H, Ahmed BB. 2019. A systematic review on approaches and methods used for flood vulnerability assessment: framework for future research. *Nat Hazards*, 96(2): 975–998.
- Rezaei J. 2015. Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53: 49–57.
- Rezaei J. 2016. Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64: 126–130.
- Tehrany MS, Lee MJ, Pradhan B, Jebur MN, Lee S. 2014. Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. *Environ Earth Sci*, 72(10): 4001–4015.
- Tehrany MS, Pradhan B, Mansor S, Ahmad N. 2015. Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena*, 125: 91–101.
- Timor M. 2011. Analitik hiyerarşi prosesi. *Türkmen Kitabevi, İstanbul, Türkiye*, pp: 304.
- Tola SY, Shetty A. 2022. Flood susceptibility modeling based on morphometric parameters in Upper Awash River basin, Ethiopia using geospatial techniques. *Sustain Water Res Manage*, 8: 1–16.
- Tüzgen G, Karaca Ö. 2021. Çerçi ve Murt deresi (Fethiye-Muğla) taşkın duyarlılık alanlarının CBS ile çok kriterli karar verme analizi kullanılarak haritalanması. *Yerbilim*, 42(1): 121–143.
- Vojtek M, Vojteková J. 2019. Flood susceptibility mapping on a national scale in Slovakia using the analytical hierarchy process. *Water*, 11(2): 364.
- Wang Y, Hong H, Chen W, Li S, Pamučar D, Gigović L, Drobnjak S, Bui DT, Duan H. 2019. A hybrid GIS multi-criteria decision-making method for flood susceptibility mapping at Shangyou,

- China. Remote Sensing, 11(1): 1-17.
- Weiss AD. 2001. Topographic Position and landforms analysis. In: ESRI User Conference. URL: https://www.jennessent.com/downloads/TPI-poster-TNC_18x22.pdf (accessed date: November 19, 2023)
- Wilson JP, Gallant JC. 2000. Primary Topographic Attributes. İçinde Wilson JP, Gallant JC (ed.) Terrain Analysis: Principles and Applications. John Wiley & Sons Ltd, London, UK, pp: 464.
- Yıldız N, Şişman A. 2022. Investigation of flood risk areas in Ünye district with Best-Worst method using geographic information systems. Advanced Land Manage, 2(1): 21–28.



EFFECTIVE CANCER DIAGNOSIS THROUGH HIGH-DIMENSIONAL MICROARRAY DATA ANALYSIS BY INTEGRATING DCT AND UFS

Enes EFE^{1*}


¹Hitit University, Department of Electrical and Electronics Engineering, 19169, Çorum, Türkiye

Abstract: Cancer remains a global health challenge, with various types such as lung, breast, and colon cancer posing significant threats. Timely and accurate diagnosis is crucial for effective treatment and improved survival rates. Genetic research offers promising avenues in the fight against cancer, as identifying gene mutations and expression levels enables the development of targeted therapies and a deeper understanding of disease subtypes and progression. This study investigates a novel hybrid method aimed at improving the accuracy and efficiency of cancer diagnosis and classification. By combining Discrete Cosine Transformation (DCT) and Univariate Feature Selection (UFS) methods, the feature selection process is optimized for the dataset. The extracted features are then rigorously tested using established classifiers to assess their effectiveness in cancer classification. The proposed method's performance was evaluated using eight distinct datasets, and metrics such as MF1, K-score, and sensitivity were calculated and compared with various methods in the literature. Empirical evidence demonstrates that the proposed method outperforms others on 5 out of 8 datasets in terms of both accuracy and computational efficiency. The presented method represents a reliable tool for cancer diagnosis and classification.

Keywords: Cancer, Microarray data, Discrete cosine transform, Univariate feature selection, Genomic data analysis

*Corresponding author: Hitit University, Department of Electrical and Electronics Engineering, 19169, Çorum, Türkiye

E mail: enesefe@hitit.edu.tr (E. EFE)

Enes EFE  <https://orcid.org/0000-0002-6136-6140>

Received: May 30, 2024

Accepted: July 01, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Efe E. 2024. Effective cancer diagnosis through high-dimensional microarray data analysis by integrating DCT and UFS. BSE Eng Sci, 7(4): 693-704.

1. Introduction

Microarray data refers to high-dimensional datasets that enable the simultaneous examination of genetic changes in gene expression across thousands of cells. This extensive dimensionality facilitates comprehensive and detailed analyses in cancer research, leading to a deeper understanding of the molecular basis of cancer. However, analyzing and interpreting large datasets poses challenges that require specialized data mining and statistical techniques to achieve accurate results. As a result, cancer researchers and healthcare professionals face challenges when processing and interpreting microarray data. Nevertheless, the broad perspective provided by this technology has resulted in significant advancements in cancer diagnosis, treatment, and disease comprehension (Golub et al., 1999).

Cancer research encounters challenges due to the high dimensionality of datasets, incorporating thousands of genes, which complicates genomic data analyses (e.g., microarrays, RNA sequencing). The complexity of the analysis processes makes them challenging and hinders the achievement of accurate and clear results. Another issue is the lack of specific genes acting as classifiers for particular cancer types, diminishing the classification power of datasets (Kilicarslan et al., 2020). Researchers need to create specific algorithms and analysis

techniques to identify and detect unique genes associated with different types of cancer. Furthermore, the higher interactivity among genes compared to other datasets complicates the understanding of cancer mechanisms. Some genes can activate others or trigger gene expressions, contributing to uncontrolled cell growth and metastatic processes. Thus, a comprehensive understanding and examination of gene interactions are crucial for developing targeted and effective strategies in cancer treatment.

Integrating data analysis methods is crucial for successful cancer research. Given the complexity and high dimensionality of datasets in cancer research, traditional methods may prove inadequate. Hence, using advanced statistical methods, machine learning algorithms, and network analysis techniques together is crucial for making significant advancements in cancer treatment (Orhan and Yavşan, 2023). Cancer research primarily aims to comprehend the fundamental mechanisms of cancer and define cancer types by analyzing genomic data. While microarray datasets encompass gene expression profiles, their high dimensionality and noise often render traditional feature extraction and dimensionality reduction methods insufficient. Studies reveal that existing feature extraction or dimensionality reduction methods may not be effective for all



microarray datasets, necessitating the development of new approaches for feature extraction and dimensionality reduction. Hence, further work is required in this field to establish effective and personalized cancer diagnosis and treatment approaches (Li et al., 2005).

Numerous studies in the literature have aimed to classify datasets containing gene expression levels and select appropriate features. These studies utilize various methods, such as filter, wrapper, embedded, and hybrid methods for feature selection. Filter methods employ statistical criteria (e.g., Pearson Correlation, Mutual Information, Information Gain (IG)) to reduce the number of genes, and some researchers (Gao et al., 2017) have developed original algorithms within this context. Relief-F and IG are examples of filter methods that exhibit improved performance with an increasing number of genes. Wrapper methods, on the other hand, combine classification methods like Genetic Algorithm (GA), Support Vector Machine (SVM), and k-nearest Neighbors (kNN) (Gunavathi and Premalatha, 2014; Kar et al., 2015). Embedded methods involve classifiers to select features, and preferred techniques include SVM-Recursive Feature Elimination (RFE), First Order Inductive Learner (FOIL) based FRFS, and penalized DVM improved with T-test (Guyon et al., 2002; Maldonado et al., 2011). Additionally, some studies (Luo et al., 2019; Othman et al., 2020; Meenachi and Ramakrishnan, 2021; Qaraad et al., 2021) have integrated hybrid methods, combining filter, wrapper, and embedded methods. For instance, MRMR and SVM-RFE have been combined (Mundra and Rajapakse, 2009), the Relief-F filter method applied as preprocessing, and classification performed using ELM, with the SVM-RFE method enhanced with F-test (Luo et al., 2019).

After examining the literature, it is clear that the classification methods used are often complex and do not perform well. Therefore, this study proposes the integration of Discrete Cosine Transformation (DCT) and Univariate Feature Selection (UFS). DCT can represent gene expression data in a low-dimensional space, reducing noise and emphasizing relationships between features (Er et al., 2005). Furthermore, several studies in various domains demonstrate that DCT positively impacts performance and enhances model stability (Efe and Özsen, 2022; Efe and Ozsen, 2023). The Univariate Feature Selection method evaluates the performance of each feature separately through classifiers, identifying the most significant features (Efe and Yavsan, 2024). By combining these two methods, the objective is to reduce the complexity of gene expression data, leading to more meaningful and effective feature selection. Consequently, this combination can contribute to obtaining less noisy and more explanatory features for the classification algorithm, reducing the risk of overfitting and enhancing the model's generalization capability. As such, the integration of Discrete Cosine Transformation and Univariate Feature Selection aims to optimize the feature

selection process in the classification of gene expression levels, resulting in more reliable results.

The proposed method was tested using four primary classifiers: Neural Network (NN), Support Vector Machine (SVM), k-nearest Neighbors (kNN), and Convolutional Neural Network (CNN). The results were compared with other studies in the literature. The obtained results demonstrate superior performance compared to the findings in the literature, indicating a promising approach for future studies.

The main contributions of this research are threefold:

- High-dimensional microarray datasets utilized in cancer research are transformed into a lower-dimensional space through Discrete Cosine Transform (DCT), facilitating analysis and reducing noise while accentuating relationships between features.
- Univariate Feature Selection (UFS) evaluates the impact of each feature on the classifier individually, identifying the most significant attributes to enhance the performance of the classification algorithm.
- The integration of DCT and UFS optimizes the feature selection process in cancer research, refining meaningful features obtained through DCT to identify the most salient attributes, ultimately leading to improved accuracy and efficiency of the classification algorithm.

2. Materials and Methods

2.1. Dataset and Data Preparation

In this study, we conducted experimental investigations to explore the classification success using eight distinct gene microarray datasets, which are among the most commonly used datasets in the literature. These datasets were carefully selected to represent typical scenarios encountered in cancer research and classification tasks. As presented in Table 1, each of these microarray datasets was collected from various sources within the biomedical field and utilized for the classification of patients with cancer. Given the substantial number of features and the limited number of samples in these microarray datasets, dimension reduction was considered necessary during the training stage. As such, we applied dimension-reduction techniques to address this challenge effectively. The datasets listed in Table 1 have been extensively employed in various research studies, making them highly relevant for assessing the effectiveness of the methodologies employed in our study.

The leukemia dataset (Golub et al., 1999) comprises 72 bone marrow and peripheral blood samples obtained from individuals diagnosed with leukemia, with the specific goal of distinguishing between two cancer subtypes: Acute Myeloid Leukemia (AML) and Acute Lymphoblastic Leukemia (ALL). Among these samples, 25 were identified as AML, while 47 were categorized as

ALL. By employing high-density oligonucleotide microarrays, the study investigated the gene expression patterns in these two cancer subtypes, analyzing a total of 7129 genes.

Table 1. Number of genes, instances, and classes for each experimental dataset

Datasets	Gene	Instance	Class
LEUKEMIA	7129	72	2
Colon	2000	62	2
Prostate	12600	136	2
Ovarian	15154	253	2
Lymphoma (DLBCL)	7129	77	2
Breast Cancer	47293	128	2
Breast Cancer - 2	24481	97	2
CNS	3495	1209	2

In their pioneering work (Alon et al., 1999), established the colon cancer dataset through the application of oligonucleotide microarrays, which facilitated the analysis of over 6500 genes in 40 tumor samples and 22 normal colon tissue samples. With a specific focus on colon cancer, the researchers refined the dataset to encompass a high-density set of 2000 genes.

The prostate cancer dataset (Singh et al., 2002) comprises 136 samples, with 59 being normal tissues and 77 being tumor tissues. It aims to explore gene expression patterns associated with prostate cancer for potential biomarker discovery and improved understanding of the disease.

The ovarian cancer dataset (Petricoin et al., 2002) comprises 253 samples, with 91 being normal tissues and 162 tumor tissues, featuring gene expression levels from 15,154 genes. It offers valuable data for exploring gene expression patterns in ovarian cancer, aiding in potential biomarker discovery and a better understanding of the disease.

The DLBCL lymphoma dataset (Shipp et al., 2002) contains 77 samples and was constructed specifically for differentiating between common diffuse large B-cell lymphoma (DLBCL) and follicular lymphoma. Each sample in the dataset is characterized by the expression levels of 7129 genes. Researchers can utilize this dataset to investigate gene expression patterns and develop classification models to accurately distinguish between these two lymphoma subtypes.

The breast cancer (BRC) dataset (Naderi et al., 2007) consists of 128 samples and is specifically utilized for differentiating between luminal and non-luminal breast cancer subtypes. Each sample in the dataset is characterized by the expression levels of 47293 genes. Researchers can leverage this dataset to explore gene expression patterns and develop robust models for accurate classification of luminal and non-luminal breast cancer types.

The breast cancer-2 (BRC-2) dataset (Van't Veer et al., 2002) includes two subsets used to differentiate between

metastasis occurrence and non-occurrence within the first five years following breast cancer diagnosis. These subsets provide valuable information for identifying potential predictive factors related to early-stage breast cancer patients' metastatic outcomes.

The CNS dataset (Pomeroy et al., 2002) is specifically designed to explore the differentiation between survival and mortality outcomes in patients with central nervous system (CNS) cancer. With a total of 60 samples, each dataset entry includes the expression levels of 7129 genes. This dataset holds significant potential for investigating gene expression patterns associated with patient prognosis in CNS cancer, potentially leading to advancements in personalized treatment approaches.

2.2. Method

2.2.1. The discrete cosine transform

The Discrete Cosine Transform (DCT) is a mathematical transformation technique used in analyzing temporal or spatial data, such as gene expression levels. It proves to be a powerful tool for feature extraction in data analysis by converting the data into its frequency components. By applying this transformation, the data is broken down into fundamental components, thereby unveiling essential features and representing the signal's energy content in the frequency domain. Employing the DCT on gene expression levels or other temporal/spatial data allows for the exploration of valuable information, leading to advancements in data compression, pattern recognition, and data processing applications.

The DCT equation, which transforms the input data $f(x)$ into its frequency domain representation $Y(u)$, is given in Equation 1:

$$Y(u) = \sqrt{\frac{2}{N}} a(u) \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot (2x + 1) \cdot u}{2N}\right), \quad (1)$$

$$a(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & u = 0 \\ 1, & u > 0 \end{cases}$$

where N represents the total number of samples in the dataset, $Y(u)$ denotes the DCT result for the particular frequency component u , and $f(x)$ represents an element of the input data at index x . The $a(u)$ coefficient takes the value $\frac{1}{\sqrt{2}}$ when $u = 0$ and 1 for $u > 0$, reflecting the symmetry properties of the DCT. This equation allows the extraction of frequency components from the input data, enabling valuable information discovery and contributing to data compression, pattern recognition, and data processing applications.

The advantage of combining feature extraction techniques in both the time domain (original data without DCT) and the frequency domain (DCT-applied data) lies in capturing complementary information from the data. Considering the benefits of feature extraction in the frequency domain, it can be observed that:

- I. Frequency Domain Information: The Discrete Cosine Transform (DCT) is primarily used for signal processing tasks and is known for its ability

to represent signals in the frequency domain. By applying DCT to the microarray dataset, the model can capture frequency-related patterns and variations in the data. This enables the model to detect periodic or repetitive patterns present in the microarray data, which may be challenging to identify in the time domain alone.

- II. Noise Reduction: Transforming the data into the frequency domain through DCT can help reduce the impact of noise or irrelevant features existing in the time domain. Noise components typically manifest in high-frequency regions, and DCT tends to concentrate the signal energy in a smaller number of coefficients, effectively reducing the noise-related components.
- III. Dimension Reduction: DCT, when applied for feature extraction in the frequency domain, facilitates dimension reduction, resulting in a more concise representation of the dataset. Dimensionality reduction helps mitigate the curse of dimensionality, improves computational efficiency, and potentially prevents overfitting in subsequent stages of the model.

Regarding gene expression level analysis, the usage of DCT offers several advantages:

- I. Identification of Relevant Genes: DCT transformation of gene expression levels reveals frequency-related patterns and variations. This transformation can emphasize genes crucial for the classification process, which might not be easily detectable in the original gene expression data.
- II. Detection of Gene Interactions: Genes exhibit higher levels of interaction compared to other data sets. For instance, certain genes can activate or trigger the expression of other genes. By applying DCT to gene expression data, such interactions can be highlighted, leading to a better understanding of gene regulatory networks.

By contributing to the resolution of these issues, the use of DCT in gene expression data can enhance the performance and interpretability of classification and diagnostic procedures.

2.2.2. The univariate feature selection

Univariate Feature Selection (UFS) is a feature selection method used to improve the classification or regression performance of features within a dataset. In this technique, each feature's contribution to the independent classification performance is evaluated. The impact of each feature on classification or regression is measured, enabling the selection of the most significant features and elimination of the least relevant ones.

Univariate Feature Selection is an effective approach to reduce dataset high-dimensionality and eliminate unnecessary features. This results in decreased irrelevant information noise, reduced model complexity, and improved performance of classification/regression algorithms. Common statistical metrics such as Pearson

Correlation, Anova F-test, Mutual Information, and Chi-square test are commonly used in Univariate Feature Selection. Widely applied in fields such as data analytics, machine learning, and model development, Univariate Feature Selection is a valuable tool, particularly in managing high-dimensional datasets and enhancing model performance.

2.2.3. Support vector machine

Support Vector Machine (SVM) is a powerful algorithm widely employed in machine learning for tasks such as classification, regression, and data separation. Its primary objective is to effectively segregate data points into specific classes using a hyperplane. SVM is known for its effectiveness in handling both low-dimensional and high-dimensional datasets. It achieves optimal separation between two classes by identifying support vectors from the training data and maximizing the margin between these vectors. To represent data points in higher-dimensional spaces, SVM utilizes various kernel functions. These kernel functions facilitate the transformation of data, enabling the creation of more intricate decision boundaries. Some common kernels used in SVM include:

- Linear Kernel: The basic kernel used for linearly separable datasets. It separates data points with a linear hyperplane in higher-dimensional space.
- Polynomial Kernel: This kernel handles nonlinear separations by transforming data into higher-dimensional spaces using polynomials. The degree of the polynomial controls the complexity of the kernel.
- Radial Basis Function (RBF) Kernel: A popular kernel that transforms data into infinite-dimensional spaces to address nonlinear classification problems. RBF is frequently preferred in SVM and delivers good results across various problems.
- Sigmoid Kernel: This kernel employs a hyperbolic tangent function similar to the activation function used in neural networks. It transforms data into higher-dimensional spaces.

SVM is a versatile and powerful classification algorithm that employs different kernel functions to map data into higher-dimensional spaces and achieve linear separation of classes in that space. However, selecting the appropriate kernel function and tuning the model's hyperparameters are crucial factors that significantly impact SVM's performance.

2.2.4. K-nearest neighbors

K-Nearest Neighbors (KNN) is a fundamental algorithm utilized in machine learning and statistical classification. KNN performs classification or value estimation based on the nearest neighbors surrounding a data point. The underlying principle of the KNN algorithm is straightforward. To classify or evaluate a given sample, KNN calculates the distances between the sample and all other examples in the dataset. Subsequently, it identifies the K closest neighbors and uses their labels or values to

make predictions. KNN is particularly renowned for classification problems, though it can also be applied to regression problems. In classification tasks, the labels of examples are categorical (e.g., "red" or "blue"), while in regression tasks, the values of examples are continuous numbers (e.g., the price of a house). One of the strengths of KNN lies in its simplicity during the training process and its adaptability to new data. Furthermore, it does not make any specific assumptions about the structure or size of the training data, rendering it suitable for various data types. However, when dealing with large datasets, the computational load may increase, necessitating careful data preprocessing.

The primary parameter of the KNN algorithm is K, which represents the number of nearest neighbors. The selection of an appropriate K value significantly influences the model's accuracy. Smaller K values can make the model sensitive to data noise, while larger K values may result in smoother classification boundaries. In conclusion, the K-Nearest Neighbors algorithm is favored for its simplicity, interpretability, and versatility in handling different data types for classification and regression tasks. Nonetheless, careful consideration of the K value and thoughtful data preprocessing are vital factors, especially when dealing with sizable datasets to achieve optimal performance. The KNN algorithm is a fundamental technique used in machine learning and statistical classification. KNN performs either classification or value estimation by considering the closest neighbors surrounding a data point. The mathematical formulation of the KNN algorithm is as follows:

For Classification using KNN:

Let the dataset be denoted as $D = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$, where x_i represents the features of the examples, and y_i represents their corresponding class labels. Assume we have a new example that we want to classify, and we denote it as x' .

Step 1: If the size of the dataset is smaller than K, set K equal to the dataset size. Otherwise, utilize a distance metric (e.g., Euclidean distance) to select K nearest examples to x' .

Step 2: Obtain the class labels of these K neighbors.

Step 3: For classifying x' , use the most frequently occurring class label among the K neighbors. This label will be the final classification result.

2.2.5. Neural network and convolutional neural networks

A Neural Network is a type of machine-learning model inspired by the structure and functioning of the human brain. It consists of interconnected nodes, called neurons, organized in layers. The three main types of layers in a typical neural network are:

- I. Input Layer: It receives raw data or features as input and passes them to the subsequent layers for processing.
- II. Hidden Layers: These layers process the input data using a combination of weights and activation

functions. The number of hidden layers and neurons in each layer can vary depending on the complexity of the problem.

- III. Output Layer: The final layer produces the predictions or output of the model, which can be a single value or a set of values, depending on the type of problem (classification or regression).

The information flow between layers is determined by weights (parameters) associated with the connections between neurons. The neural network learns from training data by adjusting these weights to minimize the difference between predicted outputs and actual outputs, using techniques like backpropagation and optimization algorithms. The general equation for a single neuron in a neural network can be written as given in Equation 2:

$$z = \sum (input * weight) + bias \quad (2)$$

where z is the weighted sum of inputs, bias is a constant term added to the weighted sum, and the activation function is a non-linear function that introduces non-linearity into the model.

A Convolutional Neural Network (CNN) is a specialized type of neural network designed for image and visual data processing. CNNs use a unique layer called the convolutional layer, which applies filters (also called kernels) to input images to detect features like edges, textures, and patterns. CNNs are particularly effective for tasks such as image classification, object detection, and image segmentation. The main components of a CNN are:

- I. Convolutional Layer: This layer applies convolutional filters to the input image, generating feature maps that highlight specific patterns in the image.
- II. Activation Function: After the convolutional operation, an activation function (often ReLU - Rectified Linear Unit) is applied element-wise to introduce non-linearity.
- III. Pooling Layer: Pooling layers reduce the spatial dimensions of feature maps, helping to make the model more computationally efficient and robust to variations in the input.
- IV. Fully Connected Layers: After several convolutional and pooling layers, the extracted features are passed to fully connected layers to make the final predictions.

The equations for the convolution operation and Leaky ReLU activation function are as given in Equation 3:

$$output[i, j] = \sum \sum (input[x, y] * kernel[i, j]) \quad (3)$$

Leaky ReLU Activation function (Equations 4):

$$Leaky\ ReLU(x) = \max(\alpha x, x) \quad (4)$$

In Leaky ReLU, α represents a hyperparameter typically set to a small positive value (e.g., 0.01). When the input, x , is positive, Leaky ReLU behaves like the regular ReLU, returning the input value, x . However, if x is negative, Leaky ReLU returns αx , introducing a small positive

slope in the negative range, which allows for activations even in the negative domain. This characteristic of Leaky ReLU effectively addresses the "dying ReLU" problem, where traditional ReLU neurons become inactive in the negative region, hindering learning. The adaptive nature of Leaky ReLU, especially in larger and more intricate neural architectures, offers advantages in reducing overfitting, a common challenge in deep learning. By enabling non-zero gradients in the negative range, Leaky ReLU ensures that neurons in those regions remain active and continue to learn from the data, promoting improved generalization of the model. Overall, incorporating Leaky ReLU in neural networks serves as a remedy to tackle the vanishing gradient problem associated with standard ReLU activation, leading to enhanced training procedures and facilitating convergence of learning models across various complex tasks.

2.2.6. Proposed hybrid model of DCT-UFS

This study presents the DCT-UFS hybrid model as an innovative approach for diagnosing and classifying microarray datasets. The key advantage of this hybrid model lies in its inherent capability to incorporate feature extraction from both the time domain (original data without DCT) and the frequency domain (DCT-applied data), thereby effectively capturing complementary information from the dataset. The block diagram of the DCT-UFS hybrid model is depicted in Figure 1. The model's workflow commences with the preprocessing step, wherein missing records are meticulously removed from the microarray data to ensure data integrity. To extract meaningful features, the DCT-UFS dimension reduction algorithm is judiciously employed. By leveraging the Discrete Cosine Transform (DCT) in the frequency domain, the model adeptly captures frequency-related patterns and variations inherently present in the data. Moreover, the DCT concentrates signal energy in a succinct number of

coefficients, thereby facilitating noise reduction and augmenting the representation of pivotal features. A salient strength of the DCT-UFS hybrid model lies in its ability to perform dimension reduction, culminating in a more compact dataset representation. This efficacious dimensionality reduction strategy effectively mitigates the curse of dimensionality, improves computational efficiency, and holds the potential to preempt overfitting in subsequent stages of the model.

After the feature extraction phase, the reduced dataset is systematically fed into a standard artificial neural network (ANN). The ANN architecture entails multiple layers of neurons, and the Leaky ReLU activation function is proficiently utilized to introduce non-linearity and adeptly capture intricate relationships within the data. By leveraging Leaky ReLU, the model effectively circumvents the vanishing gradient problem that may impede the training of deep neural networks. The concluding layer of the ANN thoughtfully adopts the Sigmoid activation function, rendering it particularly suitable for binary classification tasks. Table 2 furnishes a comprehensive overview of the architecture and activation functions deftly employed in the artificial neural network model. By seamlessly integrating feature extraction from both the time and frequency domains, the DCT-UFS hybrid model achieves a holistic and robust representation of the microarray dataset. This comprehensive representation perceptibly contributes to the amplified classification accuracy and heightened diagnostic performance, underscoring the promise and efficacy of the proposed model as a discerning and potent approach for the meticulous analysis of microarray data. Additionally, the study performed tests with three different classifiers, namely kNN, SVM, and CNN, to compare their performance with the artificial neural network (NN) used as the primary classifier. Figure 2 depicts a diagram showing four separate scenarios designed for each classifier.

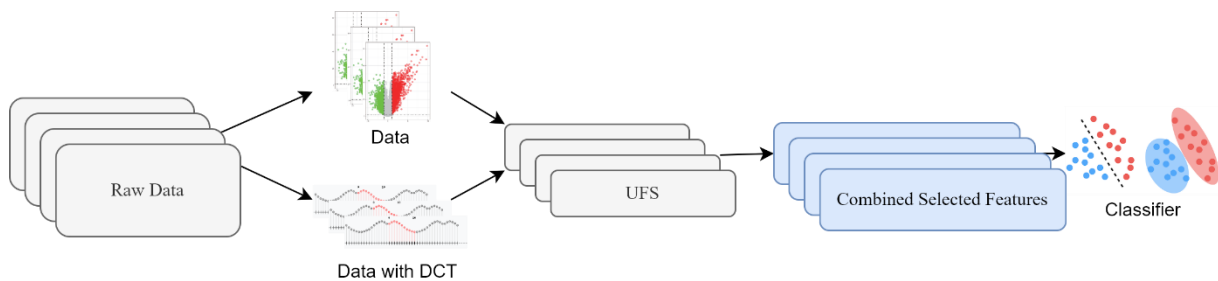


Figure 1. The architecture of the DCT-UFS hybrid model.

Table 2. Architecture of the artificial neural network (ANN)

Layer Number	Layer Type	Output Shape	Activation Function
1	Dense_1 (Dense)	(None, 64)	Leaky ReLU (alpha=0.9)
2	Dropout (Dropout rate: 0.5)	(None, 64)	-
3	Dense_2 (Dense)	(None, 16)	Leaky ReLU (alpha=0.9)
4	Dropout (Dropout rate: 0.5)	(None, 16)	-
5	Dense_3 (Dense)	(None, 1)	Sigmoid

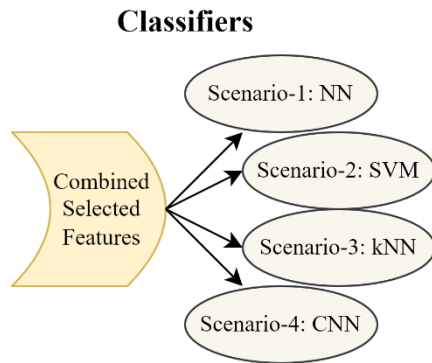


Figure 2. A block diagram illustrating the scenarios designed for different classifiers.

The CNN model depicted in Table 3 is specifically designed for the classification of time series data. Comprising 1D convolutional layers, max pooling, batch normalization, and dropout layers, the model boasts a total of 4,241 parameters. During the training process, it utilizes the 'adam' optimizer and 'binary_crossentropy' loss function, with performance evaluation conducted through the accuracy metric.

Table 3. Architecture of the Convolutional Neural Network

Layer Number	Layer Type	Output Shape	Activation Function
1	Conv1D	(None, feature_count, 64)	LeakyReLU(alpha=0.9)
2	MaxPooling1D	(None, feature_count /3, 64)	None
3	BatchNormalization	(None, feature_count /3, 64)	None
4	Dropout	(None, feature_count /3, 64)	None
5	Conv1D	(None, feature_count /3, 16)	LeakyReLU(alpha=0.9)
6	MaxPooling1D	(None, feature_count /9, 16)	None
7	BatchNormalization	(None, feature_count /9, 16)	None
8	Dropout	(None, feature_count /9, 16)	None
9	Flatten	(None, feature_count *16/9)	None
10	Dense	(None, 1)	Sigmoid

3. Results and Discussion

The study involved conducting experiments with hybrid models that incorporated dimension reduction, machine learning, and deep learning techniques to diagnose diseases using eight different microarray datasets related to LEUKEMIA, Colon, Prostate, Ovarian, DLBCL, Breast Cancer, Breast Cancer-2, and CNS diseases. Dimension reduction was achieved using Discrete Cosine Transform (DCT) and Unsupervised Feature Selection (UFS) methods, while classification utilized NN, SVM, kNN, and CNN models. The models were tested on a computer equipped with an Intel Xeon E5-2630 2.3 GHz CPU and 12 GB RAM.

3.1. Evaluation Criteria

The datasets were divided into training and test datasets using three different ratios, ranging from 60% to 80%, using the hold-out method. The division of the data was done randomly. In addition to the hold-out method, for robust evaluation, 10-fold cross-validation was applied to each proposed model. The average experimental results were then calculated for accuracy, sensitivity, specificity, precision values, the Kappa score, and the Macro F1 score, as given in Equations 5, 6, 7, 8, 9, and 10, respectively.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \times 100 \quad (5)$$

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN} \times 100 \quad (6)$$

$$Specificity = \frac{TN}{FP + TN} \times 100 \quad (7)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \times 100 \quad (8)$$

$$Kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (9)$$

$$Macro F1 = \frac{2 \times Macro Precision \times Macro Recall}{Macro Precision + Macro Recall} \quad (10)$$

The accuracy metric measures the proportion of correctly classified instances, encompassing true positives and true negatives, concerning the total instances. True positive (TP) refers to correctly predicted positive instances, while true negative (TN) indicates correctly predicted negative instances. False positive (FP) represents instances that were incorrectly predicted as positive, and false negative (FN) represents instances that were incorrectly predicted as negative. Sensitivity (recall) evaluates the model's ability to correctly identify actual positive instances, while specificity assesses the model's capability to correctly identify actual negative instances. The Kappa score assesses the agreement between the predicted classifications and the actual classifications, considering the agreement that could have occurred by chance. P_o represents the relative observed agreement, and P_e is the hypothetical probability of chance agreement. Precision measures the proportion of correctly predicted positive instances out of all instances predicted as positive. The Macro F1 score aims to strike a balance between

precision and recall on a per-class basis by calculating the F1 score independently for each class and then taking the unweighted average (macro-average) across all classes. These equations provide a comprehensive evaluation of the proposed models, considering their ability to accurately classify instances, handle imbalanced datasets, and measure the agreement between predicted and actual classifications. The results obtained for each metric allow for a comparison of the effectiveness of the different models studied.

Furthermore, given the stochastic nature of the neural network model, it was executed ten times to account for any variations in the outcomes. The final evaluation metric was then calculated as the average of these ten runs. This approach ensures a more robust and dependable assessment of the neural network model's performance, accounting for potential variability in its predictions across multiple executions.

3.2. Results

This study utilizes sensitivity, specificity, accuracy, macro F1 (MF1), and Cohen's Kappa coefficient (K) as performance criteria. The results of the proposed model were obtained through 10-fold cross-validation and hold-out. Furthermore, experiments were conducted on eight different datasets in four different scenarios.

In these experiments, four different classifiers were employed, and the results obtained using the hold-out method revealed that the NN (Artificial Neural Network) based classifier exhibited the highest performance among all classifiers. The detailed outcomes of these experiments can be found in Table 4.

The detailed outcomes of these experiments, obtained using the 10-fold cross-validation method, are presented in Table 5. The highest results are highlighted in bold for easy identification. Upon examination of the table, it can be generally observed that the NN model outperforms the other models.

Table 4. Experimental results of microarray dataset using the hold-out method with NN

Datasets	Tests	Sensitivity	Specificity	Accuracy	MF1	K
Leukemia	Test1(80-20)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Test1(70-30)	100.00	98.57	99.09	99.04	98.08
	Test1(60-40)	100.00	95.62	97.58	97.57	95.16
	Mean	100.00	98.06	98.89	98.87	97.75
Colon	Test1(80-20)	85.00	84.00	84.61	83.90	67.95
	Test1(70-30)	85.00	82.85	84.21	83.27	66.64
	Test1(60-40)	86.42	80.90	83.99	83.71	67.45
	Mean	85.47	82.58	84.27	83.63	67.35
Prostate	Test1(80-20)	76.66	93.33	88.57	85.60	71.26
	Test1(70-30)	89.28	94.11	91.93	91.82	83.65
	Test1(60-40)	90.55	96.08	93.65	93.52	87.05
	Mean	85.50	94.51	91.38	90.31	80.65
Ovarian	Test1(80-20)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Test1(70-30)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Test1(60-40)	99.83	100.00	99.90	99.89	99.76
	Mean	99.94	100.00	99.97	99.96	99.92
DLBCL	Test1(80-20)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Test1(70-30)	98.88	89.33	92.91	92.66	85.40
	Test1(60-40)	99.09	90.99	93.87	93.52	87.09
	Mean	99.32	93.44	95.59	95.39	90.83
BRC	Test1(80-20)	93.75	80.99	88.84	87.99	76.01
	Test1(70-30)	94.80	68.57	85.38	83.15	66.58
	Test1(60-40)	94.06	74.00	86.34	85.02	70.20
	Mean	94.20	74.52	86.85	85.39	70.93
BRC-2	Test1(80-20)	87.77	87.27	87.50	87.39	74.83
	Test1(70-30)	80.90	89.47	86.33	85.26	70.55
	Test1(60-40)	83.84	91.92	89.23	87.89	75.80
	Mean	84.17	89.55	87.69	86.85	73.73
CNS	Test1(80-20)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Test1(70-30)	91.66	100.00	97.22	96.65	93.35
	Test1(60-40)	80.00	97.22	92.91	89.95	80.03
	Mean	90.55	99.07	96.71	95.53	91.13

Table 5. Experimental results of microarray dataset using the 10-fold cv method with classifiers

Datasets	Classifiers	Sensitivity	Specificity	Accuracy	MF1	K
Leukemia	NN	100.00	94.00	95.89	95.61	91.41
	SVM	95.00	98.00	97.14	96.32	92.83
	KNN	85.00	100.00	95.71	93.63	87.64
	CNN	85.00	86.00	86.07	79.19	69.47
Colon	NN	90.00	81.66	87.38	85.99	72.31
	SVM	95.00	78.33	89.04	85.13	73.21
	KNN	92.50	70.00	84.28	79.89	62.68
	CNN	67.50	60.00	64.76	68.23	26.11
Prostate	NN	96.00	98.00	97.09	97.03	94.13
	SVM	88.66	96.00	92.27	92.24	84.59
	KNN	90.33	98.00	94.18	94.12	88.33
	CNN	68.33	78.00	72.72	67.05	46.33
Ovarian	NN	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	SVM	100.00	96.66	98.81	98.64	97.30
	KNN	100.00	95.55	98.43	98.20	96.43
	CNN	100.00	91.11	96.87	97.77	92.61
DLBCL	NN	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	SVM	100.00	98.00	98.57	98.44	96.95
	KNN	85.00	96.33	93.39	91.11	82.33
	CNN	95.00	70.00	76.60	69.42	53.56
BRC	NN	95.41	87.50	92.17	91.27	82.79
	SVM	90.83	78.00	85.89	84.01	68.59
	KNN	96.52	71.00	87.43	84.85	70.40
	CNN	88.33	69.00	81.08	85.79	56.99
BRC-2	NN	92.50	90.66	91.55	91.30	82.92
	SVM	79.00	79.00	79.11	77.88	57.82
	KNN	71.50	83.00	77.22	76.08	54.14
	CNN	65.50	71.00	67.88	61.65	36.04
CNS	NN	96.66	90.00	91.66	91.52	84.00
	SVM	91.66	89.16	90.00	89.30	79.04
	KNN	73.33	95.00	86.66	84.11	69.64
	CNN	33.33	80.83	64.99	36.66	15.23

Table 6 provides a comparative analysis of studies conducted on microarray datasets for diverse cancer types. These investigations aim to assess the distinctions between Leukemia, Colon, Prostate, Ovarian, Diffuse Large B-cell lymphoma (DLBCL), Breast Cancer (BRC), Breast Cancer Type 2 (BRC-2), and Central Nervous System (CNS) tumors. In numerous scholarly works (Alrefai and Ibrahim, 2022; Gunavathi and Premalatha, 2014; Panda, 2020; Sönmez et al., 2021), evolutionary computations have been employed. However, due to the substantial computational burden associated with numerous iterative calculations and population-based optimizations, evolutionary computations can lead to significant delays during the training and testing processes. Our proposed hybrid DCT-UFS (Discrete Cosine Transform - Univariate Feature Selection) method aims to minimize processing time by reducing data dimensions and requiring fewer computations through coefficient representations. While DCT is employed for dimensionality reduction, UFS evaluates the individual feature's relationship with the target variable during the feature selection process. This approach reduces

computational time by independently examining each feature and presents a straightforward solution. Consequently, the hybrid DCT-UFS method completes both training and testing procedures in a matter of seconds. Furthermore, it has demonstrated superior performance in 5 out of 8 different datasets and achieved competitive results on the remaining 3 datasets.

4. Conclusion

The increasing global prevalence of cancer has led to a significant rise in generating and analyzing microarray data from tissue samples. The accurate classification of this data is crucial for disease diagnosis and distinguishing between various tumor types. However, classifying microarray data is highly complex due to challenges like a limited number of samples, a large number of features, and the presence of data noise. In particular, genomic data analysis, including microarrays and RNA sequencing, often involves datasets with thousands of genes but only a few samples. This high data dimensionality further complicates the analysis process.

Table 6. Comparison of the studies on microarray datasets

Authors	Leukemia	Colon	Prostate	Ovarian	DLBCL	BRC	BRC-2	CNS
(Gunavathi and Premalatha, 2014) 5-Fold CV	-	85.00	92.68	-	84.00	-	-	81.25
(Gunavathi and Premalatha, 2014) 5-Fold CV	-	95.00	65.25	-	100.00	-	-	81.25
(Kumar and Rath, 2015) Hold-Out	97.22	-	-	98.42	-	-	-	-
(Gao et al., 2017) 10-Fold CV	-	89.09	96.54	-	-	-	-	-
(Gao et al., 2017) 10-Fold CV	-	90.32	96.08	-	100.00	-	-	-
(Medjahed et al., 2017) Hold-Out	95.81	-	-	98.19	-	-	-	-
(Sun et al., 2018) 10-Fold CV	-	88.00	80.00	-	-	-	-	-
(Panda, 2020) 10-Fold CV	92.11	79.03	-	99.21	-	-	73.43	53.34
(Baliarsingh et al., 2019) 10-Fold CV	-	96.74	-	-	-	-	-	-
(Pragadeesh et al., 2019) 10-Fold CV	-	-	-	-	-	-	-	92.86
(Luo et al., 2019) Hold-Out	-	-	-	-	-	-	-	75.00
(Kilicarslan et al., 2020) Hold-Out	99.86	-	-	98.60	-	-	-	83.95
(Zhang et al., 2020) 10-Fold CV	-	96.74	-	-	-	-	-	90.34
(Othman et al., 2020) 10-Fold CV	-	-	-	-	-	-	-	76.30
(Sönmez et al., 2021) 10-Fold CV	-	98.33	99.00	-	100.00	67.00	90.77	95.00
(Alrefai and Ibrahim, 2022) 10-Fold CV	100	92.86	-	100.00	-	-	86.36	85.71
This work (DCT-UFS with NN) Hold-Out	98.89	84.27	91.38	99.97	95.59	86.85	87.69	96.71
This work (DCT-UFS with NN) 10-Fold CV	95.89	87.38	97.09	100.00	100.00	92.17	91.55	91.66
This work (DCT-UFS with SVM) 10-Fold CV	97.14	89.04	92.27	98.81	98.57	85.89	79.11	90.00
This work (DCT-UFS with KNN) 10-Fold CV	95.71	84.28	94.18	98.43	93.39	87.43	77.22	86.66
This work (DCT-UFS with CNN) 10-Fold CV	86.07	64.76	72.72	96.87	76.60	81.08	67.88	64.99

Moreover, the majority of genes in these datasets may not directly contribute to the classification process or be relevant to the classes being studied. Therefore, identifying essential genes while disregarding others becomes critical in the classification process. Another significant challenge is the high level of gene interactions compared to other types of data. Some genes can activate others or trigger gene expressions, making the analysis of microarray data intricate and affecting result accuracy. To address these challenges, the DCT-UFS method can be employed in microarray data analysis. DCT-UFS is an effective technique used for dimensionality reduction and feature selection. It transforms high-dimensional data into smaller, meaningful features, which aids in identifying important genes and considering gene interactions.

The DCT (Discrete Cosine Transform) reduces processing time by reducing data dimensionality and representing it with less computationally demanding coefficients. On the other hand, UFS (Univariate Feature Selection) evaluates each feature's relationship independently with the target variable during selection. Its efficiency lies in analyzing each feature in isolation, disregarding relationships with other features, which reduces computation time and provides a straightforward approach. While literature reviews often mention the usage of evolutionary computations, such methods typically require substantial computational resources due to numerous repetitive calculations and population-based optimization requirements. This study proposed the utilization of the DCT-UFS method in their microarray data analysis. DCT-UFS serves as an effective approach for reducing data dimensionality and selecting relevant features.

Transforming high-dimensional data into meaningful features aids in identifying essential genes and considering gene interactions. The insights gained from utilizing the computationally efficient DCT-UFS method in microarray data analysis may ultimately contribute to the development of improved diagnostic and therapeutic strategies for cancer. Future work will focus on validating these findings in larger and more diverse datasets, as well as exploring the potential for integrating DCT-UFS with other machine learning techniques to further enhance the accuracy and efficiency of cancer classification.

Author Contributions

The percentage of the author contributions is presented below. The author reviewed and approved the final version of the manuscript.

	E.E.
C	100
D	100
S	100
DCP	100
DAI	100
L	100
W	100
CR	100
SR	100
PM	100

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management.

Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

Ethical Consideration

Ethics committee approval was not required for this study because of there was no study on animals or humans.

Acknowledgements

The author gratefully acknowledges the valuable comments and suggestions provided by the anonymous reviewers and editors, which significantly improved the quality of this article. Additionally, AI tools have been utilized to refine grammar and spelling, enhance stylistic elements, and elevate the overall clarity of the text.

References

Alon U, Barkai N, Notterman DA, Gish K, Ybarra S, Mack D, Levine AJ. 1999. Broad patterns of gene expression revealed by clustering analysis of tumor and normal colon tissues probed by oligonucleotide arrays. *Proc National Acad Sci*, 96(12): 6745-6750.

Alrefai N, Ibrahim O. 2022. Optimized feature selection method using particle swarm intelligence with ensemble learning for cancer classification based on microarray datasets. *Neural Comput Appl*, 34(16): 13513-13528.

Baliarsingh SK, Vipsita S, Muhammad K, Bakshi S. 2019. Analysis of high-dimensional biomedical data using an evolutionary multi-objective emperor penguin optimizer. *Swarm Evol Comput*, 48: 262-273.

Efe E, Özşen S. 2022. Comparison of time-frequency analyzes for a sleep staging application with CNN. *J Biomimetics, Biomater Biomed Eng*, 55: 109-130.

Efe E, Ozsen S. 2023. CoSleepNet: Automated sleep staging using a hybrid CNN-LSTM network on imbalanced EEG-EOG datasets. *Biomed Signal Proces Control*, 80: 104299.

Efe E, Yavsan E. 2024. AttBiLFNet: A novel hybrid network for accurate and efficient arrhythmia detection in imbalanced ECG signals. *Math Biosci Eng*, 21(4): 5863-5880.

Er MJ, Chen W, Wu S. 2005. High-speed face recognition based

on discrete cosine transform and RBF neural networks. *IEEE Transact Neural Networks*, 16(3): 679-691.

Gao L, Ye M, Lu X, Huang D. 2017. Hybrid method based on information gain and support vector machine for gene selection in cancer classification. *Genomics Proteomics Bioinformatics*, 15(6): 389-395.

Golub TR, Slonim DK, Tamayo P, Huard C, Gaasenbeek M, Mesirov JP, ... Caligiuri MA. 1999. Molecular classification of cancer: class discovery and class prediction by gene expression monitoring. *Science*, 286(5439): 531-537.

Gunavathi C, Premalatha K. 2014. Performance analysis of genetic algorithm with kNN and SVM for feature selection in tumor classification. *Int J Comput Info Eng*, 8(8): 1490-1497.

Guyon I, Weston J, Barnhill S, Vapnik V. 2002. Gene selection for cancer classification using support vector machines. *Machine Learn*, 46: 389-422.

Kar S, Sharma K Das, Maitra M. 2015. Gene selection from microarray gene expression data for classification of cancer subgroups employing PSO and adaptive K-nearest neighborhood technique. *Expert Syst Appl*, 42(1): 612-627.

Kilicarslan S, Adem K, Celik M. 2020. Diagnosis and classification of cancer using hybrid model based on Relieff and convolutional neural network. *Medic Hypot*, 137: 109577.

Kumar M, Rath SK. 2015. Classification of microarray using MapReduce based proximal support vector machine classifier. *Knowledge-Based Syst*, 89: 584-602.

Li L, Jiang W, Li X, Moser KL, Guo Z, Du L, Rao S. 2005. A robust hybrid between genetic algorithm and support vector machine for extracting an optimal feature gene subset. *Genomics*, 85(1): 16-23.

Luo K, Wang G, Li Q, Tao J. 2019. An improved SVM-RFE based on \$ F \$-statistic and mPDC for gene selection in cancer classification. *IEEE Access*, 7: 147617-147628.

Maldonado S, Weber R, Basak J. 2011. Simultaneous feature selection and classification using kernel-penalized support vector machines. *Info Sci*, 181(1): 115-128.

Medjahed SA, Saadi TA, Benyettou A, Ouali M. 2017. Kernel-based learning and feature selection analysis for cancer diagnosis. *Appl Soft Comput*, 51: 39-48.

Meenachi L, Ramakrishnan S. 2021. Metaheuristic search based feature selection methods for classification of cancer. *Pattern Recog*, 119: 108079.

Mundra PA, Rajapakse JC. 2009. SVM-RFE with MRMR filter for gene selection. *IEEE Transact Nanobiosci*, 9(1): 31-37.

Naderi A, Teschendorff AE, Barbosa-Morais NL, Pinder SE, Green AR, Powe DG, Brenton JD. 2007. A gene-expression signature to predict survival in breast cancer across independent data sets. *Oncogene*, 26(10): 1507-1516.

Orhan H, Yavşan E. 2023. Artificial intelligence-assisted detection model for melanoma diagnosis using deep learning techniques. *Math Mod Numeric Sim Appl*, 3(2): 159-169.

Othman MS, Kumaran SR, Yusuf LM. 2020. Gene selection using hybrid multi-objective cuckoo search algorithm with evolutionary operators for cancer microarray data. *IEEE Access*, 8: 186348-186361.

Panda M. 2020. Elephant search optimization combined with deep neural network for microarray data analysis. *J King Saud Univ Comput Info Sci*, 32(8): 940-948.

Petricoin EF, Ardekani AM, Hitt BA, Levine PJ, Fusaro VA, Steinberg SM, Kohn EC. 2002. Use of proteomic patterns in serum to identify ovarian cancer. *The Lancet*, 359(9306): 572-577.

Pomeroy SL, Tamayo P, Gaasenbeek M, Sturla LM, Angelo M, McLaughlin ME, Lau C. 2002. Prediction of central nervous

- system embryonal tumour outcome based on gene expression. *Nature*, 415(6870): 436-442.
- Pragadeesh C, Jeyaraj R, Siranjeevi K, Abishek R, Jeyakumar G. 2019. Hybrid feature selection using micro genetic algorithm on microarray gene expression data. *J Intel Fuzzy Syst*, 36(3): 2241-2246.
- Qaraad M, Amjad S, Manhrawy IIM, Fathi H, Hassan BA, El Kafrawy P. 2021. A hybrid feature selection optimization model for high dimension data classification. *IEEE Access*, 9: 42884-42895.
- Shipp MA, Ross KN, Tamayo P, Weng AP, Kutok JL, Aguiar RCT, Pinkus GS. 2002. Diffuse large B-cell lymphoma outcome prediction by gene-expression profiling and supervised machine learning. *Nature Medic*, 8(1): 68-74.
- Singh D, Febbo PG, Ross K, Jackson DG, Manola J, Ladd C, Richie JP. 2002. Gene expression correlates of clinical prostate cancer behavior. *Cancer Cell*, 1(2): 203-209.
- Sönmez ÖS, Dağtekin M, Ensari T. 2021. Gene expression data classification using genetic algorithm-based feature selection. *Turkish J Elect Eng Comput Sci*, 29(7): 3165-3179.
- Sun L, Zhang X, Xu J, Wang W, Liu R. 2018. A gene selection approach based on the fisher linear discriminant and the neighborhood rough set. *Bioengineered*, 9(1): 144-151.
- Van't Veer LJ, Dai H, Van De Vijver MJ, He YD, Hart AAM, Mao M, Witteveen AT. 2002. Gene expression profiling predicts clinical outcome of breast cancer. *Nature*, 415(6871): 530-536.
- Zhang G, Hou J, Wang J, Yan C, Luo J. 2020. Feature selection for microarray data classification using hybrid information gain and a modified binary krill herd algorithm. *Interdisciplinary Sci: Comput Life Sci*, 12: 288-301.



ALİAĞA BÖLGESİ GEMİ SÖKÜM TESİSLERİNİN VERİMLİLİK ANALİZİ

Sibel BAYAR^{1*}

¹Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Maritime Transportation Management Engineering, 34320, Istanbul, Türkiye

Özet: Ekonomik ömürleri dolan gemiler, piyasadaki arz talep dengesini sağlamak için geri dönüşüme yollanmaktadır. Gemi geri dönüşümünün ilk aşaması gemi söküm aşamasıdır. Gemi söküm tesislerindeki söküm sürecinin çevre ve insan sağlığına zarar vermeden etkin ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi önemlidir. Bu nedenle makalede, Aliğa Bölgesindeki gemi geri dönüşüm bölgesinde bulunan 8 gemi söküm tesisinin 2018-2022 yılları arasında gerçekleşen göreceli verimlilik değerleri ayrı ayrı hesaplanmış olup, bölgedeki tesislerin birbirleri ile bir karşılaştırılması yapılması amaçlanmıştır. Göreceli verimlilik analizi yapmak için hibrit bir yöntem olan entropi yöntemi entegre edilmiş EATWOS yöntemi kullanılmıştır. Tesislerin faaliyet alanı ve kapasiteleri girdi, gemi söküm tonajları ve miktarları çıktı değerleridir. Çalışma sonucunda en iyi üç tesis arasında bulunan bir tesisin, AB listesine başvurup, denetlendiği ve onaylanmadığı, en kötü üç tesis arasından bulunan bir tesisin ise AB tesis listesinde bulunduğu görülmüştür. Ancak yapılan analizde tesislerin yeşil gemi geri dönüşüm süreçlerine uyma durumları dikkate ele alınmamıştır. Makale, Aliğa Bölgesi'ndeki tesislerin karşılaştırılması için göreceli verimlilik analizi yapması bakımından literatüre katkı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Aliğa, Gemi, Söküm, Entropi, EATWOS, Verimlilik

Productivity Analysis of Ship Recycling Facilities in Aliğa Region

Abstract: To ensure balance between supply and demand in the market, ships that have reached the end of their economic life are recycled. The first stage of ship recycling is the ship dismantling stage. It is important that the recycling process in ship recycling facilities is carried out effectively and efficiently without harm to the environment and human health. Therefore, in the article, the relative productivity values of 8 ship recycling facilities in the ship recycling zone in Aliğa Region between 2018-2022 were calculated separately and it was aimed a comparison of the facilities in the region with each other. The EATWOS method integrated with the entropy method, which is a hybrid method, was used to analyze relative productivity. The operating area and capacities of the facilities are input values, while the tonnages and quantities of ship dismantling are output values. As a result of the study, it was seen that one facility among the top three facilities applied to the EU list, was audited and not approved, while one facility among the worst three facilities was found to be on the EU facility list. However, the analysis did not take into account the compliance of the facilities with the green ship recycling processes. The article contributes to the literature in terms of relative productivity analysis for the comparison of facilities in Aliğa Region.

Keywords: Aliğa, Ship, Recycling, Entropy, EATWOS, Efficiency

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Maritime Transportation Management Engineering, 34320, Istanbul, Türkiye

E mail: sibelb@iuc.edu.tr (S. BAYAR)

Sibel BAYAR <https://orcid.org/0000-0002-9169-935X>

Gönderi: 23 Mayıs 2024

Kabul: 02 Temmuz 2024

Yayınlanma: 15 Temmuz 2024

Received: May 23, 2024

Accepted: July 02, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Bayar S. 2024. Productivity analysis of ship recycling facilities in Aliğa region. BSJ Eng Sci, 7(4): 705-716.

1. Giriş

Ekonomik ömrü dolmuş geri dönüşebilir malzemeye sahip pek çok ürün geri dönüşüm işleminden geçirilmektedir. Gemilerin de mali açıdan uygun ve teknik açıdan işlevsel bir ömrü bulunmaktadır. Bu kapsamda; 2023 yılı itibarıyla dünyadaki toplam denizcilik filosu 2272772 bin ton'luk bir kapasiteye sahip olup, bunun % 12,5'i 20 ve üstü yaşa sahip gemilerden oluşmakla birlikte, gemi adedi olarak ise %41,8'i 20 yaş ve üstü gemileri içermektedir (UNCTAD,2023). Bununla birlikte 2022 yılında 55580 bin GT yeni inşa gemi teslimi yapılmış ve 7531 bin GT'luk gemi geri dönüşüme gitmiştir (UNCTAD, 2023). Bu veriden de anlaşıldığı üzere; gemi piyasalarında arz ve talep dengesinin

sağlanması için, gemiler hizmet ömrünü tamamladıktan sonra turizm gibi amaçlarla yeniden değerlendirilebilir veya geri dönüşüme tabi tutulabilirler (Menteş, 2023). Kullanım ömrü sonunda, bir geminin sökülerek bileşenlerinin ve malzemelerinin yeniden kullanımı için geri kazanılması işlemine gemi geri dönüşümü denir (Sezer ve ark., 2024). Gemi geri dönüşümü, gemilerin önce parçalarına ayrılması ve ardından atıkların geri dönüşüm için kullanılabilir parçalardan ayrılmasından oluşan mühendislik sürecidir (Çelik ve ark., 2024). IMO gemi geri dönüşümünü, "bileşenlerin ve malzemelerin yeniden işlenmek veya kullanılmak üzere geri kazanılması için bir geminin, geri dönüşüm tesisinde kısmen veya tamamen sökülmesi, bileşenlerin ve



malzemelerin depolanması, işlenmesi veya imha edilmesi” olarak tanımlamaktadır (Fariya ve ark., 2019). Bir geminin ağırlığının %95’den fazla geri dönüştürülebilir malzemelerden ve gemilerden çıkarılan parçalardan oluşmaktadır (Çelik ve ark., 2024; Mahindrakar ve ark., 2008; Mathew, 2021). Bu geri dönüştürülebilir malzemelerin %95’i çelikten, toplam LDT’nin yaklaşık %1-2’si diğer değerli metallere, %0,5-8’i ise mobilya ve diğer demirbaşlardan oluşmaktadır (Mahindrakar ve ark., 2008). Gemi geri dönüşümü ekonomik ve sürdürülebilir çevre açısından önemlidir (Menteş, 2023). Endüstri devrimi ile seri üretime geçilmesi ve teknolojik gelişmeler, nüfus artışı vb. nedenlerden dolayı ticari yük hacmi ve tüketimin artmasına paralel olarak doğal kaynak rezervleri azalmakta ve doğal maden kaynakları çıkarırken çevreye fazla zarar verilmektedir. Doğal kaynaklardan geleneksel üretim yöntemleriyle çelik üretmek için önemli miktarlarda enerji tüketimi olmakta, demir cevheri ve diğer minerallerin yeraltından çıkarılması sırasında büyük yüzey hasarlarına sebebiyet verilebilmektedir (Menteş, 2023). 1 ton cevherin endüstriyel dökme demire dönüştürülmesi için 7400 MJ enerji gerektirirken, atmosfere 2200 kg CO₂ salınımı gerçekleşirken, gemi sökümü yoluyla aynı miktarda dökme demir üretimi için 1350 MJ enerji gerekir ve 280 kg CO₂ salınımı söz konusudur (Menteş, 2023). Dolayısıyla gemi sökümü çevre dostu kabul edilmesine karşın; operasyon sırasında meydana gelen kazaların yanı sıra, söküm sırasında çevreye salınan, hem personele hem de çevreye zarar verebilecek zehirli maddeler de sektör için ciddi bir tehdittir (Günbeyaz, 2019; Menteş, 2023). Gemiler asbest, radyoaktif atıklar, ağır metaller ve kalıcı organik kirleticiler (KOK’lar), poliklorlu bifeniller (PCB’ler) ve dioksinlerden oluşan ham petrol gibi tehlikeli maddelerle doludur (Dewan ve Sibilia, 2024). Bu kapsamda; Sezer ve ark. (2024)’nin denizcilik ortamındaki gemi geri dönüşüm sürecinin tehlikelerine ilişkin risk analizi ile ilgili çalışmanın sonucunda ağır metal kalıntıları ve toksinlerin en yüksek risk değerine sahip olduğu görülmüştür. Zhou ve ark. (2021a) gemi söküm prosedürleri sırasında oluşan kirleticileri araştırmışlar ve organizasyon yönetim faktörünün yeşil geri dönüşümü üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu, bunu sırasıyla çevre koruma tesisleri ve planları faktörü ve ekolojik indeks faktörünün takip ettiğini belirtmişlerdir. Carvalho ve ark. (2009), gemi söküm faaliyetlerinin çevresel etkisinin sadece gemi tipi ve büyüklüğü ile ilişkili olmadığı, ayrıca bileşiminin de önemli bir faktör olduğunu görmüşlerdir. Günbeyaz ve ark. (2023) çalışmasında; gemi geri dönüşüm işlerinin kaplamalı ve kaplamasız çeliğin kesme işlemi sırasında işçilerin solunum yoluyla ağır metallerle maruz kalma riskinin yüksek olduğunu göstermişlerdir. Zhou ve ark. (2021b)’a göre; tehlikeli maddelerin bertarafı, söküm operasyonu güvenliği, söküm operasyon yönetimi, söküm operasyon ekipmanı ve güvenlik bilincinin kişisel işçi sağlığını direkt veya dolaylı olarak etkilemektedir. Asbest de, gemi geri

dönüşüm sektöründe çalışanlar ve çevre ve insan sağlığı için de önemli bir tehlike olarak karşımıza çıkmaktadır (Hasanlı ve ark., 2023). Ayrıca; işçiler, söküm esnasında ortaya çıkan asbest, ağır metaller, organik kimyasallara maruz kaldıklarında, hayati organlarının ciddi hasar görmesi söz konusudur (Hasanlı ve ark., 2023). Singh ve ark. (2020) gemi geri dönüşümü sırasında, asbeste maruz kalan işçilerin %15’i uzun dönemde meslek hastalığına yakalanıp ölmelerinin muhtemel olduğunu ifade etmişlerdir. Mathew (2021) gemi geri dönüşüm sektörünün çevre ve insanlar üzerindeki olumsuzlukların çözümü için uluslararası yönergeleri dikkate almanın zorunluluk olduğunu ileri sürmektedir.

Gemi geri dönüşüm sektörünün insan ve çevre sağlığına zarar veren tehlikeli atıklar barındırması nedeniyle; “Tehlikeli Atıkların Sınır Ötesi Taşınmasının ve Bertarafının Kontrolüne İlişkin Basel Sözleşmesi”, “Gemilerin Emniyetli ve Çevreye Uyumlu Geri Dönüşümü Hakkında Hong Kong Uluslararası Sözleşmesi”, “Avrupa Birliği Gemi Geri Dönüşüm Yönetmeliği” gibi gemi geri dönüşümüne ilişkin kural ve düzenlemeler ortaya çıkmıştır (Zhou ve ark., 2021a). Gemi söküm işlemleri ile ilgili ilk kayda değer girişim olan IMO kapsamındaki Basel Sözleşmesi, tehlikeli atıkların hareketinin kontrolü için 1992 tarihinde yürürlüğe giren bir sözleşme olup; 2003 yılında tehlikeli madde içeren tehlikeli madde içeren gemilerin gelişmekte olan ülkelerde sökülmesini de içeren ekonomik ömrünü tamamlayan gemilere yönelik kılavuzları eklenmiştir (Çelik ve ark., 2024). 2019’da yürürlüğe giren, bu gemiler de dâhil tehlikeli atıkların sınır ötesi taşınmasını yasaklamayı amaçlayan yasak değişikliğini de içermesine karşın; gemi söküm sürecine kapsamlı bir şekilde karşı çıkılmaması açısından hala yetersiz görülmektedir (Çelik ve ark., 2024; Solakivi ve ark., 2021). Bu nedenle IMO tarafından 2009 yılında “Gemilerin Emniyetli ve Çevreye Uyumlu Geri Dönüşümü Hakkında Hong Kong Uluslararası Sözleşmesi” kabul edilmiştir (Çelik ve ark., 2024). Bangladeş ve Liberya’nın onay vermesi ile gerekli minimum onay sayısı sağlanması durumunda 2025 yılında yürürlüğe girecektir (Çelik ve ark., 2024). Bu kapsamda; Dewan ve Sibilia (2024) Bangladeş’in Hong Kong sözleşmesini onaylaması durumunun toksik akışları kontrol alma potansiyelini araştırmışlardır ve gemi sökümünden kaynaklı toksik sızıntıları ve eşitsiz güç ilişkilerinin yarattığı yapısal şiddetin ancak denetim ve düzenleyici yaptırımlarla önüne geçilebileceğini ifade etmişlerdir. Bu sözleşme, çevre ve insan güvenliği açısından gereksiz riskleri ortadan kaldırmak için gemilerin tasarımını, inşasını, işletimini ve geri dönüşümünü içermekte (Zhou ve ark., 2021b) ve gemi geri dönüşüm endüstrisi için uluslararası standartları belirlemektedir (Ahmad, 2022). 2009 tarihli Hong Kong Sözleşmesinin erken onaylanmasını kolaylaştırmasını öngören ve büyük ölçüde bu sözleşmeden ilham alan “Avrupa Birliği Gemi Geri Dönüşüm Yönetmeliği” 20 Kasım 2013’de kabul edilmiş ve 31 Aralık 2020’de yürürlüğe girmiştir (Ahmad, 2022; Çelik ve ark., 2024; Solakivi ve ark., 2021). Bu yönetmelik

kapsamında tüm AB bayraklı gemilerin sadece işçi güvenliği ve çevrenin korunması açısından güvenilir "Avrupa Gemi Geri Dönüşüm Tesisleri Listesi"nde bulunan AB ve AB dışı ülkelerdeki sertifikalı tesislerde sökülme (Çelik ve ark., 2024). 2022 yılında yayımlanan 12. baskısında liste, Avrupa'da ve Avrupa dışında bulunan 45 tersaneden oluşmaktadır (European Commission, 2024). Aliğa'daki 9 gemi geri dönüşüm tesisi de bu listede bulunmaktadır (Sakin, 2023). Solakivi ve ark. (2021) Avrupa listesinin mevcut kapasitesinin beklenen gemi geri dönüşüm talebini karşılamaya yeterli olmadığını ve AB dışında önemli bir miktarda ilave kapasiteye ihtiyaç duyulduğunu ifade etmektedir. Glinski (2022) ise; "Avrupa Gemi Geri Dönüşüm Yönetmeliği'nin yönetim yapısının bazı önemli boşluklara sahip olduğu ve belgelendirme kuruluşlarının klasik çıkar çatışmalarına çare olmadığı ve diğer hususların yanı sıra, bir sorumluluk rejimi ile tamamlanması gerektiği sonucuna varmıştır.

1960'lı yıllardan önce gemi sökümü işi, ABD ve bazı Avrupa ülkelerinde önemli bir işkolu olmasına karşın, daha karlı iş kollarına yönelmeleri nedeniyle, Asya ülkelerine ve Türkiye'ye kaydırılmış bulunmaktadır (Mahindrakar ve ark., 2008). 2022 yılı sonuçlarına göre; satılan gemilerin groston olarak %95'i Bangladeş, Pakistan, Hindistan, Türkiye ve Çin'de gerçekleştirilmektedir (UNCTAD,2023). Tüm gemiler için en yüksek miktarda gemi geri dönüşümüne sahip ülke, %37,2 ile Bangladeş olmuş, bunu %32,3 ile Hindistan takip etmekte olup; Çin, %2,4 ile bu beş ülke en düşük orana sahip olmuş, Türkiye'nin oranı ise %6,4 olarak gerçekleşmiştir (UNCTAD, 2023). Gemi tipleri açısından incelendiğinde ise; en çok gemi dönüşümüne gönderilen gemi tipi %36,1 ile petrol tankeri olmuş, ikinciliği ise %31,5 ile kuru yük taşıyıcıları almış ve üçüncü sırada ise %10,7 ile offshore tesisleri olmuştur (UNCTAD, 2023). Yine 2022 sonuçlarına göre Bangladeş ve Pakistan'ın en çok petrol tankeri ve kuru yük taşıyıcısına, Hindistan ise petrol tankeri ve kuru yük taşıyıcısına ek olarak offshore tesislerine yoğunlaşmış olup; offshore tesislerinin geri dönüşümünün %70'den fazlasını gerçekleştirmektedir (UNCTAD, 2023). Türkiye ise daha çok feribot ve yolcu gemilerine yoğunlaşmış olup, bu tip gemilerin geri dönüşümünün yaklaşık %50'sini gerçekleştirmiş, bunu yaklaşık %36 ile Hindistan takip etmektedir (UNCTAD, 2023). Türkiye'de gemi geri dönüşüm işlemleri İzmir Aliğa Bölgesindeki gemi söküm tesislerinde gerçekleştirilmektedir. Aliğa gemi söküm tesislerinde 9'u AB listesinde olan toplam 22 tesis bulunmaktadır (Sakin, 2023).

Gemi söküm tesisleri iş sağlığı ve çevre açısından ciddi riskleri barındırması nedeniyle kendi içinde rekabet koşullarına dayanarak etkin ve verimli işletilmesi gerekmektedir. Bu nedenle makalede, 5 yıllık söküm tonajı ve söküm miktarları bilinen Aliğa Bölgesinde gemi söküm işlemi yapan 8 tesis için her bir yıl için göreceli verimlilik analizi ile bölgedeki en iyi performansa sahip olan tesisler ve yıllık sıralamalarının

incelenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda öncelikle entropi yöntemiyle ağırlıklandırmalar hesaplanmış ve bu ağırlıklar EATWOS analizinde kullanılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalar, genelde sağlık, emniyet ve çevre ile ilgili çalışmalara yoğunlaşmış olup; Aliğa Bölgesindeki gemi geri dönüşüm sektörü tesislerinin verimlilikleri ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmadığından, tesislerin birbiri arasındaki göreceli verimliliği ölçerek bölgedeki tesislerin karşılaştırılması açısından literatüre katkı sunmaktadır. Çalışmanın giriş bölümünde; gemi geri dönüşümü ile ilgili bilgiler, amaç ve literatüre katkısı belirtilmiştir. Materyal ve Yöntem kısmında ise öncelikle verimlilik analizine değinilmiş ve ardından entropi ve EATWOS yöntemlerine değinilmiştir. Bulgular ve Tartışma bölümünde Aliğa Bölgesi'ndeki gemi söküm tesislerinin verimlilik analizi yapılmış, sonuç bölümünde ise çalışmanın kısıtları, sonuçları ve öneriler verilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada, hibrit bir metot olan entropi yöntemi ile entegre olan EATWOS yöntemi kullanarak Aliğa Gemi Geri Dönüşüm Bölgesinde bulunan söküm tesislerinin göreceli verimlilik analizi yapılmıştır. Bu hibrit yöntemde, entropi yöntemi ile bulunan faktör ağırlıkları EATWOS yönteminde kullanılmaktadır. Bu kapsamda; öncelikle verimlilik analizi kavramına, daha sonra ise entropi ve EATWOS yöntemlerine değinilmiştir.

2.1. Verimlilik Analizi

TDK 'ya göre verim ortaya çıkan, istenilen beklenen sonuç ve verimlilik ise verimli olma durumu, verimkârlık olarak tanımlanmıştır (TDK,2024). Basit bir şekilde verim, çıktının girdiye bölünmesi ile bulunmaktadır. Verimlilik, en yalın haliyle var olan girdilerden maksimum çıktı sağlanması olarak ifade edilebilir. İşletmeler için özellikle operasyon süreçlerinde verimlilik önemli olmaktadır. Bu nedenle; verimlilik analizi ile ilgili olarak literatürde pek çok çalışmaya rastlamak mümkündür. Verimliliğin ölçülmesinde, en basit olarak oran analizinden faydalanılmakta olup, tek bir girdi üzerine analiz yapılmaktadır. Kısmi olarak verimlilik bulunsu da işletmelerin karmaşık yapısı altında gerçekçi sonuçlar vermeyebilir (Babacan,2006).

Verimlilik analizi yöntemleri genel olarak oran analizi, parametrelili yöntemler ve parametresiz yöntemlerden oluşmaktadır (Casu ve ark., 2004; Porcelli, 2009; Simar, 1992; Yeşilada ve Yaylalı, 2016). Oran analizi, tek girdi ve tek çıktının olduğu, hesaplanmanın basit olduğu bir analiz olup; birden fazla kriteri ele almadığı için verimlilik analizi için sıklıkla yeterli olmamaktadır (Yeşilada ve Yaylalı, 2016; Yeşilyurt, 2009). Parametrelili yöntemler, ekonometrik yöntemler olup, parametrelili yöntemlerde verimlilik sınırı genellikle Cobb-Douglas (log-doğrusal) üretim fonksiyonu biçiminde ekonomik modelleme temelinde oluşturulmaktadır (Asmare ve Begashow, 2018). Bu nedenle, üretim fonksiyonu açıklayıcı değişkenler kümesi (girdiler, çıktılar ve diğer olası açıklayıcı değişkenler) ve bu regresyonun bileşik hata teriminin iki bileşeni (rastgele hata) ve verimsizlik

terimi tarafından tanımlanmaktadır (Asmare ve Begashow, 2018). Parametrel yöntemler, genel olarak deterministik ve stokastik yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır (Murillo-Zamorano ve Vega-Cervera, 2001; Simar, 1992). Deterministik yöntemler, tüm gözlemleri kapsamaktadır ve gözlemlenen üretim ile sınır ve mevcut teknoloji tarafından tanımlanan maksimum üretim arasındaki mesafeyi, teknik verimsizlik olarak tanımlamaktadır (Murillo-Zamorano ve Vega-Cervera, 2001; Simar, 1992). Stokastik yöntemleri ise; üretim fonksiyonu etrafında istatistiksel gürültüye izin veren, teknik verimlilik ile istatistiksel gürültü arasında ayırım yapmayı sağlayan sınır yöntemleridir (Murillo-Zamorano ve Vega-Cervera, 2001; Simar, 1992). Stokastik sınır yaklaşımı, kalın sınır yaklaşımı ve dağıtımsız yaklaşım, parametrel yöntemlerdendir (Asmare ve Begashow, 2018; Kwon ve Lee, 2004). Parametresiz yöntemler ise; verimlilik sınırının en verimli karar alma birimlerinin deneysel sonuçlarından veya kıyaslama ölçütlerinden üretildiği hipotezine dayanmaktadır (Asmare ve Begashow, 2018). Parametrel yöntemler, üretken verimliliğin ölçülmesi, belirli bir sınır fonksiyonunun belirlenmesini gerektirmesine karşın (Murillo-Zamorano ve Vega-Cervera, 2001); parametresiz yöntemler, verimlilik veya teknolojinin altında yatan işlevsel biçim açısından her hangi bir varsayım gerektirmemektedir (Casu ve ark., 2004). Parametresiz yöntemlerde, matematiksel programlama modelleri kullanılmaktadır (Porcelli, 2009). Veri zarflama analizi, EATWOS yöntemi, EATWIOS yöntemi, serbest atılabilir zarf modeli, toplam faktör verimliliği, Malmquist indeks gibi yöntemler parametresiz yöntemlerdendir (Babacan, 2006; Görçün, 2019a; Görçün, 2021; Kwon ve Lee, 2004; Porcelli, 2009; Simar, 1992; Wang ve ark., 2003, Zolfani ve ark., 2023). Verimlilik analizi hizmet ve üretim olan her sektöre uygulanmakta olup; limanlardan (Akyürek, 2017; Ateş ve Esmer, 2015; Chang ve Tovar, 2014; Görçün, 2021; Notteboom ve ark., 2000; Osundiran ve ark., 2021; Schøyen ve Odeck, 2017; Wang ve ark., 2003) tersanelere (Kocak ve ark., 2023; Sezen ve Doğan, 2005), konteyner taşımacılığında (Zolfani ve ark., 2023), gemi filosuna (Fun-Sang ve Caprace, 2015) kadar geniş bir alanda denizcilik sektöründe verimlilik analizinin yapıldığı birçok çalışmaya rastlamak mümkündür. Liman ve terminaller ile ilgili yapılan bazı çalışmalara bakacak olursak; Chang ve Tovar (2014) Peru ve Şili liman terminallerinin verimliliğini ve performansını ölçmek için stokastik sınır analizi uygulayarak toplam faktör verimliliği artışını hedeflemişlerdir. Çalışma sonucunda Şili terminallerinin, Peru terminallerine göre daha verimli olduğu görülmüştür (Chang ve Tovar, 2014). Notteboom ve ark. (2000) parametrel yöntem olan Bayes Stokastik Sınır modellemesine dayalı olarak konteyner terminali verimliliğinin ölçümü için bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmada dört Asya konteyner limanı ile desteklenen 36 Avrupa konteyner terminali karşılaştırılmış olup; kuzey Avrupa konteyner

terminalleri güney terminallerine göre biraz daha yüksek bir verimlilik derecesine sahiptir (Notteboom ve ark., 2000). Ateş ve Esmer (2015) Türk konteyner terminallerinin verimliliğini veri zarflama analizi ve serbest atılabilir zarf modeli ile ölçmeyi hedeflemiştir. Akyürek (2017) ise Karadeniz limanlarının Zonguldak Ereğli limanına göre göreceli verimlilikleri veri zarflama analizi ile hesaplamış ve iyileştirme önerileri vermiştir. Schøyen ve Odeck (2017) Norveç'in konteyner limanlarını, İskandinav ülkeleri ve Birleşik Karalık'taki limanlarla karşılaştırmak için veri zarflama analizi tabanlı Malmquist üretkenlik değişim endeksi kullanmışlardır. Sonuçta Norveç limanlarının verimlilik puanlarının daha yüksek olduğu görülmüştür (Schøyen ve Odeck, 2017). Görçün (2021), Karadeniz konteyner limanlarının verimliliğini analiz etmek için iki hibrit model olan entropi-OCRA ve entropi-EATWIOS yöntemlerini kullanmıştır. Önerilen bu hibrit modellerin denizcilik sektörü çalışmalarına uygulanma durumunu tespit etmek amaçlanmış ve çalışma sonucunda her iki hibrit yöntemin de benzer sonuçlar verdiği ve göreceli liman verimliliği çalışmalarında basit bir şekilde uygulanabileceği görülmüştür (Görçün, 2021). Osundiran ve ark. (2021) Malmquist Verimlilik Endeksi'ni kullanarak Coronavirus hastalığının Singapur konteyner limanı verimliliğine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda; salgına rağmen Singapur Deniz Limanı'nın verimlilik seviyelerinde yerleşik bir tutarlılık bulunduğu Singapur limanı için liman verimliliğinin itici güçleri teknoloji ve verimlilik olduğu ve salgının gerçekten de Singapur deniz limanındaki toplam kargo hacmini ve gemi ziyaretini etkilediği tespit edilmiştir (Osundiran ve ark., 2021). Wang ve ark. (2003) dünyanın en önemli konteyner limanları ve terminallerinin verimliliğini veri zarflama analizi ve serbest atılabilir zarf modeli kullanarak değerlendirmeyi amaçlamışlardır.

Denizcilik sektöründe liman ve terminal verimliliği dışında yapılan verimlilik ile ilgili de birçok çalışma mevcuttur. Bu bağlamda; Fun-Sang ve Caprace (2015) 13 gemilik bir filonun yakıt verimliliği ve sera gazı emisyon oranlarını dikkate alarak verimliliklerini ölçmek için parametresiz yöntemlerden biri olan veri zarflama analizi ve Zenginleştirme Değerlendirmeleri İçin Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi (PROMETHEE) kullanmış olup, iki analizin sonucunda filodaki gemilerin performans sonuçları karşılaştırmıştır. Sonuçta sıralamalar farklı çıkmıştır. Örneğin PROMETHEE yönteminde kötü performansa sahip olan gemi1, eski, verimsiz ve tüketimi yüksek bir gemi olmasına karşın, çıktılar, verilen girdileri verimli bir şekilde kullandığı için veri zarflama analizinde yüksek verimliliğe sahip olduğu görülmüştür (Fun-Sang ve Caprace, 2015). Li ve ark. (2015) veri zarflama analizi-Malmquist endeks yöntemini temel alarak, Çin'in 11 kıyı kentinin deniz ekonomisinin "11. Beş Yıllık Plan" dönemindeki toplam faktör verimliliğini ve bu alanlardaki ekonomik verimlilikteki bölgesel farklılıkları karşılaştırmalı olarak analiz etmektedir. Sonuçta kıyı kentlerinin deniz

ekonomisi kalkınma verimliliğinin genel düzeyinin yüksek olmadığı ve teknolojik ilerlemenin, deniz ekonomisini geliştirmenin en büyük gücü olduğu görülmüştür (Li ve ark.,2015) . Zolfani ve ark. (2023) Tip-2 Nötrosofik Bulanık Sayılara (T2NFN'ler) dayalı EATWIOS modelini önermiştir. Bu model, T2NFN setleri öngörülebilir ve öngörülemez belirsizlikleri ele aldığından, EATWIOS tekniğinin son derece güçlendirilmiş bir versiyonudur. Önerilen T2NFN-EATWIOS daha sonra konteyner taşımacılığı endüstrisindeki gerçek dünya değerlendirme problemine uygulanmıştır (Zolfani ve ark.,2023). Ayrıca; Sezen ve Doğan (2005) bir askeri tersanenin atölyelerini karşılaştırmak için veri zarflama analizini kullanmış, atölyeyi etkileyen en önemli kriterlerin boş üretici miktarları ve kayıp işçilik olduğu tespit etmiş ve bu sonuç korelasyon ve regresyon analizi ile göstermiştir. Kocak ve ark. (2023), bir tersanenin verimlilik durumunu gözden geçirmek amacıyla yeni bir yöntem geliştirmiştir. Yöntem, bir tersanenin üst yönetiminin, diğer tersanelerle karşılaştırmaya gerek kalmadan tersanenin kendi durumunu gözlemlemesine yardımcı olur, aynı zamanda daha iyi verimlilik için gemi üretim aşamalarında, gemi tasarımında ve gemi inşa yönetiminde iyileştirilmesi gereken faktörlerin önceliğini de belirler (Kocak ve ark., 2023).

Bununla birlikte; yapılan literatür taramasında gemi geri dönüşüm sektöründe verimlilik ile yapılan bazı çalışmalara, Tablo 1'de yer verilmiştir. Bu kapsamda; Fariya ve ark. (2022) Hong Kong sözleşmesinin uygulanmasının gemi geri dönüşüm tersanesinde verimliliği üzerindeki etkileri araştırılmış olup; sonuç olarak, gemi geri dönüşümünü küresel olarak düzenlemek için yeni uluslararası yönetmelikler uygulanması ve gemi geri dönüşüm tersanelerinin

rekabetçi ve kârlı kalabilmek için etkinliklerini artırmaları gerektiği görülmüştür. Günbeyaz ve ark. (2022) süreçlerin iyileştirilmesi yoluyla tersanelerin verimliliğini artırmayı amaçlamış; ikincil bölgedeki kesme işlemini ayırık olay simülasyonu kullanılarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, plazma kesimin oksijen-yakıt kesime iyi bir alternatif olduğu görülmüştür (Günbeyaz ve ark., 2022). Sunaryo ve Tjitrosoemarto (2022), içinde gerekli tüm endüstrileri ve tesisleri barındıran ve birbirleriyle verimli bir şekilde bağlantılı olan bütünleşmiş bir yeşil ve sürdürülebilir gemi geri dönüşüm endüstrisi alanı konsepti tasarlamayı amaçlamış, düzenlemeyi optimize etmek için Blok Plan programı kullanmıştır. Günbeyaz ve ark. (2018); gemi geri dönüşüm süreçlerini iyileştirmek ve optimize etmek amacıyla gemi geri dönüşüm endüstrisi için bir çerçeve geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, geliştirilen simülasyon çerçevesi, AB'deki bir gemi geri dönüşüm tersanesinde vaka çalışması olarak uygulanmış; mevcut süreçteki darboğazlar tespit edilmiş ve simülasyonlar aracılığıyla süreci optimize etmek için alternatif çözümler değerlendirilmiştir (Günbeyaz ve ark., 2018). Yan ve ark. (2018) aşındırıcı su jetinin gemi söküm işlemine uygulanmasının ekonomi, güvenlik, verimlilik ve çevre koruma açısından incelemiş; özellikle ekonomik açıdan bazı eksiklikleri olsa da, çevre koruma ve güvenlik açısından kıyaslanamaz avantajlara sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Koga ve ark. (2008) bir gemi geri dönüşüm akışı, temel olarak gemi söküm sürecinin planlanmasına odaklanmaktadır. Bu sistemin girdisi, söküm nesnesi, aşama ve geri dönüşüm sahasının ekipman verileri; çıktısı ise güvenlik, maliyet ve çevresel etkileri dikkate alan bir söküm süreci planıdır (Koga ve ark., 2008).

Tablo 1. Gemi geri dönüşüm sektöründe verimlilik ile ilgili yapılan bazı çalışmalar

Yazarlar	Konu
Fariya ve ark. (2022)	Ayrık olay simülasyonu kullanarak IMO'nun Hong Kong sözleşmesinin gereklerinin uygulanmasının bir gemi geri dönüşüm tersanesinin verimliliği üzerindeki etkilerinin belirlenmesi
Günbeyaz ve ark. (2022)	Süreçlerin iyileştirilmesi ile bir gemi geri dönüşüm tesisinde verimliliğin artırılması için, farklı kesme teknolojilerinin ayırık olay simülasyonu ile incelenmesi
Sunaryo ve Tjitrosoemarto (2022)	Endonezya için tüm sanayi ve tesisleri içeren ve birbiriyle verimli bir şekilde bağlantılı entegre yeşil ve sürdürülebilir gemi geri dönüşüm sanayi bölgesi tasarlanması
Günbeyaz ve ark. (2018)	Gemi geri dönüşüm prosedürlerini iyileştirmek ve optimize etmek için gerekli verimli ve çağdaş gemi geri dönüşüm tersanesinin ayırık olay simülasyonu kullanılarak tasarlanması
Yan ve ark. (2018)	Gemi söküm sürecinde tehlikeli maddelerin çevresel etkisi ve gemi söküm sektöründe yeşil teknolojinin geliştirilmesi için su jeti kesme teknolojisinin uygulanabilirliğinin çevre koruma, güvenlik, verimlilik ve ekonomik açıdan incelenmesi
Koga ve ark. (2008)	Güvenli, çevresel etki ve ekonomik verimlilik ele alınarak gemi söküm işlemi için bir planlama modeli önerilerek tesis ekipmanlarının en iyi performansının sağlanması

2.2. Entropi Yöntemi

Entropi yöntemi, kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden biridir. Birçok çalışmada, EATWOS yönteminde gereken

kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması için, entropi yönteminden faydalanmışlardır. Karar vericilerin değerlendirmelerine gereksinim duymadan, mevcut

veriler üzerinden objektif bir analiz imkânı sunan entropi yöntemi Shannon tarafından 1948’de bulunmuştur (Akan ve Bayar,2021; Wu ve ark., 2011; Çakır ve Perçin, 2013; Doğan, 2020). Aşağıda Entropi yönteminin adımları verilmiştir (Akan ve Bayar,2021, Görçün, 2019a):

1.Adım: Girdi ve çıktı kriterlerine ait karar matrisleri (1)’deki gibi oluşturulmaktadır.

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1k} & \dots & X_{1K} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2k} & \dots & X_{2K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{i1} & X_{i2} & \dots & X_{ik} & \dots & X_{iK} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_{l1} & X_{l2} & \dots & X_{lk} & \dots & X_{lK} \end{bmatrix}$$

$$Y = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1j} & \dots & Y_{1J} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2j} & \dots & Y_{2J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \dots & Y_{ij} & \dots & Y_{iJ} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ Y_{l1} & Y_{l2} & \dots & Y_{lj} & \dots & Y_{lJ} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\forall_i = 1,2, \dots, l; \forall_k = 1,2, \dots, K \quad \forall_i = 1,2, \dots, l; \forall_j = 1,2, \dots, J$$

2. Adım: Girdi ve çıktı kriterlerinin karar matrisleri, sırasıyla (2) ve (3)’deki gibi hesaplanıp normalize edilerek, (4) ve (5) matrisleri oluşturulmaktadır.

$$x^*_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (2)$$

$$y^*_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\sum_{i=1}^m Y_{ij}} \quad (3)$$

$$x^* = \begin{bmatrix} x^*_{11} & x^*_{12} & \dots & x^*_{1k} & \dots & x^*_{1K} \\ x^*_{21} & x^*_{22} & \dots & x^*_{2k} & \dots & x^*_{2K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x^*_{i1} & x^*_{i2} & \dots & x^*_{ik} & \dots & x^*_{iK} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ x^*_{l1} & x^*_{l2} & \dots & x^*_{lk} & \dots & x^*_{lK} \end{bmatrix}$$

$$\forall_i = 1,2, \dots, l; \forall_k = 1,2, \dots, K \quad (4)$$

$$y^* = \begin{bmatrix} y^*_{11} & y^*_{12} & \dots & y^*_{1j} & \dots & y^*_{1J} \\ y^*_{21} & y^*_{22} & \dots & y^*_{2j} & \dots & y^*_{2J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y^*_{i1} & y^*_{i2} & \dots & y^*_{ij} & \dots & y^*_{iJ} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ y^*_{l1} & y^*_{l2} & \dots & y^*_{lj} & \dots & y^*_{lJ} \end{bmatrix}$$

$$\forall_i = 1,2, \dots, l; \forall_j = 1,2, \dots, J \quad (5)$$

3. Adım: (6) ve (7) formülleri ile girdi ve çıktı kriterleri için entropi değeri hesaplanmakta, bu girdi ve çıktı kriterleri için entropi değerlerinden oluşan matrisler (8) ve (9)’daki denklemler ile gösterilmektedir.

$$e^*_{ij} = x^*_{ij} \cdot (\ln x^*_{ij}) \quad (6)$$

$$e^-_{ij} = y^*_{ij} \cdot (\ln y^*_{ij}) \quad (7)$$

$$E^*_{ij} = \begin{bmatrix} e^*_{11} & e^*_{12} & \dots & e^*_{1k} & \dots & e^*_{1K} \\ e^*_{21} & e^*_{22} & \dots & e^*_{2k} & \dots & e^*_{2K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e^*_{i1} & e^*_{i2} & \dots & e^*_{ik} & \dots & e^*_{iK} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ e^*_{l1} & e^*_{l2} & \dots & e^*_{lk} & \dots & e^*_{lK} \end{bmatrix}$$

$$\forall_i = 1,2, \dots, l; \forall_k = 1,2, \dots, K \quad (8)$$

$$E^-_{ij} = \begin{bmatrix} e^-_{11} & e^-_{12} & \dots & e^-_{1j} & \dots & e^-_{1J} \\ e^-_{21} & e^-_{22} & \dots & e^-_{2j} & \dots & e^-_{2J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e^-_{i1} & e^-_{i2} & \dots & e^-_{ij} & \dots & e^-_{iJ} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ e^-_{l1} & e^-_{l2} & \dots & e^-_{lj} & \dots & e^-_{lJ} \end{bmatrix}$$

$$\forall_i = 1,2, \dots, l; \forall_j = 1,2, \dots, J \quad (9)$$

Daha sonra her bir kriter için entropi değeri (10) ve (11)’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$E^*_{ij} = \left(\frac{-1}{\ln(m)} \right) \sum_{i=1}^m (x^*_{ij} \cdot \ln x^*_{ij}); \forall_j \quad (10)$$

$$E^-_{ij} = \left(\frac{-1}{\ln(m)} \right) \sum_{i=1}^m (y^*_{ij} \cdot \ln y^*_{ij}); \forall_j \quad (11)$$

Daha sonra (12) ve (13) ile dj olarak belirtilen belirsizlik değeri bulunmaktadır.

$$d^*_{ij} = 1 - E^*_{ij}; \forall_j \quad (12)$$

$$d^-_{ij} = 1 - E^-_{ij}; \forall_j \quad (13)$$

4. Adım: En sonunda (14) ve (15) ile her bir girdi ve çıktı kriterlerinin ağırlık değeri bulunmaktadır.

$$w^*_{ij} = \frac{d^*_{ij}}{\sum_{i=1}^m d^*_{ij}}; \forall_j \quad (14)$$

$$w^-_{ij} = \frac{d^-_{ij}}{\sum_{i=1}^m d^-_{ij}}; \forall_j \quad (15)$$

2.3. EATWOS Yöntemi

EATWOS (Çıktıların Tatminine Dayalı Etkinlik Analizi Tekniği) (Efficiency Analysis Technique With Output Satisficing) Yöntemi 2006’da Peters ve Zelewski’nin geliştirdiği bir yöntemdir. Bu yöntemin adımları aşağıda verilmiştir (Akan ve Bayar,2021; Görçün, 2019a; Kundakcı, 2019; Peters ve Zelewski, 2006):

1. Adım: Girdi ve çıktı kriterleri normalize edilmektedir. Girdi ve çıktı faktörlerinin normalleştirilmesi (16) ve (17) ile hesaplanmaktadır.

$$S_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij})^2}}; \forall_j \quad (16)$$

$$R_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (y_{ij})^2}}; \forall_j \quad (17)$$

Normalize edilmiş girdi ve çıktı matrisleri (18)’de gösterilmektedir.

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1k} & \dots & S_{1K} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2k} & \dots & S_{2K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{i1} & S_{i2} & \dots & S_{ik} & \dots & S_{iK} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ S_{l1} & S_{l2} & \dots & S_{lk} & \dots & S_{lK} \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1j} & \dots & R_{1J} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2j} & \dots & R_{2J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{i1} & R_{i2} & \dots & R_{ij} & \dots & R_{iJ} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ R_{l1} & R_{l2} & \dots & R_{lj} & \dots & R_{lJ} \end{bmatrix} \quad (18)$$

2. Adım: Normalize edilmiş girdi matrisleri için minimum normalize edilmiş girdi miktarı (19)’da ve ardından girdiler için mesafe ölçüsü (20)’de gösterilmektedir.

$$s^*_k = \min \left\{ \rightarrow \right\}; \forall_j = 1, \dots, J \quad (19)$$

$$ip_{ij} = 1 + (s_{ij} - s^*_k); \forall_i = 1, \dots, k \forall_j = 1, \dots, J \quad (20)$$

Ayrıca normalize edilmiş çıktı matrisleri için maksimum normalize edilmiş çıktı miktarı (21)'de ve ardından çıktılar için mesafe ölçüsü (22)'de gösterilmektedir.

$$r_{ij} = \max \left\{ \rightarrow_{s_k} \right\}; \forall_k = 1, \dots, K \quad (21)$$

$$op_k = 1 + (r^*_j - r_{ij}); \forall_i = 1, \dots, I, \forall_j = 1, \dots, J \quad (22)$$

Bu hesaplamalar ile bulunan I normalize edilmiş girdi matrisi ve O normalize edilmiş çıktı matrisi (23)'de görülmektedir.

$$I = \begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} & \dots & I_{1k} & \dots & I_{1K} \\ I_{21} & I_{22} & \dots & I_{2k} & \dots & I_{2K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{i1} & I_{i2} & \dots & I_{ik} & \dots & I_{iK} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ I_{11} & I_{12} & \dots & I_{1k} & \dots & I_{1K} \end{bmatrix} \quad O = \begin{bmatrix} O_{11} & O_{12} & \dots & O_{1j} & \dots & O_{1J} \\ O_{21} & O_{22} & \dots & O_{2j} & \dots & O_{2J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ O_{i1} & O_{i2} & \dots & O_{ij} & \dots & O_{iJ} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ O_{11} & O_{12} & \dots & O_{1j} & \dots & O_{1J} \end{bmatrix} \quad (23)$$

3. Adım: Girdi ve çıktı kriterleri için bulunan mesafe ölçütleri ve entropi yöntemi ile bulunan kriter ağırlıkları ile çarpılarak, ağırlıklandırılmış mesafe ölçütleri (24) ve (25) formülleriyle bulunmaktadır.

$$i^*_{ij} = ip_{ik} \cdot w^*_{ij} \quad (24)$$

$$o^-_{ij} = ip_{ik} \cdot w^-_{ij} \quad (25)$$

(24) ve (25) numaralı eşitsizlik formüllerindeki hesaplamalardan sonra kriterlerin mesafe ölçütlerini gösteren, I* (26) ve O- (27) matrisleri oluşturulmaktadır.

$$I^* = \begin{bmatrix} I^*_{11} & I^*_{12} & \dots & I^*_{1k} & \dots & I^*_{1K} \\ I^*_{21} & I^*_{22} & \dots & I^*_{2k} & \dots & I^*_{2K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I^*_{i1} & I^*_{i2} & \dots & I^*_{ik} & \dots & I^*_{iK} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ I^*_{11} & I^*_{12} & \dots & I^*_{1k} & \dots & I^*_{1K} \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$O^- = \begin{bmatrix} O^-_{11} & O^-_{12} & \dots & O^-_{1j} & \dots & O^-_{1J} \\ O^-_{21} & O^-_{22} & \dots & O^-_{2j} & \dots & O^-_{2J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ O^-_{i1} & O^-_{i2} & \dots & O^-_{ij} & \dots & O^-_{iJ} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ O^-_{11} & O^-_{12} & \dots & O^-_{1j} & \dots & O^-_{1J} \end{bmatrix} \quad (27)$$

4. Adım: Son adımda her bir alternatifin verimlilik değeri (28) ile bulunmaktadır.

$$F_i = \frac{\sum_{j=1}^i i^*_{ij}}{\sum_{k=1}^K o^-_{ij}} \quad (28)$$

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada; Aliağa Bölgesi gemi söküm tesislerinde bulunan işletmelerin birbiri ile kıyaslanmasını yapmak için göreceli verimlilik analizi yöntemlerinden biri olan entropi yöntemi entegre edilmiş EATWOS yöntemi kullanılmıştır.

Aliağa Bölgesinde yapılan çalışmalar incelendiğinde; genellikle insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkiler ve riskler üzerine çalışmalara yoğunlaşıldığı görülmektedir. Bu kapsamda; Çelik ve ark. (2024) Aliağa bölgesi gemi geri dönüşüm sektörünün çevresel etkisini analiz etmişlerdir. "Gemilerin uluslararası mevzuata uygun şekilde geri dönüştürülmesi", "Avrupa gemi geri dönüşüm sektöründe pazar payını arttırmaya çalışmak",

"gemi geri dönüşüm sektörünün ekonomik ve çevresel katkılarını ön plana çıkarmak için kamu ve hükümet yetkililerinden destek toplayarak daha fazla teşvik aramak" en etkili önlemler olarak bulunmuştur (Çelik ve ark., 2024). Menteş (2023) Aliağa gemi geri dönüşüm tesislerinde hem gemi hem saha operasyonlarında risk analizi ve dayanıklılık araştırması yapmışlardır. Bulgular, Aliağa gemi geri dönüşüm sektörünün acil müdahale gerektiren güvenlik sorunlarıyla yüzleşmeye devam ettiğini ve organizasyon ve personel esnekliğinde boşluklar olduğunu göstermiştir (Menteş, 2023). Ayrıca Menteş ve Yiğit (2020) Aliağa'daki bir gemi geri dönüşüm tesisindeki saha operasyonlarındaki potansiyel riskleri tespit ederek, bu risklerin öncelik sayısını hesaplamış ve en büyük riskin ıslak zemin çalışmaları olduğunu, bunu elektrik panoları, soketleri ve kablolarının takip ettiğini belirtmişlerdir. Marselou ve ark. (2019) Aliağa Bölgesindeki gemi söküm işlemlerinin çevre ve insan sağlığına zararları ve kirlilik analizi yaparak çalışma koşullarına ilişkin risk değerlendirmesi ve yürürlüğe giren düzenlemeler hakkında inceleme yapmışlardır. Sektördeki bu risklerin en aza indirgenmesi, operasyon sürecinin verimli ve etkin bir şekilde yönetilmesi ile mümkündür. Bu bakımdan verimlilik analizi ile tesislerin performanslarının ölçülmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışmada, Aliağa Bölgesi'ndeki gemi söküm tesislerinin göreceli olarak verimlilik analizi yapmak hedeflenmiş ve bunun için entropi yöntemi ile entegre EATWOS yöntemi kullanılmıştır.

Yapılan literatür taramasında EATWOS yöntemi kullanılarak gemi söküm tesislerinde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak; literatürde entropi yöntemi entegre EATWOS yöntemi ile ilgili bir çok sektörle ilgili etkinlik ve verimlilik analizi yapılmış olup, taşımacılık ve lojistik sektöründe de bazı çalışmalar mevcuttur. Bu kapsamda birkaç çalışmaya bakacak olursak; Bansal ve ark. (2014), ambalajlı su üreticisi ve dağıtıcılarının tedarik zinciri performansını ölçmek için EATWOS yöntemini kullanmıştır. Kundakcı (2019) da tedarikçilerin performanslarını ölçmek için EATWOS ve OCRA yöntemlerinin analiz sonuçlarındaki sıralamalarını karşılaştırmıştır. Görçün (2019b) Orta Asya Türk Cumhuriyetlerinin lojistik ve taşımacılık performansını ölçmek için entropi entegre EATWOS yöntemini kullanmış olup; Türkiye'nin en yüksek verimliliğe sahip olduğu görülmüştür. Bir diğer çalışmada; Görçün (2019a) Avrupa'daki önemli bazı tramvay ve hafif raylı sistemlerin verimliliğini bulmak için entropi ve EATWOS yöntemleri kullanılmıştır. Uludağ (2020) ise; 2014-2018 yılları arasında Türkiye'deki havalimanlarının verimliliğini ölçmek için ağırlık kısıtlı EATWOS yöntemi kullanılmıştır. Bununla birlikte; Görçün (2019c) Karadeniz Konteyner limanlarının performans analizini entegre entropi EATWOS yöntemi ile analiz ettiği çalışma sonucunda Contansa limanı en verimli çıkmıştır. Yüksekıldız (2022) ise 22 Türk konteyner limanının 2015-2017 yılları arasındaki verimliliği entropi ve EATWOS yöntemi ile analiz etmiştir. Çalışma sonucunda

verimlilik skoru yüksek limanların Marmara ve Ege Bölgesi'nde, düşük limanların ise Akdeniz ve Karadeniz Bölgesi'nde yoğunlaştığı görülmüştür (Yüksekıldız,2022). Alnıpak (2022) ise; ağırlıklandırması CRITIC yöntemiyle yapılmış EATWOS yöntemi kullanarak TCDD limanlarını analiz etmiş ve verimlilik ve karlılık arasında "pozitif orta derece ilişki" olduğunu bulmuştur.

Aliğa Gemi Söküm Tesisleri bölgesinde toplam 22 tesis bulunmasına karşın; girdi ve çıktı verilerine ulaştığımız raporda, bu 22 tesisin her yıl için ayrı ayrı sökülen gemi tonajı ve sökülen gemi adetleri verilmiş olup, bazı yıllarda bazı tesislerdeki sökülen gemi tonaj ve adetleri verilmemiştir. Bu kapsamda; tesislerin birbiri arasındaki verimliliklerinin yıllara göre değişimlerini doğru bir şekilde analiz edebilmek için sadece 2018-2022 yılları arasında tüm bilgilere sahip olduğumuz 8 tesis analize dahil edilmiş, diğer tesisler ise çalışmaya dahil edilmemiştir. Çalışmaya dahil olan 8 tesisin 5 tanesi Avrupa Birliği Tesisleri listesinde yer almakta, 2 tanesi

AB listesine başvurusu yapılmış ancak denetlenmiş ve onaylanmamış, 1 tanesi ise AB listesine başvurmuş ama denetlenme sonucu henüz yayımlanmamıştır. Çalışmada kullanılan veriler NGO platformunun "Türkiye'deki gemi geri dönüşümü" adlı raporundan alınmıştır (Sakin,2023). Çalışmanın girdileri tesis kapasitesi (LDT ton/yıl) ve faaliyet alanı (m²) olmakla birlikte çıktıları ise sökümler tonaj (GT) ve sökümler miktarı (adet) olarak alınmıştır. Ele aldığımız girdi kriterleri olan tesis kapasitesi ve faaliyet alanı değerlerinin kısa vadede değişme ihtimalinin düşük olması nedeniyle tüm yıllar için girdilerin değişmediği kabulü yapılarak aynı alınmıştır.

Makalede, her bir yıl için analizler yapılmış olup, yıllar içinde firmaların verimlilik sıralamalarından hareketle değişimler incelenmeye çalışılmıştır. Ayrıca çalışmada tesislerin rekabet koşullarına zarar verilmemesi açısından tesis adları verilmemiş, her bir tesis bir harf ile belirtilmiştir. Tablo 2'de çalışmaya ait girdi değerleri ve Tablo 3'de çıktı değerleri verilmiştir.

Tablo 2. Girdiler

Tesis	Tesis Kapasitesi (LDT ton/yıl)	Faaliyet Alanı (m2)
A	75000	10500
B	80000	27000
C	60000	14700
D	75000	16040
E	70000	14490
F	120000	23680
G	90000	17540
H	70000	13490

Tablo 3. Çıktılar

Tesis	Söküm Tonajı (GT)					Söküm Miktarı (Adet)				
	2018	2019	2020	2021	2022	2018	2019	2020	2021	2022
A	13179	28701	54662	10870	16214	4	3	5	1	1
B	45364	58063	194215	139939	127314	7	4	5	4	2
C	41991	47096	73529	75166	75084	3	8	1	1	2
D	8643	20646	4224	21809	49469	2	4	2	7	5
E	31148	74719	72568	52186	15112	14	14	15	6	6
F	48283	54518	116785	97279	96687	5	3	7	6	3
G	126215	76006	207604	95276	6748	8	4	7	5	1
H	63627	77379	159342	134815	24754	3	4	3	2	2

İlk olarak EATWOS yönteminde öncelikle faktör ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Entropi entegre EATWOS yönteminde faktör ağırlığını belirlemek için entropi yöntemi kullanılmaktadır. Faktör ağırlıkları her yıl için bulunmuş ve Tablo 4'de gösterilmiştir.

Daha sonra ise bulunan faktör ağırlıkları kullanılarak her bir yıl için ayrı ayrı 8 tesisin göreceli verimlilik skoru hesaplanmış ve sıralamalar belirlenmiştir (Tablo 5). Tablo 5'e yıllar bazında verimlilik skorlarına baktığımızda 2018-2022 yıllarında en yüksek verimlilik skorlarının sırasıyla, yaklaşık 0.855, 0.584, 0.728, 0.781

ve 0.867; en düşük verimlilik skorlarının ise sırasıyla yaklaşık 0.351, 0.315, 0.341, 0.518 ve 0.457 olduğu görülmüştür.

Tablo 5'de yıllara göre tesislerin göreceli verimlilik skorları ve sıralamaları verilmiştir. 2018 yılında verimlilik skorları en yüksek çıkan üç tesis sırasıyla G,E ve H ve en düşük tesisler ise sırasıyla D, A ve F olmuştur. 2019 yılında ise en yüksek çıkan üç tesis sırasıyla E, C ve H ve en düşük tesisler ise sırasıyla F, D, A olmuştur. 2020 yılında ise en yüksek çıkan üç tesis sırasıyla E, G ve H ve en düşük tesisler ise D, C ve A sırasıyla olmuştur. 2021

yılında ise en yüksek çıkan üç tesis sırasıyla H,E ve G ve en düşük tesisler ise sırasıyla A, C ve F olmuştur. 2022 yılında ise en yüksek çıkan üç tesis sırasıyla D, E, B ve en düşük tesisler ise sırasıyla G, A ve H olmuştur.

Tablo 5'e göre tesislerin yıllar içinde göreceli verimlilik skor sıralamalarına bakacak olursak A tesisi AB tesis listesinde olmasına karşın, tüm yıllar için verimlilik sıralaması en kötü olan üç tesislerden biri olmuştur. AB tesis listesinde olan B tesisinin ise kendi içinde istikrarlı bir dağılıma sahip olduğu ve 2022 yılında ise en yüksek 3. Tesis olmayı başardığı görülmüştür. AB tesis listesinde olan C tesisinin ise verimlilik skor ve sıralamalarının istikrarsız bir şekilde dağıldığı ve 2020 ve 2021 yıllarında en kötü ikinci tesis olduğu görülmüştür. AB listesine başvuran ancak denetleme sonucunda onaylanmayan D tesisi ilk üç yılda en kötü üç tesis arasında yer alırken, 2021'de 5. ve 2022 yılında ise 1. Sıraya yükselerek zirvedeki yerini almıştır. AB listesine

başvuran ancak denetleme sonucunda onaylanmayan diğer bir tesis olan E tesisi tüm yıllarda ilk iki sırada yer almış ve en verimli tesis olmayı başarmıştır. AB listesine başvuran ancak denetleme sonucu henüz açıklanmayan F tesisi üç yıl en kötü üç tesis arasında yer almış, 2020 ve 2022 yıllarında 5. Sırada bulunmuştur. AB listesinde bulunan G tesisi 2018,2020 ve 2021 yıllarından en iyi üç tesis arasında olan tesisin 2019 yılında 4. Sıraya düşmesinin sebebi pandeminin çıkışını iyi yönetememesi olabilir. AB listesinde bulunan H tesisi ilk üç yılda 3. sırada yer almış, 2021'de 1. sıraya yükselmesine karşın, 2022'de ani düşüş ile 6. Sırada yerini almıştır. Diğer yıllarda ilk üçte yer alan G ve H tesislerinin 2022 yılında sıralamada en sonlarda olmasının sebeplerinden biri Aliğa Gemi Söküm Bölgesindeki tesislerdeki işçilerin Şubat 2022'de greve gitmesi ve grevden kaynaklı olarak işçilerin %20'sinin işten çıkarılmaları olabilir (Sakin,2023).

Tablo 4. Entropi yöntemi ile bulunan faktör ağırlıkları

Yıl	Girdiler		Çıktılar	
	Tesis Kapasitesi (LDT ton/yıl)	Faaliyet Alanı (m ²)	Söküm Tonajı (GT)	Söküm Miktarı (Adet)
2018	0,42709323	0,57290677	0,574313492	0,425686508
2019	0,42709323	0,57290677	0,312826926	0,687173074
2020	0,42709323	0,57290677	0,474756367	0,525243633
2021	0,42709323	0,57290677	0,515646391	0,484353609
2022	0,42709323	0,57290677	0,641846866	0,358153134

Tablo 5. Entropi EATWOS sonuçları

	2018		2019		2020		2021		2022	
	Verimlilik Skoru	Sıra	Verimlilik Skoru	Sıra	Verimlilik Skoru	Sıra	Verimlilik Skoru	Sıra	Verimlilik Skoru	Sıra
A	0,445967	7	0,337826	6	0,495748	6	0,517747	8	0,536385	7
B	0,539058	4	0,343203	5	0,564703	4	0,745496	4	0,820397	3
C	0,504654	5	0,44554	2	0,417641	7	0,631882	7	0,786531	4
D	0,351301	8	0,319929	7	0,340784	8	0,727222	5	0,867495	1
E	0,769597	2	0,583537	1	0,727836	1	0,765747	2	0,843987	2
F	0,484279	6	0,314533	8	0,506869	5	0,718804	6	0,768665	5
G	0,854685	1	0,399945	4	0,666542	2	0,759179	3	0,457017	8
H	0,573764	3	0,433838	3	0,567568	3	0,781234	1	0,618357	6

4. Sonuç

Gemi geri dönüşümü, başta çelik olmak üzere diğer dönüştürülebilir malzemelerin yeniden kullanımına olanak sağlaması nedeniyle doğal kaynakların korunmasını sağlayan ekonomik, sürdürülebilir çevre dostu bir uygulamadır. Ancak özellikle ekonomik ömrü dolmuş eski gemilerde tehlikeli maddeleri barındırma olasılığı bulunmakta, bu nedenle gemi sökümü sırasında bu tehlikeli maddelerin açığa çıkma riski oluşabilmesi sebebiyle, uygun ve dikkatli bir şekilde söküm işlemi yapılmadığında insan sağlığına ve çevreye karışarak zarar verme durumu bulunmaktadır.

Gemilerin ekonomik ve teknik ömürlerini tamamlamaları ve denizcilik filosundaki arz talep dengesinin sağlanması için gemiler geri dönüşüme yollanmaktadır. Gemi geri

dönüşümü ile birlikte her yıl milyonlarca ton çelik geri dönüşümü olmaktadır. Bu nedenle; gemi geri dönüşüm sektörü sürdürülebilirlik açısından yeşil bir sektör olarak düşünülse de; toksik gemilerin sökümünün gerçekleştirilmesi ve tesislerin yeterli donanımına sahip olmaması gibi nedenlerle, aslında insan ve çevre açısından ciddi zararlara sebep olabilmektedir. Maalesef dünya üzerinde gemi geri dönüşümü sektöründe en büyük paya sahip olan gelişmekte olan ülkelerde gemi sökümünde stardart altı gemiler sökülmekte ve söküm işlemleri de belirli standardın altında gerçekleşmektedir. Ülkemizdeki duruma baktığımızda öncelikle toksik gemilerin zaman zaman Aliğa Bölgesi Gemi Söküm Tesislerine söküm için geldiği görülmektedir. Bununla birlikte koordinasyon ve denetim eksikliği, çevresel

riskler barındırması gibi durumlarla karşı karşıya kalmaktadır. Gemi geri dönüşüm sektörü bu gibi nedenlerle çevre ve insan sağlığı açısından ciddi tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır. Yeşil bir gemi geri dönüşüm sürecinin gerçekleşmesi için, öncelikle toksik gemilerin ülkeye girmesinin engellenmesi için önlemlerin alınarak denetlemelerin eksiksiz yapılması ve gemi geri dönüşüm tesislerinin insan sağlığı ve çevreye zarar vermemesi için gereken donanımlara sahip olması ve işçi sağlığı için denetlenmesi önem arz etmektedir. Bunun dışında işletmeler de, bu kurallara uymalı ve gerekli donanımları sağlamalı, çevre ve insan sağlığına ve işçilerin eğitim ve sağlığına önem vermeli ve bütün bunları yapabilmek için gemi geri dönüşüm süreçlerini etkin ve verimli olacak şekilde planlamalı ve bu çerçevede süreçlerini gerçekleştirmelidir. Bunun için sürdürülebilir çevre ve insan sağlığı açısından kriterler de göz önüne alınarak her bir sürecin verimlilik durumu ölçülmeli, gerektiğinde iyileştirmeler sağlanmalıdır. Bununla birlikte Aliğa Gemi Geri Dönüşüm Bölgesi'nde 22 tane tesis bulunmaktadır. Bu tesislerin birbiri ile rekabet edebilmesi için sürdürülebilir koşullarda dikkate alınarak diğer tesisler arasındaki verimlilik durumunun karşılaştırılması da, tesislerin rekabet açısından önünü görebilmesi ve gereken iyileştirmeleri yapması için önem arz etmektedir.

Uygun doğru teknik ve prosedürleri takip ederek zararsız bir sökülme işleminin gerçekleştirilmesi ancak tesisin etkin ve verimli bir şekilde yönetimiyle mümkündür. Bu kapsamda tesislerin operasyonlarının verimli bir şekilde gerçekleşmesi diğer tesislerle rekabette de bir avantaj olmaktadır. Bu nedenle makalede, 2018-2022 yılları arasında girdi çıktı değerlerine sahip olduğumuz 8 tesis, entropi yöntemi entegre EATWOS yöntemi kullanılarak her bir yıl için analiz edilmiştir. Analiz sonucunda ilgili 5 yılda en iyi verimlilik skoruna ve sıralamasına sahip üç tesis E, G ve H tesisleri olurken; en kötü verimlilik skoruna ve sıralamasına sahip üç tesis ise A, D ve F tesisleri olarak bulunmuştur. En iyi üç tesis arasında bulunan E tesisi, AB listesine başvuran, denetlenen ama onaylanmayan bir tesis olup; en kötü üç tesis arasında bulunan A tesisi ise AB tesis listesinde bulunmaktadır. Çalışmada ele alınan girdi ve çıktı değerleri, ancak mevcut veriler altında belirlenmiştir. Bu durum gerek gemi geri dönüşüm sektörü, gerekse tesisler bazında şeffaf ve yeterli bilgi ve veri paylaşımının olmamasından kaynaklanmaktadır. AB tesis listesinde bulunan tesisin verimsiz çıkarken, onaylanmayan tesisin ise verimli çıkmasının nedeni kurallara uygun olmayan standart dışı bir şekilde sökülme işlemi yapması veya kullanılan ekipmanlar ve çalışan sayısı gibi kriterlerin dahil edilmemiş olması da olabilir. Bu konuda paylaşılan yeterli veri olmadığından bunun nedenini net bir şekilde tahmin etmek mümkün değildir. Bununla birlikte; Aliğa Bölgesinde toplam 22 adet gemi sökülme tesisi bulunmakla birlikte; yalnızca 8 tesisin analize dahil edilmesinin nedeni diğer tesislerde yeterli veriye ulaşılamamasından kaynaklanmaktadır. Gelecekteki çalışmalarda

sürdürülebilirlik, çevre ve ekonomik vb. olacak şekilde girdi ve çıktı değerleri ile çalışmanın kapsamı geliştirilebilir. Bununla birlikte; yapılan çalışmalarda gemi geri dönüşüm sektörü verimlilik üzerine çok az çalışma yapılmışken, bu çalışmalarda ise ağırlıklı olarak gemi geri dönüşümdeki süreçlerin verimli bir şekilde planlanması ile ilgili çalışmalar yapılmış olup; var olan verimliliğin ölçümüyle ilgili olarak çalışmalar ise göz ardı edilmiştir. Gelecekte, diğer tesislerle rekabet edilebilirliğin ölçülmesi ile ilgili olarak daha fazla gemi geri dönüşüm tesislerinin verimlilik analizi ile ilgili çalışmalar yapılabilir. Bununla birlikte gelecekte, dünyada gemi geri dönüşüm sektöründe öncü ülkeler arasında bir verimlilik analizi yapılarak, Türkiye'nin sektördeki konumu incelenebilir.

Yapılan literatür çalışmasında gemi geri dönüşüm sektöründe entropi yöntemi entegre EATWOS yöntemi ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamış olup, Aliğa Bölgesi Gemi Söküm Tesislerinin verimlilik analizinin yapılması açısından da bu çalışma literatüre katkı sağlamaktadır.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	S.B.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100
PY	100
FA	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Ahmad M. 2022. Ship recycling in India- environmental stock taking. Indian Law Review, 6(3): 465-478, DOI: 10.1080/24730580.2022.2082100.
- Akan E, Bayar S. 2021. Türk gemi inşa sektörünün yıllara göre

- performansının entegre entropi ve eatwos yöntemiyle analizi. In: Proceedings of Başkent International Conference on Multidisciplinary Studies, 23 - 24 Eylül 2021, Ankara, Türkiye, ss: 519-535.
- Akyürek E. 2017. Türkiye Karadeniz limanları verimlilik analizi. Verimlilik Derg, (4): 29-45.
- Alnıpak S. 2022. Liman operasyonel verimliliğinin karlılık ile ilişkisi: TCDD Limanları üzerine bir araştırma. Maliye Finans Yazıları, 118: 239-256.
- Asmare E, Begashaw A. 2018. Review on parametric and nonparametric methods of efficiency analysis. Biostat Bioinform, 2(2): 1-7.
- Ateş A, Esmer S. 2015. Farklı yöntemler ile Türk konteyner limanlarının verimliliği. Verimlilik Derg, 1: 61-76.
- Babacan A. 2006. Türkiye'deki üniversitelerde VZA yöntemiyle verimlilik analizi. Doktora Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas, Türkiye, ss: 309.
- Bansal A, KrSingh R, Issar S, Varkey J. 2014. Evaluation of vendors ranking by EATWOS approach. J Adv Manage Res, 11(3): 290-311.
- Carvalho IS, Antão P, Soares CG. 2009. Modelling of environmental impacts of ship dismantling. In: Soares CG, Das PK, editors. In Analysis and Design of Marine Structures, CRC Press, London, UK, 1st ed, pp: 557-566.
- Casu B, Girardone C, Molyneux P. 2004. Productivity change in European banking: A comparison of parametric and non-parametric approaches. J Banking Finance, 28(10): 2521-2540.
- Chang V, Tovar B. 2014. Efficiency and productivity changes for Peruvian and Chilean ports terminals: A parametric distance functions approach. Transport Policy, 31: 83-94.
- Çakır S, Perçin S. 2013. AB ülkeleri'nde bütünlük entropi ağırlık-TOPSIS yöntemiyle ar-ge performansının ölçülmesi. Uludağ Üniv İktisadi İdari Bilim Fak Derg, 32(1): 77-95.
- Çelik MS, Akyar DA, Ceylan BO. 2024. Navigating environmental sustainability in ship recycling industry: Integrated SWOT-TOWS-ANP approach. Ocean Engin, 295: 116906.
- Dewan C, Sibilia EA. 2024. Global containments and local leakages: Structural violence and the toxic flows of shipbreaking. Environ Planning C: Politics Space, 42(1): 80-101.
- Doğan H. 2020. Türkiye ve AB ülkelerinin arge verimliliklerinin entropi-EATWOS yöntemleri ile karşılaştırılması. Karadeniz Sosyal Bilim Derg, 12(23): 515-533.
- European Commission. 2024. List of ship recycling facilities: first renewals of inclusion for yards located outside the EU. URL: https://environment.ec.europa.eu/news/list-ship-recycling-facilities-first-renewals-inclusion-yards-located-outside-eu-2023-12-06_en, (accessed date: May 10, 2024).
- Fariya S, Günbeyaz SA, Kurt RE, Turan O. 2022. Determining the effects of implementing IMO's Hong Kong Convention's requirements on the productivity of a ship recycling yard by using discrete event simulation. Ships Offshore Struct, 17(11): 2508-2519.
- Fariya S, Günbeyaz SA, Kurt RE, Sunaryo S, Djatmiko EB. 2019. Developing sustainable green ship recycling facilities in Indonesia: Investigation of current situation. In Proceeding Proceedings of the 18th International Congress of the Maritime Association of the Mediterranean (IMAM 2019), September 9-11, Varna, Bulgaria, pp: 439.
- Fun-sang MA, Caprace JD. 2015. Improving ship fleet performance using a non-parametric model. In SNAME Maritime Convention, November 3-7, Rhode Island, USA, pp: D031S008R002.
- Glinski C. 2022. The public-private governance regime on sustainable ship recycling: An in-depth analysis. Rev European, Comparat Inter Environ Law, 31(2): 268-281.
- Görçün ÖF. 2019a. Kentsel lojistikte kullanılan hafif raylı sistem hatlarının entegre entropi ve EATWOS yöntemleri kullanılarak analizi. Gümüşhane Üniv Sosyal Bilim Enstit Elektron Derg, 10(1): 254-267.
- Görçün ÖF. 2019b. Orta Asya Türk Cumhuriyetlerinin lojistik ve taşımacılık performansları ve verimliliklerinin analizi için hibrid birçok kriterli karar verme modeli. MANAS Sosyal Araş Derg, 8(3): 2775-2798.
- Görçün ÖF. 2019c. Entegre Entropi ve EATWOS yöntemleri kullanılarak Karadeniz konteyner limanlarının verimlilik analizi. Eskişehir Osmangazi Üniv İktisadi İdari Bilim Derg, 14(3): 811-830.
- Görçün ÖF. 2021. Efficiency analysis of Black sea container seaports: application of an integrated MCDM approach. Maritime Pol Manage, 48(5): 672-699.
- Günbeyaz SA. 2019. Designing efficient and contemporary ship recycling yards through discrete event simulation. PhD Thesis, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, pp: 447.
- Günbeyaz SA, Giagloglou E, Kurt RE, Rogge KG, Alkaner S, McKenna SA, Turan O, Lord R. 2023. Workers' exposure to dust and potentially toxic elements during steel cutting in two ship dismantling cases. Ocean Engin, 270: 113628.
- Günbeyaz SA, Kurt RE, Turan O. 2018. Designing efficient contemporary ship recycling yards through discrete event simulation. Transport Research Arena (TRA) 2018, April 16-19, Vienna, Austria, pp: 63.
- Günbeyaz SA, Kurt RE, Turan O. 2022. Investigation of different cutting technologies in a ship recycling yard with simulation approach. Ships Offshore Struct, 17(3): 564-576.
- Hasanlı YS, Kendirlihan ŞE, Türk M. 2023. Bir gemi söküm işçisi örneği ile iş hijyeninin önemi ve nedensellik ilişkisi kurmanın zorlukları. Sürekli Tıp Eğitimi Derg, 32(3): 238-242.
- Kocak ST, Helvacioğlu İH, Kahyaoglu N. 2023. A Novel Productivity Evaluation Method for Shipyards. In SNAME Maritime Convention, September 27-29, San Diego, CA, USA, pp: D031S003R002.
- Koga T, Matsubara M, Aoyama K. 2008. Disassembling system of large scaled structure considering safety, environmental impact, and economic efficiency. In International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering, August 3-6, New York, USA, pp: 279-288.
- Kundakçı N. 2019. A comparative analyze based on EATWOS and OCRA methods for supplier evaluation. Alphanumeric J, 7(1): 103-112.
- Kwon OS, Lee H. 2004. Productivity improvement in Korean rice farming: parametric and non-parametric analysis. Australian J Agri Resour Econ, 48(2): 323-346.
- Li J, Zhang J, Gong L, Miao P. 2015. Research on the total factor productivity and decomposition of Chinese coastal marine economy: based on DEA-Malmquist index. J Coastal Res, (73): 283-289.
- Mahindrakar AB, Das SK, Asolekar SR, Kura B. 2008. Environmental issues in the ship breaking industry in India. In the proceedings of the A&WMA's Annual Conference, June 24-26, Portland, Oregon, USA, pp: 54.
- Marselou OS, Nikitakos N, Papachristos, D. 2019. Environmental impacts of ship dismantling-the case of Aliaga in Turkey. J Multidisciplinary Engin Sci Technol, 6: 11186-11193.
- Mathew E. 2021. Ship recycling, market imperfections and the relevance of a consortium of ship recycling nations in the Indian subcontinent. J Inter Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping, 5(2): 23-31, DOI:

- 10.1080/25725084.2021.1921994.
- Menteş A, Yiğit M. 2020. Gemi geri dönüşüm tesisleri ve risk değerlendirmesi. *GİDB Derg*, 18:15-30.
- Menteş A. 2023. Risk analysis of on-field and on-board activities and resilience investigation of Izmir Aliaga ship recycling facilities. *Ocean Engin*, 287: 115891.
- Murillo-Zamorano LR, Vega-Cervera JA. 2001. The use of parametric and non-parametric frontier methods to measure the productive efficiency in the industrial sector: a comparative study. *Inter J Product Econ*, 69(3): 265-275.
- Notteboom T, Coeck C, VanDenBroeck J. 2000. Measuring and explaining the relative efficiency of container terminals by means of Bayesian stochastic frontier models. *Inter J Maritime Econ*, 2:83-106.
- Osundiran O, Okonta F, Quainoo H. 2021. An examination of the impact of Covid-19 pandemic on the maritime port of Singapore container port productivity using Malmquist Productivity Index. *Pomorski Zbornik*, 60(1): 85-96.
- Peters ML, Zelewski S. 2006. Efficiency analysis under consideration of satisficing levels for output quantities. In *Proceedings of the 17th Annual Conference of the Production and Operations Management Society - Operations Management in the New World Uncertainties.*, April 28 to May 1, Boston, USA, pp: 54.
- Porcelli F. 2009. Measurement of technical efficiency. A brief survey on parametric and non-parametric techniques. *University of Warwick*, 11(527): 1-27.
- Sakin E. 2023. Türkiye’de gemi geri dönüşümü sorunlar ve hedefler. *NGO Shipbreaking Platform, Brüksel, Belçika*, ss:136.
- Schøyen H, Odeck J. 2017. Comparing the productivity of Norwegian and some Nordic and UK container ports-an application of Malmquist productivity index. *Inter J Shipping Transport Logistics*, 9(2):234-256.
- Sezen B, Doğan E. 2005. Askeri bir tersaneye bağlı atölyelerin karşılaştırmalı verimlilik değerlendirmesi: bir veri zarflama yöntemi uygulaması. *J Aeronautics Space Technol*, 2(2): 77-87.
- Sezer SI, Camlıyurt G, Aydın M, Akyuz E, Boustras G, Park S. 2024. A holistic risk assessment under the D-S evidential theory and FMECA approach of ship recycling process hazards in the maritime environment. *Human Ecol Risk Assess Inter J*, 30 (1-2): 201-216.
- Simar L. 1992. Estimating efficiencies from frontier models with panel data: a comparison of parametric, non-parametric and semi-parametric methods with bootstrapping. *J Product Analysis*, 3(1): 171-203.
- Singh R, Cherrie JW, Rao B, Asolekar SR. 2020. Assessment of the future mesothelioma disease burden from past exposure to asbestos in ship recycling yards in India. *Inter J Hygiene Environ Health*, 225: 113478.
- Solakivi T, Kiiski T, Kuusinen T, Ojala L. 2021. The European ship recycling regulation and its market implications: Ship-recycling capacity and market potential. *J Cleaner Product*, 294: 126235.
- Sunaryo S, Tjitrosoemarto BA. 2022. Integrated ship recycling industrial estate design concept for Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth Environ Sci*, 972(1): 012042.
- TDK. 2024. Türk dil kurumu sözlükleri. URL: <http://sozluk.gov.tr> (erişim tarihi: 20 Haziran 2024).
- Uludağ AS. 2020. Measuring the productivity of selected airports in Turkey. *Transport Res Part E: Logistics Transport Rev*, 141: 102020.
- UNCTAD. 2023. Review of maritime transport- Towards a green and just transition. United Nations Press, Geneva, Italy, pp: 126.
- Wang TF, Song DW, Cullinane K. 2003. Container port production efficiency: a comparative study of DEA and FDH approaches. *J Eastern Asia Soc Transport Stud*, 5: 698713.
- Wu J, Sun J, Liang L, Zha Y. 2011. Determination of weights for ultimate cross efficiency using shannon entropy. *Expert Syst Applicat*, 38(5): 5162- 5165.
- Yan H, Wu L, Yu J. 2018. The environmental impact analysis of hazardous materials and the development of green technology in the shipbreaking process. *Ocean Engin*, 161: 187-194.
- Yeşilada T, Yaylali P. 2016. KKTC’de bankacılık sektöründe şube ve personel sayısındaki gelişmeler ile veri zarflama analizi yöntemi kullanılarak yapılan etkinlik analizi çalışması. *EUL J Soc Sci*, 7(1): 27-49.
- Yeşilyurt C. 2009. Türkiye’deki iktisat bölümlerinin göreceli performanslarının veri zarflama analizi yöntemiyle ölçülmesi: KPSS 2007 verilerine dayalı bir uygulama. *Atatürk Univ J Econ Administ Sci*, 23(4): 135-147.
- Yüksekayıldız E. 2022. Entropi ve EATWOS yöntemleri ile Türkiye konteyner limanlarının verimlilik analizi. *Verimlilik Derg*, 2: 3-24.
- Zhou Q, Du Z, Liu J, Liang J, Jiao Y. 2021a. Factors influencing green ship recycling: A conceptual framework and modeling. *J Clean Product*, 322: 129155.
- Zhou Q, Liang J, Du Z, Zhu H, Jiao Y. 2021b. A study on factors affecting workers’ safety during ship recycling. *Ocean Engin*, 239: 109910.
- Zolfani SH, Görçün ÖF, Çanakçıoğlu M, Tirkolae EB. 2023. Efficiency analysis technique with input and output satisficing approach based on type-2 neutrosophic fuzzy sets: A case study of container shipping companies. *Expert Systems Applicat*, 218: 119596.



EEG SİNYALLERİNDEN META-SEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMALARINA DAYALI ÖZELLİK SEÇİMİ

Eyüp GEDİKLİ^{1*}, Taner YURDUSEVER²

¹Karadeniz Technical University, Of Technology of Faculty, Department of Software Engineering, 61830, Trabzon, Türkiye

²Gümüşhane University, Kelkit Sema Doğan Health Science Vocational School, 29600, Gümüşhane, Türkiye

Özet: Özellik seçimi makine öğrenmesi alanında, sınıflandırma işlemlerinin öncesinde bulunan önemli bir aşamadır. Ayırt edici özelliklerin iyi belirlendiği durumlarda, sınıflandırma başarı performansı artar ve daha az özellik değerlendirildiği için hesaplama maliyeti azalır. Elektroensefalografi (EEG) yöntemi ile beynin spontan elektrik aktiviteleri ölçülmektedir. EEG sinyallerinin analiz edilmesiyle, duyu durumu, hastalık teşhisi, anomali tespiti yapılabilmektedir. Bu çalışmada, EEG sinyallerinden epilepsi teşhisi amacıyla, sınıflandırmada kullanılan özelliklerin seçilmesine çalışılmıştır. Kullanılan verisetinde, epileptik ve sağlıklı bireylerden oluşan 2 sınıf mevcuttur. Verisetinde, EEG sinyallerinin alt bileşenlerinden 667 özellik vardır. Sınıflandırma için bu 667 özellikten meta-segisel optimizasyon algoritmaları ile ayırt edici özellikler seçilmiştir. Sınıflandırma için k en yakın komşuluk algoritması kullanılmıştır. EEG sinyallerinin alt bileşenlerinin tamamı ile yapılan sınıflandırmada, %60,05 doğruluk başarı elde edilmiştir. Gri Kurt Optimizasyonu, Balina Optimizasyonu ve Harris Şahinler Optimizasyonu metasegisel algoritmaları ile özellik seçimi sonucunda, sınıflandırma başarı %80,16 olarak elde edilmiştir. Bu sınıflandırma başarı 5-10 özellik kullanılarak elde edilebilmektedir. Sonuç olarak meta-segisel optimizasyon algoritmaları ile daha az özellik seçilerek doğruluk oranı artmış ve hesaplama maliyeti azalmıştır.

Anahtar kelimeler: Balina optimizasyonu algoritması, Elektroensefalografi, Gri kurt optimizasyon algoritması, Harris şahini optimizasyonu algoritması, Özellik seçimi

Feature Selection Based on Meta-Heuristic Optimization Algorithms from EEG Signals

Abstract: Feature selection is an important stage in the field of machine learning before classification processes. In cases where distinguishing features are well determined, classification success performance increases. Another advantage is that the computational cost is reduced because fewer features are evaluated. Electroencephalography (EEG) is a method that measures spontaneous electrical activities of the brain. By analyzing EEG signals, emotional state, disease diagnosis and anomaly detection can be made. In this study, feature selection for classification in epilepsy diagnosis from EEG signals was attempted. The dataset used has two classes, consisting of epileptic and healthy individuals. There are 667 features in the dataset from subcomponents of EEG signals. For classification, distinctive features were selected from these 667 features with metaheuristic optimization algorithms. The k nearest neighbor algorithm was used for classification. In the classification made with all subcomponents of EEG signals, 60.05% accuracy was achieved. As a result of feature selection with Gray Wolf Optimization, Whale Optimization and Harris Hawks Optimization metaheuristic algorithms, the classification success was achieved as 80.16%. This classification success can be achieved by using 5-10 features. As a result, it is seen that the accuracy rate increases and the computational cost decreases by selecting fewer features with meta-heuristic optimization algorithms.

Keywords: Whale optimization algorithm, Electroencephalography, Grey wolf optimization algorithm, Harris hawks optimization algorithm, Feature selection

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Karadeniz Technical University, OfTektology Faculty, Department of Software Engineering, 61830, Trabzon, Türkiye

E mail: gediklie@ktu.edu.tr (E. GEDİKLİ)

Eyüp GEDİKLİ



<https://orcid.org/0000-0002-7212-5457>

Taner YURDUSEVER



<https://orcid.org/0000-0001-9536-8171>

Gönderi: 26 Mayıs 2024

Kabul: 02 Temmuz 2024

Yayınlanma: 15 Temmuz 2024

Received: May 26, 2024

Accepted: July 02, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Gedikli E, Yurdusever T. 2024. Feature selection based on meta-heuristic optimization algorithms from EEG signals. BSJ Eng Sci, 7(4): 717-723.

1. Giriş

EEG sinyalleri ile hastalık teşhisi, duyu analizi, yalan makinesi, fiziksel hareketlere göre beynin tepkisi belirlenebilir. Kumar ve Bhuvanewari (2012) çalışmasında, 20 prob ile aldığı EEG sinyallerini, koku, görme, göz hareketi, yüz hareketi, duyma ve denge gibi fonksiyonlara ayırmıştır. Çalışmalarında veri süzgeçlendikten sonra özellik çıkarımı ve sınıflandırma yapılmaktadır. Epilepsi, hafıza kaybı, alzheimer ve otizm gibi bazı beyin hastalıklarında EEG sinyalleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Claassen ve ark., 2003). Epilepsi

hastalığı, çocukluk ve ergenlik çağında en sık görülen nörolojik hastalıklar arasında yer alır. Genel olarak titremeler ve nöbetler şeklinde kendini gösteren epilepsi, beyin nöronlarında görülen anormal aktivitelerin normal seyri etkilemesi sonucunda bireylerde ani ve istemsiz kasılmalara, bilincin kapanmasına ve/veya duygusal değişimlere neden olur (Acharya ve ark., 2013). Epilepsi teşhisi için kan testleri, MR, bilgisayarlı tomografi ve PET gibi teknikler kullanılsa da, nöronlarda olan bu değişimlerin takip edilip teşhis konması için elektroensefalografi (EEG) tanısı oldukça önemlidir



(Iasemidis ve ark., 2003).

EEG, beynin spontan elektriksel aktivitesinin elektrogramını kaydetme yöntemidir. EEG kayıtları, ortalama 21 tane küçük elektrot ile çok sayıda kanaldan ölçümler yapan farklı cihazlardan üretilen sinyallerdir (Kumar ve Bhuvanewari, 2012). Nöbet dalga formlarının oldukça karmaşık olduğu durumlarda EEG kayıtlarının değerlendirilmesi oldukça güçleşebilmekte ve yanlış teşhisler konulmasına ya da tekrar tekrar kayıtlar alınmasına sebep olmaktadır. Çok fazla sayıda veriden oluşan bu kayıtların sinyal işleme yaklaşımları ile işlenmesi, makine öğrenimi teknikleri ile sınıflandırılması daha doğru tanı ve teşhis konmasına yardımcı olmaktadır. EEG sinyalleri oldukça fazla olduğundan, yorumlanırken aranan tanıya göre hareket edilebilir. Bu işlem bilgisayarla görmeye dayalı olarak otomatik ya da kısmi-otomatik olarak yapılabilir. Anomali tespit edilen durumlar uzmanlar için rapor edilebilir. Bunun için çok sayıda özelliğin tanıya göre seçilmesi gerekmektedir. Çoğu kez fazla özelliğin kullanılması sınıflandırma başarısını olumsuz etkilemektedir. Bundan ötürü, amaca yönelik anomali belirtisi olan özelliklerin seçimi önem arz etmektedir.

Makine öğrenmesi yaklaşımlarında, verinin çok fazla özellik içermesi sınıflandırma başarısını ve hesaplama karmaşıklığını doğrudan etkiler. Çok fazla özellik her zaman daha iyi sınıflandırma başarısı anlamına gelmemektedir. Diğer yandan aynı özelliklerle farklı sınıflandırma yapılabilmektedir. Örneğin yüz görüntülerinden, cinsiyet, yaş ve kimlik tanıma gibi problemlerde aynı verinin farklı özellikleri çıkarılmaktadır. Bu nedenle sınıflandırma aşamasından önce özellik seçimi yapılmaktadır. Böylece fazlalıklar atılıp doğrudan sınıflandırmaya etki eden verilerle çalışılabilmektedir.

Bu çalışmada, meta sezgisel yaklaşımlar kullanılarak epileptik tanı için EEG sinyallerinden özellik seçimine çalışılmıştır. Kullanılan gri kurt optimizasyonunu (Al-Tashi ve ark., 2019; Al-Tashi ve ark., 2020; Abel-Basset ve ark., 2021), balina optimizasyonu (Hussien ve ark., 2019; Hussien ve ark., 2020; Sayed ve ark., 2020; Vijayanand ve Devaraj, 2020; Nadimi-Shahraki ve ark., 2022) ve harris şahini optimizasyonu (Elgamal ve ark., 2020; Thaher ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2021) algoritmaları ile 667 özellikten <10 özellik seçilmiş ve k-en yakın komşuluk (k-EYK) algoritması ile sınıflandırma yapılmıştır. Metasezgisel algoritmalarla özellik seçimi, k-EYK algoritmasının başarımını ~%25 artırmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde, kullanılan veri seti, k-EYK sınıflandırma algoritması, tasarlanan amaç fonksiyonu ve kullanılan meta-sezgisel algoritmalarından bahsedilmiştir.

2.1. Epilepsi Hastalığı EEG Sinyalleri Veri Seti

Çalışmada kullanılan veri seti internette herkese erişime açık olup, 1020 epileptik ve 1196 normal, toplam 2216 kişinin kaydından oluşur (Hassine, 2024a; Hassine, 2024b). Veri setindeki sinyaller 23 kanaldan alınmış,

gamma (>30 Hz), beta (12-30 Hz), alpha (8-12 Hz), theta (4-8 Hz) ve delta (< 4 Hz) frekans bantlarından üretilmiştir. Her banttan, dalgacık dönüşümü ve alt bileşenlerinin ortalama, standart sapma, güç bileşenleri üretilerek her bir örnek için 667 tane özellik üretilmiştir. Her bir sinyal normalize edilerek standartlaştırılmıştır (Hassine, 2024a; Hassine, 2024b).

2.2. k-En Yakın Komşuluk Algoritması

k-en yakın komşuluk algoritması, yaygın kullanılan parametrik olmayan bir sınıflandırma algoritmasıdır. Denetimli sınıflandırma algoritması olduğundan veriden eğitim ve test kümeleri seçilir. Bu çalışmada her bir sınıftan 1/3 oranında veri test kümesi ve diğerleri eğitim kümesi olacak şekilde rastgele seçilmiştir. Seçilmemiş özelliklerden sınıflandırma yapmak için $k=7$ ve seçilmiş özelliklerle sınıflandırma yapılırken $k=3$ deneysel olarak kaba kuvvetle seçilmiştir. Kullanılan uzaklık ölçütü öklit mesafesidir. Özellikler, min-max normalizasyonuna tabi tutulmuştur. Sınıflandırıcının hata oranı Eşitlik 1'deki gibi hesaplanmıştır.

$$error = 1 - \frac{\text{doğru sınıflandırılmış test örnek sayısı}}{\text{toplam test örnek sayısı}} \quad (1)$$

2.3. Amaç Fonksiyonu

Amaç fonksiyonu meta-sezgisel algoritmaların optimize etmeye çalıştığı fonksiyondur. Arama uzayında belirli kısıtlar altında optimum noktaların bulunmasında kullanılır. Çalışmada arama uzayının boyut sayısı, eğitim verisinin toplam özellik sayısı olarak belirlenmiştir. Özellik seçimi probleminde çözüm kümesinin her bir uygunluk değeri, veri setindeki bir özelliğin sınıflandırmada kullanılıp kullanılmayacağını belirtir. Özellik seçimi için verilen Eşitlik 2'de, eşik değeri kısıtları altında özellikleri seçilir. Eğer çözümdeki bir değer belirlenen eşikten daha büyükse özellik sınıflandırma için seçilir. Eşikten küçük değerlerde, ilgili özellik sınıflandırılmaya dahil edilmez. Eşitlik 2'de ayrıca, sınıflandırma hata oranı da optimize edilmeye çalışılmıştır. Her iki amaç belli oranda birleştirilerek maliyeti hesaplanmıştır.

$$cost(x) = \alpha \times error + (1 - \alpha) \times \frac{\sum_{i=1}^d s_i}{d} \quad (2)$$

$$\begin{cases} s_i = 1, & x_i \geq threshold \\ s_i = 0, & x_i < threshold \end{cases}$$

Burada α , katsayı; s_i , $threshold$ eşik değerine göre atanan seçim değerini; d , özellik boyutunu; $error$, sınıflandırma hata oranını; x_i , i . özellik vektörünü ifade eder. Çalışmada, deneysel olarak α katsayısı 0,8 ve $threshold=0,9$ olarak alınmıştır. Tüm optimizasyon algoritmaları için arama uzayının alt sınırı 0, üst sınırı 1 olarak belirlenmiştir. α katsayısı büyüdükçe hata daha çok optimize edilir ve $threshold$ büyüdükçe daha fazla özellik seçilebilir.

2.4. Gri Kurt Optimizasyon Algoritması

Gri kurt optimizasyonu (grey wolf optimization, GWO), Mirjalili ve ark. (2014) tarafından 2014'te geliştirilmiştir. GWO algoritması gri kurtların (canis lupus) liderlik ve av arama davranışlarından esinlenilerek geliştirilen bir sürü tabanlı meta-sezgisel optimizasyon algoritmasıdır.

Algoritmada, liderlik hiyerarşisi dört kurt tipiyle belirlenir. Bunlar hiyerarşinin en tepesinden aşağıya doğru alfa (α), beta (β), delta (δ) ve omega (ω) kurtlarıdır. GWO'da en iyi çözüm alfa (α) olarak adlandırılır. Sonraki en iyi çözümler ise sırasıyla beta (β) ve delta (δ) çözümleridir. Geriye kalan omega (ω) kurtlar ise aday çözümler olarak değerlendirilir. GWO algoritması aşamaları sırasıyla; av arama, avı kuşatma ve ava saldırma şeklindedir (Das ve Das, 2020). Gri kurtlar öncelikle avlarına ait yerleri belirler ve alfa kurt öncülüğünde kuşatma yapılır. Diğer kurtlar ise konumlarını hiyerarşik sıraya göre güncelleyerek en iyi çözüme ulaşmaya çalışırlar (Wang and Li, 2019).

$$D = |C * X_p(t) - X(t)| \quad (3)$$

$$X(t + 1) = |X_p(t) - AD| \quad (4)$$

GWO algoritmasında, 3 ve 4 eşitlikleri avın çevrenemesini yani avlanma aşamasını ifade eder. Eşitliklerde, t iterasyon sayısı, X_p avın konumu, X gri kurt bireyinin konumu için kullanılır. A ve C katsayıları eşitlik 5 ve 6'daki gibi hesaplanır. Eşitlik 5 ve 6'da, r_1 ve r_2 [0,1] arasında rastgele reel değerler alır. α , iterasyona bağlı olarak "2"den "0" doğru doğrusal olarak azalan bir katsayıdır. i . iterasyondaki α , $\alpha_i = 2 - i * \left(\frac{2}{\text{iterasyon_sayısı}}\right)$ şeklinde hesaplanabilir.

$$A = 2ar_1 - \alpha \quad (5)$$

$$C = 2r_2 \quad (6)$$

GWO algoritması iklendirmesinde, bireylerin dağılımı rastgele olup sonraki aşamalarda her bir kurt için uygunluk değeri ayrı ayrı hesaplanır. En iyi uygunluk değerine sahip konumlardaki kurtlara, sırasıyla alfa, beta ve delta kurtlar olarak atama yapılır. Alfa, beta ve delta kurtlarının konumları, eşitlik 3'e göre her adımda güncellenir. Bu güncellemeden sonra alfa, beta ve delta kurtlarının sırası değişebilir. Avın bir sonraki konumu (X_p), alfa, beta ve delta kurtlarının konumlarının aritmetik ortalaması olarak alınır.

Ava saldırı işlemine, A değerine göre karar verilir. A değeri 1'den büyükse gri kurtlar avdan uzaklaşır ve daha uygun bir av aramaya başlarlar. Eğer 1'den küçükse gri kurtlar ava saldırıya zorlanır. Böylece yerel minimumlara takılmalar engellenir. GWO algoritmasında avlanma işlemine durdurma kriteri sağlanıncaya kadar veya belirlenen iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar devam edilir.

2.5. Balina Optimizasyonu Algoritması

Balina optimizasyonu algoritması (whale optimization algorithm, WOA) kambur balinaların "kabarık-ağı" adı verilen avlanma tekniğinden ilham alan sürü tabanlı bir optimizasyon algoritmasıdır (Mirjalili ve Lewis, 2016; Aljarah ve ark., 2018). Bu balinalar avlarının yerini belirlemek için öncelikle araştırma yaparlar daha sonra daralan çemberler şeklinde hareket ederek kuşatma ya da sarmal konum güncelleme adlı iki saldırı mekanizmasından biri ile hedefe saldırırlar.

Optimizasyonda bu aşamalar sırasıyla keşif ve sömürü olarak adlandırılır. Başlangıçta algoritma mevcut en iyi aday çözüme göre konumlarını güncellerken, sonraki aşamalarda, diğer balinaların konumları en iyi çözüme göre güncellenir.

Balinalar keşif aşamasında, birbirlerinin konumlarına göre rastgele avlarını ararlar. Küresel bir araştırma yapabilmek için arama ajanları, rastgele seçilen bir referans balinadan uzaklaşmaya zorlanır. Avın çevresini sarma işlemi, 7. ve 8. eşitliklerle yapılır.

$$D = |C * X^*(t) - X(t)| \quad (7)$$

$$X(t + 1) = |X_p(t) - A * D| \quad (8)$$

Eşitlik 7 ve 8'de; t , mevcut iterasyon adımını; A ve C yakınsama vektörlerini; X^* en iyi çözüme en yakın çözüm vektörünü ifade eder. A ve C sırasıyla eşitlik 9 ve 10 ile bulunur. Eşitlik 9 ve 10'da r rastgele bir vektörü ve α iterasyon sayısına bağlı olarak "2" 'den "0" doğru doğrusal, gri kurt optimizasyonu algoritmasında verildiği gibi hesaplanan, azalan bir vektörü ifade eder.

$$A = 2\alpha * r - \alpha \quad (9)$$

$$C = 2 * r \quad (10)$$

Ava doğru hareket etme işlemi, balinanın ava doğru ilerlerken avın etrafındaki çemberi daraltma ve spiral hareket oluşturma şeklinde ele alınır. Çember daraltması 9 eşitliğindeki α 'nın küçültülmesi ile sağlanır. Spiral hareket en iyi arama ajanına göre yapılır. En iyi arama ajanı ile diğer arama ajanı arasındaki ilişki eşitlik 11 ile hesaplanır.

$$X(t + 1) = D' * e^{bl} * \cos(2\pi l) + X(t) \quad (11)$$

$$D' = X^*(t) - X(t) \quad (12)$$

Eşitlik 11'de, b , logaritmik spiral sabiti; l , [-1,1] arasında rastgele bir reel sayıdır. Algoritmada spiral hareket veya çember hareketten hangisinin yapılacağına %50 olasılıkla karar verilir. Bu olasılığa göre eşitlik 8 veya eşitlik 11 hareketleri yapılır.

Avı arama işleminde, arama ajanının konumu güncellenirken o zamana kadar bulunmuş en iyi arama ajanı yerine rastgele seçilen bir arama ajanı kullanılır. Bu taktik yerel minimumlara takılmayı önleme amaçlıdır. Eşitlik 13 ve 14'de X_{rand} rastgele seçilen arama ajanı olarak ifade edilmiştir.

$$D' = C * X_{rand} - X \quad (13)$$

$$X(t + 1) = X_{rand} - A * D \quad (14)$$

$|A| > 1$ olduğu durumlarda en iyi arama ajanından daha uzak bir konum seçilmiş olur. Bu durumda global arama yapılmış olur.

2.6. Harris Şahini Optimizasyonu Algoritması

Harris şahini optimizasyonu (harris hawks optimization, HHO), kara şahinlerinin avlanma davranışını simüle eden popülasyon tabanlı, gradyansız bir algoritmadır (Heidari ve ark., 2019). Kara şahinler, özellikle tavşan avlama sürecinde sürü olarak hareket ederler. Sürünün bir lideri

bulunur. Lider ve sürünün diğer üyeleri öncelikle av tespiti için keşif uçuşları yapar (keşif aşaması). Keşif aşamasında avın tespit edilmesiyle avlanma sürecine geçilir (sömürüye geçiş aşaması). Kara şahinler, avlarına dört kovalama-saldırma taktiğinden birini kullanarak saldırır (sömürü aşaması). Bu taktikler; yumuşak kuşatma, sert kuşatma, ilerlemeci hızlı dalışlar ile yumuşak kuşatma ve ilerlemeci hızlı dalışlar ile sert kuşatmadır.

HHO algoritmasında, arama davranışı genel keşif aşaması olarak kabul edilir. Eşitlik 15'de keşif stratejisi verilmiştir.

$$x(t+1) = \begin{cases} x_{rand}(t) - r_1 |x_{rand} - 2r_2 x(t)| & , q \geq 0,5 \\ (x_{rabbit}(t) - x_m(t)) - r_3(LB + r_4(UB - LB)) & , q < 0,5 \end{cases} \quad (15)$$

Eşitlik 15'de, $x(t+1)$, harris şahinlerinin her bir iterasyondaki konum vektörleri, $x_{rabbit}(t)$, avın konum vektörü, $x(t)$, harris şahininin mevcut konumu vektörünü gösterir. r_1, r_2, r_3, r_4 ve q değerleri, $[0,1]$ aralığında rastgele reel değerler alır. LB ve UB sırasıyla popülasyonun alt ve üst sınırlarını belirler. $x_{rand}(t)$ rastgele seçilen bir şahindir. $x_m(t)$, t . anındaki şahin popülasyonunun konumlarının ortalama değeridir.

Harris şahini keşif işlemini tamamladıktan sonra avın enerjisine bağlı olarak farklı saldırı biçimleri geliştirebilir. Avın enerjisi eşitlik 16'da verilmiştir.

$$E = 2E_0 \left(1 - \frac{t}{T}\right) \quad (16)$$

Eşitlik 16'da, $[-1,1]$ aralığında değer alan E_0 avın başlangıç enerjisini, T maksimum yineleme sayısını, t mevcut iterasyonu gösterir.

HHO'da sömürü aşaması, $[0,1]$ arasında değer alan, avın kaçıp kaçamayacağına karar veren r rastgele sayısı ve E 'nin değerine göre 4 farklı strateji ile sömürü aşaması gerçekleştirilir. $r \geq 0.5$ ve $|E| \leq 0.5$ durumu yumuşak kuşatma ve $r \geq 0.5$ ve $|E| \leq 0.5$ durumu sert kuşatma stratejisinin geliştirildiği durumlardır. Yumuşak kuşatma 17 ve 18 eşitlikleri ile yapılır. Eşitlik 19 ile sert kuşatma gerçekleştirilir.

$$x(t+1) = \Delta x(t) - E |J x_{rabbit}(t) - x(t)| \quad (17)$$

$$\Delta x(t) = x_{rabbit}(t) - x(t) \quad (18)$$

$$x(t+1) = x_{rabbit}(t) - E |\Delta x(t)| \quad (19)$$

Eşitlik 17-19'da, $\Delta x(t)$ t . anındaki konum ile avın konumu arasındaki mesafeyi, J av hareketini benzetmek için her iterasyonda değişen bir değeri ifade eder.

Diğer bir strateji aşamalı hızlı dalışlarla yumuşak kuşatma olarak adlandırılır. Yumuşak kuşatma, $r < 0.5$ ve $|E| \geq 0.5$ olduğunda gerçekleşir. Bu aşamada av kaçmak için yeterli enerjiye sahiptir. Bu strateji iki adımda gerçekleşir. İlk adımda 17 eşitliği kullanılır ve konum iyileşmezse ikinci adımla konum güncellenir. İkinci adımda eşitlik 20 ve 21 uygulanır.

$$z = \Delta x_i(t) - E |J x_{rabbit} - x_i(t)| + s \text{levy}(D) \quad (20)$$

$$\text{levy}(x) = 0.01 \frac{u \sigma}{|\mu|^{\frac{1}{\beta}}}, \quad \sigma = \left(\frac{|(1 + \beta) \sin(\frac{\pi\beta}{2})|}{\left| \left(\frac{1 + \beta}{2} \right) 2^{\frac{\beta-1}{2}} \right|} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (21)$$

Eşitlik 20 ve 21'de u ve v , $[0,1]$ aralığında rastgele değerler alır, β değeri 1,5 olan bir sabit ve D problemin boyutudur. Son olarak yumuşak kuşatma 17 eşitliğine Y dersek, bu stratejide karar, eşitlik 22'ye göre verilir. Burada $s \in \mathbb{R}^D$ olup D boyutunda rastgele bir vektördür.

$$x(t+1) = \begin{cases} Y & f(Y) < f(x(t)) \text{ ise} \\ Z & f(Z) < f(x(t)) \text{ ise} \end{cases} \quad (22)$$

Son strateji ilerlemeli hızlı dalışlar ile sert kuşatmadır ki bu durumda av kaçmak için yeterli enerjiye sahip değildir. Bu durumda eşitlik 23-25 kullanılır.

$$x(t+1) = \begin{cases} y & f(y) < f(x(t)) \text{ ise} \\ z & f(z) < f(x(t)) \text{ ise} \end{cases} \quad (23)$$

$$y = x_{rabbit} - E |J x_{rabbit} - x_{mean}(t)| \quad (24)$$

$$z = y + s \text{levy}(D) \quad (25)$$

3. Bulgular ve Tartışma

Deneylerde, tüm meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarında popülasyon sayısı 50 ve iterasyon sayısı 50 olarak alınmıştır. Her bir algoritma 30 kere koşturulmuştur. Optimizasyon öncesi k -EYK ile yapılan sınıflandırma doğruluk performansı %60,05 olarak elde edilmiştir. Çalışmalar, i7 işlemcili ve 8 GB belleğe sahip bilgisayarda Matlab 2017 ile yapılmıştır.

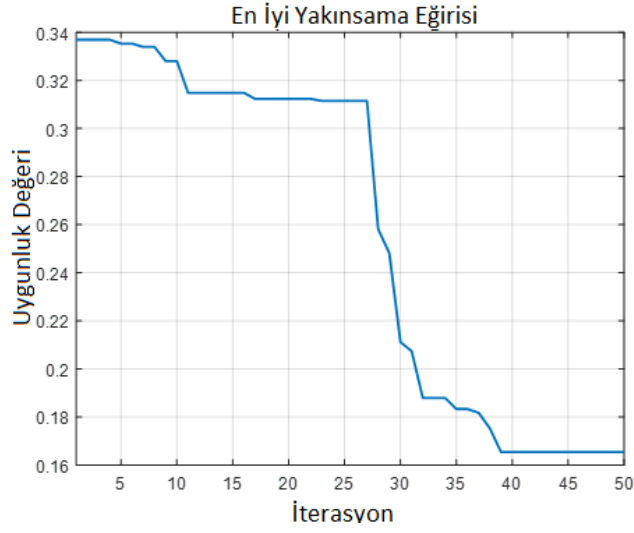
Tablo 1'de; $ortA$ tekrarlı koşturulmaların doğruluk ortalamasının yüzdelik (%) değeridir. $maxA$ erişilen en yüksek ve $minA$ en düşük doğruluk yüzdesidir. Koşturulmalarda elde edilen doğrulukların standart sapmaları sda sütununda verilmiştir. $CPUs$ ortalama işlem süresini saniye cinsinden ifade eder. Koşturulmalarda elde edilen en küçük uygunluk değeri (fitness) $minF$ ile gösterilmiştir. Çalışmada elde edilen en küçük özellik sayısı $minFM$ sütununda verilmiştir.

Tablo 1'de algoritmaların 50 iterasyon ile 30 kez tekrar edildiğinde elde edilen sonuçların ortalamaları verilmiştir. Tablodan 10 özellik seçimi ile GWO algoritmasının en yüksek başarıyı yakaladığı görülmektedir. Diğer yandan doğruluk ortalaması en yüksek HHO algoritmasının doğruluk standart sapmasına göre daha kararlı sonuçlar elde ettiği gözlemlenmektedir. Özellik sayısını 667'den 5'e kadar azaltan WOA ve HHO algoritmaları olmuştur. Algoritmalar birbirine yakın fitness değerleri üretmiştir.

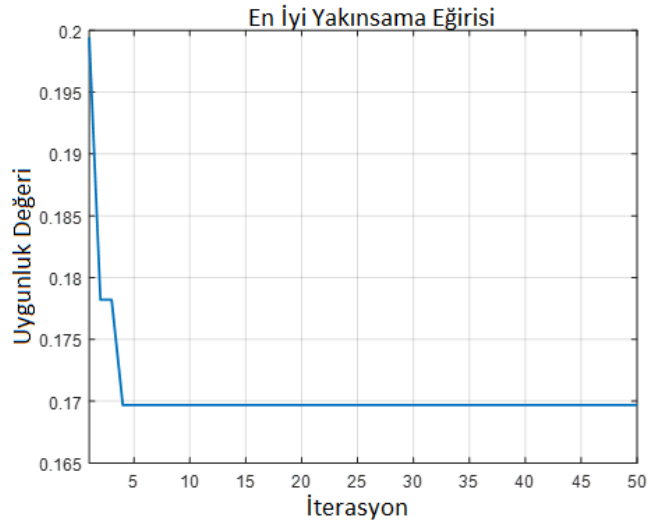
Şekil 1-3'te sırasıyla gri kurt, balina ve harris şahini algoritmalarının en iyi yakınsama eğrilerinden örnekler verilmiştir. Şekillerde, gri kurt algoritmasının 40, balina optimizasyonu algoritmasının 5 iterasyonda yakınsamayı sağladığı gözükmektedir. Harris şahini algoritmasının yakınsaması 50 iterasyondan daha fazlasına ihtiyaç duyduğu söylenebilir. Ancak mevcut yakınsamada, diğer algoritmalarından daha iyi sonuçlar elde edebilmiştir.

Tablo 1. Meta-sezgisel algoritmaların başarımları sonuçları

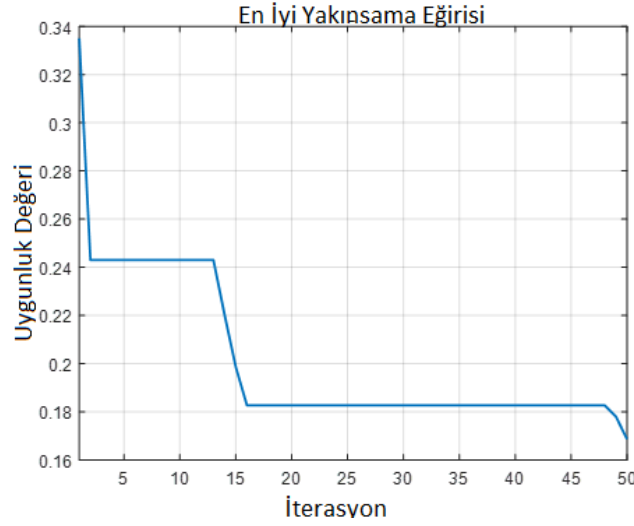
Algoritma	orta	maxA	minA	sdA	CPUs	minF	minFM
GWO	67,0862	80,164	62,107	0,063542	86,487	0,16535	10
WOA	71,9015	79,207	61,286	0,042895	67,450	0,16968	5
HHO	74,0173	79,343	64,432	0,036386	82,955	0,16859	5



Şekil 1. Gri kurt optimizasyonu algoritmasının en iyi yakınsama eğrisi.



Şekil 2. Balina optimizasyonu algoritmasının en iyi yakınsama eğrisi.



Şekil 3. Harris Şahinleri Optimizasyonunun en iyi yakınsama eğrisi.

4. Sonuç

Bu çalışmada, meta-sezgisel algoritmaların özellik seçiminde kullanılarak sınıflandırma başarısının artırılmasına çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda epilepsi tanısı için kullanılan verisetindeki tüm özelliklerin sınıflandırılmada kullanılmasına gerek olmadığı anlaşılmaktadır. Bu özelliklerin meta-sezgisel yöntemlerle seçilmesi sonucunda doğruluk performansı artış gözlemlenmiştir. Tablo 1’de görüldüğü gibi, kullanılan algoritmalar kendi içinde değerlendirildiğinde, ortalama doğruluk performansı, standart sapma ve özellik sayısı bakımından HHO algoritmasının diğerlerine göre daha başarılı performans sergilemiş olarak kabul edilebilir.

Bu çalışmada, epileptik sinyallerin sınıflandırılmasına çalışılmış ve 5 özellik ile en yakın komşuluk algoritmasının sınıflandırma performansında artış sağladığı gözlemlenmiştir. EEG sinyallerinin başka tanı veya eylemler için kullanılmasında farklı özelliklerin seçilmesi gerekebilir. Sonuç olarak çalışma EEG sinyallerinden özellik seçiminin meta-sezgisel algoritmalarla yapılabileceğini göstermektedir. Yine EEG sinyallerinin yorumlanmasında, anomali tespiti için normal sinyaller meta-sezgisel olarak elimine edilerek uzmanlara daha temiz veri sunulabilir. Çalışmada, meta-sezgisel yöntemlerin başarısını test amacıyla 3 tane meta-sezgisel algoritma kullanılmıştır. EEG sinyalleri için daha büyük verisetleri ile pek çok algoritma yarıştırlıp en başarılı algoritmalar belirlenebilir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	E.G.	T.Y.
K	60	40
T	60	40
Y	80	20
VTI	20	80
VAY	60	40
KT	20	80
YZ	70	30
KI	80	20
GR	80	20
PY	70	30

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Abdel-Basset M, Sallam KM, Mohamed R, Elgendi I, Munasinghe K, Elkomy OM. 2021. An improved binary grey-wolf optimizer with simulated annealing for feature selection. IEEE Access, 9: 139792-139822.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3117853>.
- Acharya UR, Sree SV, Swapna G, Martis RJ, Suri JS. 2013. Automated EEG analysis of epilepsy: A Review. Knowledge Based Syst, 45: 147-165.
<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2013.02.014>.
- Aljarah I, Faris H, Mirjalili S. 2018. Optimizing connection weights in neural networks using the whale optimization

- algorithm. *Soft Comput*, 22(1): 1-15. <https://doi.org/10.1007/s00500-016-2442-1>.
- Al-Tashi Q, Abdulkadir SJ, Rais HM, Mirjalili S, Alhussian H, Ragab MG, Alqushaibi A. 2020. Binary multi-objective grey wolf optimizer for feature selection in classification. *IEEE Access*, 8: 106247-106263. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3000040>.
- Al-Tashi Q, Kadir SJA, Rais HM, Mirjalili S, Alhussian H. 2019. Binary optimization using hybrid grey wolf optimization for feature selection. *IEEE Access*, 7: 39496-39508. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2906757>.
- Claassen J, Hirsch LJ, Mayer SA. 2003. Treatment of status epilepticus: a survey of neurologists. *J Neurol Sci*, 211(1-2): 37-41. [https://doi.org/10.1016/s0022-510x\(03\)00036-4](https://doi.org/10.1016/s0022-510x(03)00036-4).
- Das P, Das A. 2020. Adaptive gabor filtering using grey wolf optimization for enhancement of brain MRI. *IEEE International Women in Engineering (WIE) Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE)*, December 26-27, Naya Raipur, India, pp: 356-359. <https://doi.org/10.1109/WIECON-ECE52138.2020.9397926>.
- Elgamal ZM, Yasin NBM, Tubishat M, Alswaiti M, Mirjalili S. 2020. An improved harris hawks optimization algorithm with simulated annealing for feature selection in the medical field. *IEEE Access*, 8: 186638-186652. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3029728>.
- Hassine OB. 2024a. Epilepsy Detection Using EEG Signals, Datasets. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/oussamabenhassine/epilepsy-detection-using-eeeg-signals> (erişim tarihi: Nisan, 25, 2024).
- Hassine OB. 2024b. Epilepsy Detection Using EEG Signals, Project. URL: <https://github.com/oussamabenhassine/Epilepsy-Detection-using-EEG-signlas/> (erişim tarihi: Nisan, 25, 2024).
- Heidari AA, Mirjalili S, Faris H, Aljarah I, Mafarja M, Chen H. 2019. Harris hawks optimization: Algorithm and applications. *Future generation computer systems*, 97: 849-872. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.02.028>.
- Hussien AG, Hassanien AE, Houssein EH, Bhattacharyya S, Amin M. 2019. S-shaped binary whale optimization algorithm for feature selection. In: *Recent Trends in Signal and Image Processing. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 727. Springer, May 10, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8863-6_9.
- Hussien AG, Oliva D, Houssein EH, Juan AA, Yu X. 2020. Binary whale optimization algorithm for dimensionality reduction. *Mathematics*, 8(10): 1-24. <https://doi.org/10.3390/math8101821>.
- Iasemidis LD, Shiau DS, Chaovalitwongse W, Sackellares JC, Pardalos PM, Principe JC, Carney PR, Prasad A, Veeram B. 2003. Adaptive epileptic seizure prediction system. *IEEE Transact Biomed Eng*, 50(5): 616-627. <https://doi.org/10.1109/TBME.2003.810689>.
- Kumar SJ, Bhuvanewari P. 2012. Analysis of Electroencephalography (EEG) Signals and Its Categorization. *Procedia Eng*, 38: 2525-2536. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.06.298>.
- Mirjalili S, Lewis A. 2016. The whale optimization algorithm. *Adv Eng Software*, 95: 51-67. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.01.008>.
- Mirjalili S, Mirjalili SM, Lewis A. 2014. Grey wolf optimizer. *Adv Eng Software*, 69: 46-61. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007>.
- Nadimi-Shahraki MH, Zamani H, Mirjalili S. 2022. Enhanced whale optimization algorithm for medical feature selection: A COVID-19 case study. *Comput Biol Medic*, 148: 105858. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2022.105858>.
- Sayed GI, Darwish A, Hassanien AE. 2020. Binary whale optimization algorithm and binary moth flame optimization with clustering algorithms for clinical breast cancer diagnoses. *J Classification*, 37(1): 66-96. <https://doi.org/10.1007/s00357-018-9297-3>.
- Thaher T, Heidari AA, Mafarja M, Dong JS, Mirjalili S. 2020. Binary Harris Hawks optimizer for high-dimensional, low sample size feature selection. In *Evolutionary machine learning techniques*. Springer, Singapore, pp: 251-272. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9990-0_12.
- Vijayanand R, Devaraj D. 2020. A novel feature selection method using whale optimization algorithm and genetic operators for intrusion detection system in wireless mesh network. *IEEE Access*, 8: 56847-56854. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2978035>.
- Wang JS, Li SX. 2019. An improved grey wolf optimizer based on differential evolution and elimination mechanism. *Sci Rep*, 9(1): 1-21. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43546-3>.
- Zhang Y, Liu R, Wang X, Chen H, Li C. 2021. Boosted binary Harris hawks optimizer and feature selection. *Eng Comput*, 37(4): 3741-3770. <https://doi.org/10.1007/s00366-020-01028-5>.



DEVELOPMENT AND EVALUATION OF STUDENTS' PRACTICE SKILLS IN VOCATIONAL AND TECHNICAL EDUCATION OF ELECTRIC VEHICLES

Bekir GÜNEY^{1*}


¹Karamanoğlu Mehmetbey University, Vocational School of Technical Sciences, Motor Vehicles and Transportation Technologies Department, 70200, Karaman, Türkiye

Abstract: Rapid technological advances and population growth are causing global energy shortages and environmental problems. All countries in the world are making great efforts to develop energy-saving vehicles, especially focusing on the production of environmentally friendly vehicles that run on electric energy. In the very near future, there will be a shortage of qualified personnel in the field of battery electric vehicle (BEV) failure diagnosis, maintenance and repair, electric vehicle production, and after-sales services, which will be one of the leading professions in the global trend. This study was conducted to evaluate the practical skills of individuals studying in Karaman province within the scope of training the qualified personnel needed by the sector in the field of maintenance and design in the field of electric vehicle technologies. The individuals underwent skills tests based on 10 application skill criteria, encompassing a total of 112 subtasks. The tests revealed that 81% of the participants possessed general application skills and exhibited the characteristics of EV technical personnel. It has been determined that adequate vocational and technical training has been provided to meet the personnel demand in the field, aligned with the projected widespread use of EVs soon.

Keywords: Electric vehicle, Diagnosis, Fault, Maintenance, Vocational and technical education

*Corresponding author: Karamanoğlu Mehmetbey University, Vocational School of Technical Sciences, Motor Vehicles and Transportation Technologies Department, 70200, Karaman, Türkiye

E mail: guneyb@kmu.edu.tr (B. GÜNEY)

Bekir GÜNEY  <https://orcid.org/0000-0001-9764-9313>

Received: March 27, 2024

Accepted: July 04, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Güney B. 2024. Development and evaluation of students' practice skills in vocational and technical education of electric vehicles. BSJ Eng Sci, 7(4): 724-735.

1. Introduction

In parallel with the rapid increase in the global population and technological advances, there has been a significant rise in the number of vehicles being used by people. One of the major contributors to global climate change is the emission of exhaust and non-exhaust pollutants from fossil fuel-powered internal combustion engines. Pollutants such as CH, CO, NO_x, and particulate matter (PM) are released into the atmosphere and have detrimental effects on the environment (Güney and Küçüksarıyıldız, 2019; Güney and Aladağ, 2020; Güney and Öz, 2020a; Güney and Öz, 2020b; Güney and Aladağ, 2021; Güney and Aladağ, 2022; Shang et al., 2024). At the forefront of efforts to address air pollution and global warming is the promotion of vehicles that utilize electrical energy to power their mechanical systems. Among the various types of alternative vehicles studied, battery-powered electric vehicles (BEVs) have received significant attention. BEVs are considered a promising solution to reduce dependence on fossil fuels and mitigate pollution arising from the transportation sector. These vehicles rely on battery technology to store electrical energy and provide a cleaner and more sustainable mode of transportation (Alves et al., 2016).

Because the energy used in EVs can be obtained from renewable energy sources such as wind, solar, and hydroelectricity (Ajanovic and Haas, 2016). In addition to the outstanding performance features of these vehicles, such as zero exhaust emissions, low noise pollution, and high energy efficiency, their clean energy consumption is attractive (Güney and Kılıç, 2020). Also, thanks to government initiatives and technological advances, interest in BEVs continues to increase worldwide.

BEVs are similar to internal combustion engines (ICE) in terms of basic technology. However, there are missing or excess systems in BEVs. For example, while the fuel combustion system, fuel tank, and combustion system are not available, there are systems connected to electrical energy such as traction batteries. The main components of an BEV are; the electric traction motor, transmission, multimedia system, electronic engine computer (EVC), traction battery, auxiliary battery, battery management system (BMS), smart battery charger, AC/DC-DC/AC converter, charger, high voltage, and low voltage wiring system, braking system, regenerative braking system (RBS), vehicle body, chassis/body system, thermal cooling and lubrication systems (Dhameja, 2001). These components, particularly those specific to BEVs, are described below.



1.1. Electric Traction Motor

It is the rotor/stator component that converts electrical energy into mechanical energy or mechanical energy into electrical energy and works with classical electrical principles. It is controlled by the electronic engine computer (EVC). EVC regulates the amount of current and voltage that the electric motor receives (Jouda et al., 2024). These motors are of two types, either the motor that uses the direct current (DC) in the traction battery as DC directly or the motor that uses it by converting it to alternating current (AC). The accelerator pedal generates the appropriate torque by sending a signal to the controller that adjusts the speed of the vehicle by changing the frequency of the current power from the inverter to the motor. Operating voltages can be 360 V or higher. The controller receives a signal from the vehicle's accelerator pedal and controls the electrical energy supplied to the engine, causing torque to turn the wheels. In the past, DC motors were widely used for variable-speed applications. However, with technological advances in electronics, AC motors are now more widely used for these applications. DC motors are generally easier and cheaper to control, but they are usually larger and heavier than AC motors. At the same time, AC motors and controllers often have higher efficiency at very different operating parameters. Today, both AC and DC technologies are used in commercial cars (Dhameja, 2001). It drives the wheels of the vehicle with the help of gears in the electric transmission. Some vehicles use motor generators that perform both driving and regeneration functions. In these vehicles, when the brake is applied or the vehicle is slowing down, the motor becomes a generator and produces regenerative energy and sends it back to the traction battery.

1.2. Charger Unit

It is the part that mediates the vehicle to provide energy input by connecting to an external power source in order to charge the traction battery.

1.3. DC/DC Converter

The direct current (DC) voltage taken from the external electricity network is stored in the traction battery by converting the voltage too high voltage by means of the charger. It also converts the high voltage stored in the traction battery to low DC voltage to power the vehicle accessories and recharge the auxiliary battery.

1.4. Charger

Via the AC to DC converter in the charger, it takes the supplied AC electricity and converts it to DC voltage to charge the traction battery. It also communicates with the charging equipment and monitors the traction battery's state of charge (such as current, temperature, and voltage characteristics). The charger has single-phase or 3-phase residual current relays and induction coils to prevent undesirable situations such as leakage current and electrification, and to obtain clean and undisturbed current.

1.5. Electronic Power Control Unit

It is the unit that manages the electrical energy coming

from the traction battery to control the speed of the electric traction motor and the torque it produces.

1.6. Thermal System (Cooling)

This system is an electronic processor equipped with sensors to manage and control the proper operating temperatures of the engine, electric motor, power electronics, and other components. Liquid-based thermal management systems are generally preferred over BEVs, where cold plates are used to circulate the coolant more efficiently (Kalkan et al., 2022).

1.7. Traction Battery

A traction battery is a high-voltage element that can store the energy required to move the vehicle. Traction batteries are generally produced with a weight of 200 – 400 kg, a working capacity of 20-100 kWh, and a voltage of 100-600 volts. By combining multiple modules, the total traction battery capacity is created. Modules; It is produced with technologies consisting of cells such as Iron-Nickel, Lead-Acid, Nickel-Cadmium, Lithium-Polymer, Sodium-Sulphur, Aluminium-Silver and Zinc-Silver, Aluminium-Air, and Zinc-Air (Hamurcu et al., 2021; Malozyomov et al., 2024). Among these batteries produced for use in EVs, Lithium-Ion batteries are mostly preferred due to their performance features such as high voltage, energy density, and long life (Zenk and Ertuğral, 2021).

Each module is enclosed in a metal frame insulated with spacers and connected in series to each other in a sequential manner. The current consisting of the combination of the modules is transmitted to the electric motor by the power circuit. Since the power circuit has a high-voltage capacity, it is insulated and secured. In addition, high-voltage voltage is controlled with energy-cut safety interlocks. It is mounted on vehicles in robust enclosure cabinets. The charging time, discharge rate, charge/discharge frequency, charge, and discharge temperature usage modes of the batteries are the main factors affecting the efficiency of environmental conditions. Regenerative braking systems (Güney and Kılıç, 2020) can increase the driving range of EVs by around 25%.

1.8. Auxiliary Battery

Elements in an electrically driven vehicle that provides low-voltage electricity to power vehicle accessories.

1.9. The Electronic Engine Computer (EVC)

It is programmed to communicate with all components by managing all driving and usage phases starting from charging the vehicle. It controls the functions of the components. For example; speed, pedal pressure, airbag, wiper, tire pressure, etc. It is a complex multimedia system that enables the management of the vehicle by communicating with more than 100 sensors. Also, on each traction battery; there is an electronic electronic management system (BMS) to control data such as charge status, module/cell voltage, cell temperature, and fault status. This system is used by integrating into the EVC.

1.10. Electro-Mechanical Transmission

It is an electro-mechanical gear mechanism that moves the wheels by converting the electrical power at different speeds and torques coming from the electric traction motor into mechanical power. Smooth and consistent gear changes are achieved through this electro-mechanical system. It has vibration damping, acoustic comfort, and high-strength properties.

In the general physical structure of the system, unlike the ICE, there are low-speed input motors, clutches, planetary gear, and a powerful motor and physical powertrain. Clutches work like friction plate electromagnetic brakes. A spring keeps the plates apart until the electromagnet is activated, which magnetizes the floating plate and brings the braking surface into contact (Beaudoin and Boulet, 2022). The load motor provides the driving or braking torque to the wheels by generating the torque expected by the powertrain via the electromechanical system. The input motor can accompany the load motor if necessary (He et al., 2022).

1.11. Regenerative Braking System

By integrating an electric motor into the RBS front and rear wheels, many advantages can be gained from the system over conventional vehicles. First, the additional torque coupling mechanism can be eliminated. Second, when the required torque is relatively large, all-wheel drive can be applied. Finally, during the deceleration process, the electric motor can be used as a generator by applying regenerative braking (Lv et al., 2015), thus providing energy economy with recovery from regenerative braking (Lv et al., 2017). This electrical energy is then stored in energy storage systems (e.g. batteries or ultra-capacitors) and used as a drive for electric motors as needed. Regenerative and mechanical braking systems must be fully integrated to ensure the reliable and effective operation of regenerative braking. To meet the driver's demand, this integration requires smooth and accurate control of combined regenerative and mechanical braking (Setiawan et al., 2019). Therefore, a harmonious operation between the hydraulic braking system and the regenerative braking system is an important element in the design of the EV brake control strategy (Peng et al., 2008).

In EVs, hydraulic oil is used in the brake and power steering systems, coolants are used in the engines and electronic control modules, coolants and lubricants are used in the air conditioning compressors, and oils are used in the engine of the driveline, differential, and transmission. Low-freezing antifreeze coolants are used to cool the engine, control unit, and battery pack. In most cases, these lubricants and coolants are the same as those used in ICE. EVs do not store large volumes of flammable liquids. Usually, electrical devices are used to heat or cool the passenger compartment (Dhameja, 2001).

In the absence of expert technical personnel on the traction battery and high-voltage line, no action should be taken. For this reason, high-voltage cables and components are used in orange-colored reinforcements.

Maintenance work on the traction battery requires the use of personal protective equipment and the use of safety precautions such as the correct use of technical knowledge. Therefore, every operation to be carried out on the traction battery should be carried out by persons with technical equipment. Any voltage higher than the voltage at the auxiliary battery connection is considered high voltage.

As a customer feature in reverse, the motor torque and speed are limited by the EVC computer. If the EVC computer didn't limit performance, the reverse would have just as much speed and torque as the forward. Its reverse gear is activated by reversing the fed phases. The electric motor rotor and reduction box are connected to a gear assembly. There is no special gear for reverse movement.

In this training model, individuals studying in the field should receive training on both theoretical and real tools by using all the possibilities of technology. In this way, the human resources needed by the industry will be trained and socio-economic development will be achieved. With the inclusion of new-generation vocational education trends in the education system, it will be possible to increase the technological literacy level of individuals, improve their ability to use new technologies, and can solve the problems they will encounter in the future.

The main reason why we focus on education in the field of electric vehicle repair, maintenance and repair, which will be one of the leading professions of the global trend, is to seek a solution to the personnel gap that will arise in electric vehicle production and after-sales services as qualified technical staff of individuals who will be trained in this field. Very soon there will be a large number of new professions for electric vehicle maintenance in the world. In this technological transformation, some professions will become obsolete, but with the right model, the workforce will be able to switch to new business lines. For example, carburetor, spark plug, or exhaust experts can become battery experts in a short time.

The technological progress of countries, their economic and social development, and their competitiveness at the global level is closely related to their success in vocational and technical education. All scientists, industrial experts, and professionals agree that vocational and technical education is the secret behind the technological progress and economic strength of developed countries around the world (Dangote, 2013).

The main purpose of gaining the ability to practice on the real tool is to increase the students' performance as it reveals the assessment areas to the students. This improvement reduces the waste of resources such as time, effort, and money by educating students with the right knowledge and skills, which in turn produces students with the right knowledge and skills desired. In order to assess these skills, it is necessary to develop a document containing the design of the assessment tool,

namely assessment parameters that can be used to evaluate the performance of the student's practical task activities. In addition, the reliability and validity of this technique are possible with the development of training modules that will determine the criteria for practical skills in the new field.

The quality of learning skills that an education program provides to students is evaluated by the extent to which the objectives of technological knowledge or practical skill acquisition are achieved (Okwelle, 2012). The greater the effectiveness and efficiency with which individuals can apply the learned skills at the end of a course or study program, the more successful the acquired skill will be (Hager et al., 1994). In the field of vocational and technical education, technological teaching and practical application form an important part of the activities of developing applied skills.

On-the-job training in vocational and technical education that prepares the individual for the real work environment in an organized and coordinated way can be described as a process with its physical, mental, emotional, social, economic, and personal aspects by gaining the knowledge, skills, attitudes, and professional habits required for a profession that is necessary for the maintenance of individual and social life (Alkan et al., 2001; Özkan, 2021; Kong et al., 2024). Therefore, assessing skill test subjects by practical application rather than answering questions (Kong et al., 2024) is considered by most to be a more reliable technique. Performance criteria require students to apply the practical skills and operations taught and to perform adequately in conditions similar to industrial working conditions (Igaru, 2023).

Educational institutions providing vocational and technical education in Türkiye offer training at different levels with apprenticeship, technician, and engineering programs to train qualified manpower in line with the current global developments needed for the economic and technological development of the country. Applied sciences operate to train professionally educated manpower who has acquired minimum knowledge and skills in the scientific and industrial fields to ensure commercial and economic development. Personnel studying in this field participates in real business life by completing the modules of basic technology and application skills required by the program they are studying.

The method used for successful teaching and learning is of interest to educators because teaching methods play an important role in stimulating students' creative and critical thinking by persuading students to look at an event or problem from many angles as a team (Eison, 2010). These can only be achieved when an appropriate teaching method is applied.

Students' skills testing methods may be in the form of process management and the ability to do the implementation activity correctly, or a combination of both (Moses et al., 2017). Process management includes

the evaluation of student performance with careful and consistent instructor observation. The skill of the application activity is evaluated by whether the student correctly applies the parameters in the defined work module. This means that the skills test includes evaluating how students are doing as well as the task or product completed. Both process and application skills are performed by the trainer using checklist tables to be used to rate students' performance.

In line with the work done in the areas of global climate change, clean air and energy-saving, activities related to electric vehicles have gained great momentum all over the world. With the inclusion of new-generation vocational education trends in the education system, students will be able to increase their technological literacy level, improve their ability to use new technologies, and can solve the problems they will encounter in the future. The many complex subsystems of today's electric cars are extremely demanding to maintain and therefore require experienced expertise. These systems require regular inspection, maintenance and repair. For this reason, it is necessary first to take a long theoretical training for the technical personnel who will work on electric vehicles to specialize in the details of EVs. Afterwards, they should be equipped with knowledge, skills, and experience through applied training. In terms of safety and comfort, customers expect the motor vehicle technician to diagnose, maintain and fully repair any malfunction in the car. This study was carried out to contribute to the training of qualified personnel needed by the industry in the field of electric vehicles, which is expected to be one of the technologies of the future. In the study, the practical skills of the students who received sufficient theoretical education in Karaman/Türkiye were evaluated. For this purpose, evaluation parameters of the training modules have been determined to test student experiences. Students' success rates were calculated according to these parameters.

2. Materials and Methods

2.1. Design, Area and Population of the Study

Figure 1 illustrates the flowchart of the processes outlined in the study plan. Figure 2 illustrates image of the electric vehicle under application. Practical skills tests were conducted on 14 individuals who are studying in the field of electric vehicles in Karaman/Türkiye. These individuals have received comprehensive theoretical knowledge in the field of electric vehicles throughout their education. The assessment of their practical skills was based on a set of parameters developed for the failure, diagnosis, maintenance, and repair of electric vehicle components. The practical skills assessment was performed on a fully electric passenger car located in Karaman/Türkiye, and its specifications are provided in Table 1. In instances where individuals made errors in specific skill steps, the trainer provided corrections, and the remaining sub-tasks were completed. Maintenance and repair of electric vehicles

are generally the same as maintenance of ICEs, with notable exceptions such as the traction battery, electro-mechanical transmission, regenerative braking, and auxiliary systems. In the design of BEVs, basic components such as chassis, braking, lighting, bodywork, steering system, suspension, and undercarriage are the same as ICEs.

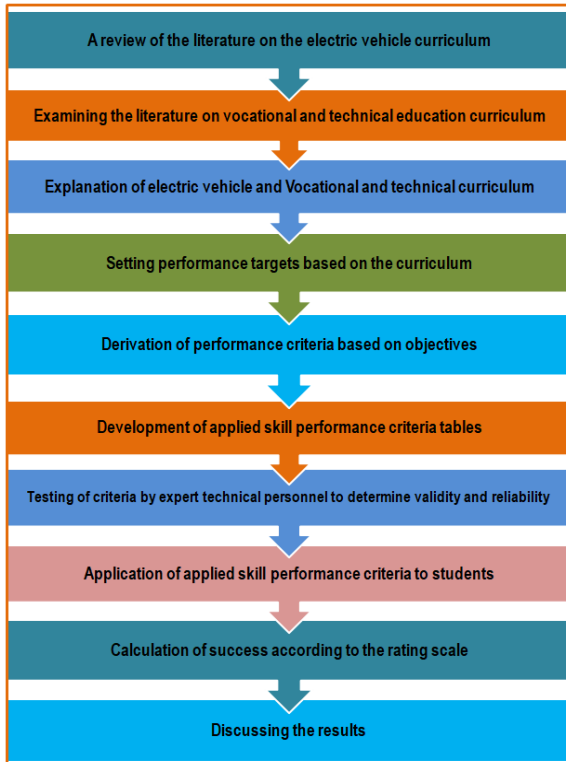


Figure 1. Flow chart showing the working methodology.



Figure 2. Image of the electric vehicle under application.

Table 1. Application car technical specifications

Car features	
Motor type	Electric
Motor power	68 kW
Maximum speed	135 km/h
Torque	226 Nm
Range	185 Km
Traction battery capacity	22kWh
Traction battery voltage	398v
Traction battery type	Lithium-ion
Transmission	Automatic
Weight	1605kg
Model year	2012

2. 2. Data Collection and Method of Data Analysis

The prerequisite of the study was determined to complete the compulsory field courses of the automotive program. For the study, application skill control parameters in BEV automotive breakdown, diagnosis, maintenance, and repair were determined. The determined parameters were applied by expert technical personnel before testing on the individual. Afterwards, it was applied to each person separately. The total skill assessment was calculated based on the percentages of making the application skills correct.

Customers expect the optimal combination of the growing popularity of electric vehicles, environmental friendliness, comfort, excellent technical and operational characteristics, and low maintenance costs to be consistently provided. They desire their needs to be met without any dissatisfaction in the event of any malfunction. However, with the rapid expansion of the market share in this sector, it is crucial to have qualified technical staff equipped with the necessary technical expertise to quickly respond to the demands. Another expectation is for fast, reliable, and cost-effective vehicle transactions.

Individuals who will be technical personnel for electrical vehicle breakdown, diagnosis, maintenance and repair should have gained the expected personal characteristics expected from them and the minimum level of technical knowledge. In other words, for a failed electric vehicle to be prepared for safe use again, it is expected to be an expert on the technical details of its components and parts. To summarize these requirements, Table 2 presents the criteria for technical knowledge, skills, and their corresponding subtasks for individuals aspiring to become specialists in electric vehicle fault diagnosis, maintenance, and repair. This table outlines the specific qualifications and competencies necessary for these professionals in order to effectively carry out their roles in the field.

Table 2. Ability to conform to the general characteristics of individuals who will be electric vehicle breakdown, diagnosis, maintenance, and repair specialists

N	Practice name	NPPC	CPP
1	Knowing and applying general occupational health and safety rules	13	0.93
2	Know and practice the use of personal protective equipment and equipment to make the vehicle safe for any operation on the components of an electric vehicle.	13	0.93
3	Meticulously following all necessary instructions from the very beginning	12	0.86
4	Carry out an external inspection of the vehicle	13	0.93
5	Controlling warning and lighting systems	12	0.86
6	To be able to perform the traction battery deactivation procedure	12	0.86
7	To know about general motor vehicles, mechanics, transmission groups, bodywork, and undercarriage	12	0.86
8	General knowledge of auto electrical and electronics	13	0.93
9	Absence of any health or mental condition that may pose a danger to the specialist while working on an electric motor vehicle	13	0.93
10	To have the knowledge of authorization and maintenance and safety information to be applied while operating on an electric vehicle.	13	0.93
11	Have professional training to perform electrical work such as removing a traction battery or diagnosing a traction battery chain component	14	1.00
Average application skill rate			0.91

NPPC= number of persons who practice correctly, CPP= correct practice percentage.

According to the 11 sub-assessment criteria in Table 2 above, in terms of the general characteristics of the participants, the percentage of eligibility criteria was determined as 91%. The participants correctly applied the sub-tasks of the skill rating criteria "Ability to know the factors affecting the performance of the electric vehicle" in Table 3.

According to the 8 sub-assessment criteria in Table 3 above, in terms of the "Ability to know the factors affecting the performance of the electric vehicle" application skill, the correctness level was determined as 85%. The participants who correctly applied the sub-tasks of the skill rating criteria of "Ability to recognize and maintain the regenerative braking system" were

identified in Table 4.

According to 9 sub-assessment criteria in Table 4 above, in terms of application skill, "Ability to recognize and maintain the regenerative braking system", the correctness level was determined as 69%. The participants who correctly applied the sub-tasks of the skill rating criteria of "Ability to Adjust Contact Breakers" were identified in Table 5.

According to the 13 sub-assessment criteria in Table 5 above, in terms of the "Ability to Adjust Contact Breakers" application skill, the correctness percentage was determined as 76%. The participants correctly applied the sub-tasks of the skill rating criteria of "Ability to charge auxiliary battery" as in Table 6.

Table 3. Ability to know the factors affecting the performance of the electric vehicle

N	Practice name	NPPC	CPP
1	Preliminary training in securing an electric vehicle and intervening in all parts of the vehicle	14	1.00
2	Maintenance of mechanical parts	12	0.86
3	Checking the multimedia system and checking that its integration is working properly	10	0.71
4	Checking the climatic conditions of the driving environment	12	0.86
5	Checking the driving road conditions	13	0.93
6	Checking the driving road conditions	14	1.00
7	Driver's driving style	10	0.71
8	Checking the topography of the driving environment	10	0.71
Average application skill rate			0.85

NPPC= number of persons who practice correctly, CPP= correct practice percentage.

Table 4. Ability to recognize and maintain the regenerative braking system

N	Practice name	NPPC	CPP
1	Knowing and maintaining the regenerative braking system in addition to hydraulic braking	11	0.79
2	Checking the braking force distribution between the separated pedal braking system computer, electric motor, and hydraulic braking. Checking the maximum amount of energy recovered.	10	0.71
3	Checking whether the auxiliary battery is periodically replaced according to the electric vehicle maintenance schedule	13	0.93
4	Getting to know the electric brake system and hydraulic brake system	10	0.71
5	Checking whether the dedicated pedal braking system, which analyzes the driver's needs, simulates the classic brake pedal feel, replenishes the braking pressure, manages and distributes the braking between the electric motor and the hydraulic receiving cylinders, is performing these tasks	10	0.71
6	Checking the vehicle stability, the limits of the powertrain, additional safety mechanisms such as ABS, ESC, and the distribution of resistive torque based on comfort mechanisms controlled by the dedicated braking computer	9	0.64
7	Checking whether the computer is optimizing the braking distribution using the driving parameters and the traction battery level	8	0.57
8	According to the state of charge of the traction battery; checking whether it operates electric braking or hydraulic braking mechanisms.	8	0.57
9	Controlling the intelligent braking mechanism of the separated pedal braking system.	8	0.57
Average application skill rate			0.69

NPPC= number of persons who practice correctly, CPP= correct practice percentage.

Table 5. Ability to adjust contact breakers

N	Practice name	NPPC	CPP
1	Putting the vehicle in neutral	14	1,00
2	Finding the distributor and opening the cap of the contact breaker	10	0.71
3	Unclip the fasteners and carefully place the cap in position next to the dispenser	10	0.71
4	Removal of the rotor, noting its position and method of insertion	10	0.71
5	Carefully turning the motor by hand with the help of the motor pulley until the dots are at the widest opening	10	0.71
7	Examination of contact breaking points in terms of wear conditions	10	0.71
8	Checking the condition of the mechanical advance and retard weights by removing the distributor base plate. Checking whether the weights move freely and the holding springs are in place and intact	10	0.71
9	Checking vacuum advancing and retarding units	10	0.71
10	Locating contact breaker points, installing and replacing the setscrew	10	0.71
11	Use of the appropriate gauge to check the general condition of the dispenser	10	0.71
12	Restarting the system	10	0.71
13	Putting the vehicle in neutral	14	1.00
Average application skill rate			0.76

NPPC= number of persons who practice correctly, CPP= correct practice percentage.

Table 6. Ability to charge the auxiliary battery

N	Practice name	NPPC	CPP
1	Cleaning the battery box and terminals	14	1.00
2	Opening the ventilation flaps	14	1.00
3	Checking electrolyte levels and adding enough distilled water	10	0.71
4	Determination of charge rate and time	13	0.93
5	Make sure the charge timer and the main switch are off	13	0.93
6	Connecting the negative charge cable to the negative terminal and the positive charge cable to the positive terminal	13	0.93
7	Plugging the charger's power cord into a power outlet	14	1.00
8	Adjusting the charger voltage switch to the appropriate battery voltage and then delivering energy to the battery	10	0.71
9	Adjusting the charging time of the battery with the timer	11	0.79
10	Current control to obtain the appropriate charge rate	11	0.79
11	Turning off the charger to test the battery	10	0.71
12	Checking that the battery is sufficiently charged and reconnecting to the vehicle	10	0.71
13	Checking if the vehicle is working properly	13	0.93
Average application skill rate			0.86

NPPC= number of persons who practice correctly, CPP= correct practice percentage.

In Table 6 above, in terms of the "Ability to charge auxiliary battery" application skill, the percentage of correctness was determined as 86% according to 13 sub-evaluation criteria. The participants correctly applied the sub-tasks of the skill rating criteria of "Ability to battery maintenance and leak testing" as shown in Table 7.

In Table 7 above, in terms of applying "Battery maintenance and leak test skills", the percentage of correctness was determined as 80% according to 7 sub-assessments. The participants who correctly applied the sub-tasks of the skill rating criteria of "Ability to fault check and replace bulbs" are in Table 8.

According to the 9 sub-assessment criteria in Table 8, "Ability to fault check and replace bulbs" application skill, the correctness percentage was determined as 85%. The participants who correctly applied the sub-tasks of the skill rating criteria of "Ability to control the cooling unit" were identified in Table 9.

In Table 9 above, in terms of the "Ability to control the cooling unit" application skill, the percentage of correctness was determined as 70% according to 10 sub-assessment criteria. The participants who correctly applied the sub-tasks of "Ability to traction battery maintenance" skill rating criteria were identified in Table 10.

According to the 25 sub-assessment criteria in Table 10, "Ability to traction battery maintenance" application skill above, the correctness percentage was determined as 78%. The participants correctly applied the sub-tasks of the skill rating criteria of "Ability to control in-car comfort accessories" as in Table 11.

According to the 8 sub-assessment criteria in Table 11 above, in terms of the "Ability to control in-car comfort accessories" application skill, the accuracy rate was determined as 87%.

Table 7. Ability to battery maintenance and leak testing

N	Practice name	NPPC	CPP
1	Getting a voltmeter	13	0.93
2	Disconnecting the negative battery cable before the positive cable	13	0.93
3	Connecting the negative voltmeter wire to the battery terminal	9	0.64
4	Placing and touching the positive voltmeter wire at various points on the top and side of the battery	11	0.79
5	Reading and confirming the voltage on the voltmeter	10	0.71
6	Clean the battery and battery cable with cleaner	9	0.64
7	Disconnecting the negative battery cable	13	0.93
Average application skill rate			0.80

NPPC= number of persons who practice correctly, CPP= correct practice percentage.

Table 8. Ability to fault check and replace bulbs

N	Practice name	NPPC	CPP
1	Disconnecting the electrical connections on the back of the bulb by pinching to release the connector	10	0.71
2	Removing the protective rubber cap	13	0.93
3	Removing the bulb by freeing it from the clip holding it in place	10	0.71
5	Correct installation of the new bulb	12	0.86
6	Attaching the bulb to the sockets of the energy cables	12	0.86
7	Checking the protective cap, replacing it with a new one if necessary	13	0.93
8	Energizing the bulb to test	13	0.93
Average application skill rate (%)			0.85

NPPC= number of persons who practice correctly, CPP= correct practice percentage.

Table 9. Ability to control the cooling unit

N	Practice name	NPPC	CPP
1	Checking the coolant flow	14	1.00
2	Knowing and controlling the functions of the coolant pump at temperatures below 50 °C and above 50 °C	8	0.57
3	Knowing the temperature limit values of the components when the coolant flow rate reaches its maximum	8	0.57
4	Knowing the speed limits of the cooling unit depending on the vehicle's characteristics	8	0.57
5	Knowing and controlling the functions of the relays and the resistor unit in the refrigeration unit	8	0.57
6	Controlling the cooling pump, which is controlled by the EVC computer and works while driving	9	0.64
7	Checking the cooling level of the motor transmission group	9	0.64
8	Checking the fan group operation and activation temperature	10	0.71
9	Checking if the coolant is passing through the charge pump	11	0.79
10	Controlling the activation of the fan while driving, depending on various factors (such as vehicle speed, temperature rise, motor temperature, outside temperature, motor operating conditions, and current level)	13	0.93
Average application skill rate			0.70

NPPC= number of persons who practice correctly, CPP= correct practice percentage.

Table 10. Ability to traction battery maintenance

N	Practice name	NPPC	CPP
1	Before all operations on the traction battery, the vehicle must be safely stopped, and the ignition switched off	14	1.00
2	Knowing the meanings of the electric vehicle dashboard	10	0.71
3	Locking each power cable with a high voltage interlock suitable for electrical disconnection	9	0.64
4	Controlling the ambient temperature (such as interior and exterior temperature, motor temperature, pressure sensors, motor cooling fan zone, instrument panel, multimedia system sensors, valves, and gauges)	10	0.71
5	Recognition of socket types, power supply of sockets, knowing the highest current and highest voltage values	9	0.64
6	Knowing the charging times of the battery according to the socket modes	9	0.64
7	Charging and checking the battery in domestic socket mode	13	0.93
8	Charging the battery in socket mode on the special terminal with the mobile cable or the cable integrated into the terminal	10	0.71
9	Charging the battery in DC station mode with the cable integrated into the terminal	12	0.86
10	Knowing the meanings of the warning signs and rectifying the resulting faults to check whether they are working properly while the vehicle is being started	11	0.79
11	Checking whether the safety relays in the EVC computer are activated when the charging cable is connected to the electrical socket	10	0.71
12	Checking whether the voltage from the charger is charged to the battery module via the positive and negative poles	11	0.79
13	Detection of whether the charging process of each module is controlled by the battery computer	10	0.71
14	Knowing the measurement of high voltage and leakages with	10	0.71
15	Performing all tests with "VOLTAGE-FREE" power disconnected	9	0.64
16	Making sure that the electrical load of the circuit is discharged and checking it with a voltmeter	10	0.71
17	DC voltages can be high, so limit personnel access and use personal protective equipment	9	0.64
18	Ensuring that the electrical load of the circuit is discharged by applying appropriate procedures (such as short circuit or earthing)	9	0.64
19	Disconnecting the negative battery cable from the positive cable before	13	0.93
20	Connecting the negative voltmeter wire to the battery terminal	13	0.93
21	Placing the positive voltmeter cable at various points on the top and side of the battery and checking the energy	12	0.86
22	Checking and confirming the voltage value on the voltmeter	14	1.00
23	If an incorrect value is read, clean the battery, battery cable ends, and battery connections with cleaner, baking soda, or water	13	0.93
24	Supplying electricity to the power cables by unlocking the high voltage of the charging battery	9	0.64
25	Checking whether the vehicle motor is running	13	0.93
Average application skill rate			0.78

NPPC= number of persons who practice correctly, CPP= correct practice percentage.

Table 11. Ability to control in-car comfort accessories

N	Practice name	NPPC	CPP
1	Controlling warning and lighting systems	13	0.93
2	Knowing and checking the meaning of the signs on the instrument panel	13	0.93
3	Checking the alignment of the car steering wheel and mirrors	13	0.93
4	Checking the airbag systems	12	0.86
5	Checking air conditioner systems	11	0.79
6	Controlling sound and broadcast systems	11	0.79
7	Controlling drive and mechanical systems	12	0.86
8	Checking window, door, and hood systems	12	0.86
Average application skill rate			0.87

NPPC= number of persons who practice correctly, CPP= correct practice percentage.

3. Results and Discussion

In parallel with the rapid increase in electric vehicles in the world, the need for professionals who can design, malfunction, diagnose, maintain, repair and sell in this field also increases. Maintenance of electric vehicles is very practical and less than that of internal combustion engine vehicles. For example, there are no extra tasks in electric vehicles such as maintenance and repair of spark plugs, exhaust lines, and carburetors in internal combustion engines. However, for the vehicle to be used safely for a long time, its maintenance must be done on time and by expert personnel. In the field of electric vehicles, especially traction batteries, electro-mechanical transmissions and the technologies of the elements connected to them are new, so they differ from traditional vehicle maintenance. In addition, it is necessary to be careful as there is high voltage electrical energy in the vehicle. Practice skills tests were carried out to ensure that the professional personnel who will respond to the expectations of the customers quickly take charge in the field. The skill performance averages of these tests are presented in Table 12. According to the test results, the performance of "compliance with the

adjust contact breakers" was the highest with a value of 92%. The lowest skill performance was obtained in the application skills "battery maintenance and leak testing" with a value of 69%. Students' general practice ability was accepted as a good level with a grade 82%.

EV specialist: It is the technical staff who can successfully perform the above-mentioned application skills and sub-tasks specific to the vehicle. It was thought that the good result of the application skill assessment with a value of 85% was due to the fact that the majority of students had previously received education in the field of vocational and technical education and areas similar to EV education. In addition, it was observed during their theoretical education that the general tendencies of the individuals were prone to practical skills. In light of the data obtained, during the vehicle maintenance process of the students who were trained, it can be accepted that they are capable of performing the external inspection of the warning, lighting, brake, cooling, lighting, comfort, traction battery, auxiliary battery, accessory and driving kit systems for malfunction, diagnosis, maintenance, and repair.

Table 12. The rate of students' general practice ability

N	Practice name	Average practice skill rate
1	Ability to conform to the general characteristics of individuals who will be electric vehicle breakdown, diagnosis, maintenance, and repair specialists	0.91
2	Ability to know the factors affecting the performance of the electric vehicle	0.85
3	Ability to recognize and maintain the regenerative braking system	0.69
4	Ability to Adjust contact breakers	0.76
5	Ability to charge an auxiliary battery	0.86
6	Ability to battery maintenance and leak testing	0.80
7	Ability to fault check and replace bulbs	0.85
8	Ability to control the cooling unit	0.70
9	Ability to traction battery maintenance	0.75
10	Ability to control in-car comfort accessories	0.87
The rate of students' general practice ability		0.81

4. Conclusions

The electric vehicle industry is growing rapidly due to many issues such as energy scarcity, environmental problems and high costs. The aim of this study is to evaluate the practical application skills of individuals regarding electric vehicles in Karaman/Türkiye. The primary goal was to prepare and equip qualified personnel for the future of electric vehicles, recognizing their importance as an important technology in the coming years. In the tests conducted according to 10 application skill criteria and 112 sub-task definitions, it was determined that 81% of the individuals had the characteristics of an EV technical staff with good general application skills. In the upcoming period, it has been revealed that sufficient vocational and technical training is provided to meet the personnel demand that will occur in the field in parallel with the spread of EVs.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is presented below. The author reviewed and approved the final version of the manuscript.

	B.G.
C	100
D	100
L	100
W	100
CR	100
SR	100
PM	100
FA	100

C=Concept, D= design, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

Ethical Consideration

Ethics committee approval was not required for this study because of there was no study on animals or humans.

References

- Ajanovic A, Haas R. 2016. Dissemination of electric vehicles in urban areas: Major factors for success. *Energy*, 115: 1451-1458.
- Alkan C, Doğan H, Sezgin İ. 2001. Mesleki ve teknik eğitimin esasları. Nobel Yayınları, Ankara, Türkiye, ss: 256.
- Alves J, Baptist, PC, Gonçalves GA, Duarte GO. 2016. Indirect methodologies to estimate energy use in vehicles: Application to battery electric vehicles. *Energy Conver Manage*, 124: 116-129.
- Beaudoin MA, Boulet B. 2022. Improving gearshift controllers for electric vehicles with reinforcement learning. *Mechan Machine Theory*, 169: 104654.
- Dangote A. 2013. Dangote advocates technical education for industrial growth. URL: <https://thewillnews.com/dangote-advocates-technical-education-for-industrial-growth/> (accessed date: February 24, 2023).
- Dhameja S. 2001. Electric vehicle battery systems. Elsevier, Heinemann, USA, 1th ed., pp: 240.
- Eison J., 2010. Using active learning instructional strategies to create excitement and enhance learning. *Active Learn Books*, 2(1): 1-10.
- Güney B, Aladağ A. 2021. Dizel yakıtlı taşıtlardan salınan partikül maddelerin mikroyapı ve kimyasal karakterizasyonu. *El-Cezeri*, 8(1): 287-298.
- Güney B, Aladağ A. 2022. Microstructural analysis of liquefied petroleum gas vehicle emissions, one of the anthropogenic environmental pollutants. *Inter J Environ Sci Technol*, 19(1): 249-260.
- Güney B, Aladağ A. 2020. Microstructural characterization of particulate matter from gasoline-fuelled vehicle emissions. *J Engin Res Rep*, 16 (1): 29-39.
- Güney B, Kılıç H. 2020. Research on Regenerative Braking Systems: A Review. *Inter J Sci Res*, 9(9): 160-166.
- Güney B, Küçüksarıyıldız H. 2019. Taşıt emisyonlarının mikroyapı analizi. *Afyon Kocatepe Üniv Fen Mühen Bilim Derg*, 19(3): 884-893.
- Güney B, Öz A. 2020a. Microstructure and chemical analysis of NOx and particle emissions of diesel engines. *Inter J Auto Engin Technol*, 9(2): 105-112.
- Güney B, Öz A. 2020b. Microstructure and chemical analysis of vehicle brake wear particle emissions. *Avrupa Bilim Teknol Derg*, 19: 633-642.
- Hager P, Gonczi A, Athanasou J. 1994. General issues about assessment of competence. *Asses Evaluat Higher Edu*, 19(1): 3-16.
- Hamurcu M, Çakır E, Tamer E. 2021. Kullanıcı perspektifli çok kriterli karar verme ile elektrikli araçlarda batarya seçimi. *Inter J Engin Res Develop*, 13(2): 733-749.
- He H, Han M, Liu W, Cao J, Shi M, Zhou N. 2022. MPC-based longitudinal control strategy considering energy consumption for a dual-motor electric vehicle. *Energy*, 253: 124004.
- Igaru LM. 2023. Enhancing student practical skills in carpentry and joinery at national instructors college Abilonino in Kole district, Uganda. PhD thesis, Kyambogo University. Kampala, Uganda, pp: 95
- Jouda B, Al-Mahasneh AJ, Mallouh MA. 2024. Deep stochastic reinforcement learning-based energy management strategy for fuel cell hybrid electric vehicles. *Energy Conver Manage*, 301: 117973.
- Kalkan O, Colak AB, Celen A, Bakirci K, Dalkilic AS. 2022. Prediction of experimental thermal performance of new designed cold plate for electric vehicles' Li-ion pouch-type battery with artificial neural network. *J Energy Storage*, 48: 103981.
- Kong ZY, Sánchez-Ramírez E, Sim JY, Sunarso J, Segovia-Hernández JG. 2024. The importance of process intensification in undergraduate chemical engineering education. *Digital Chem Engin*, 11: 100152.
- Lv C, Zhang J, Li, Y, Yuan Y. 2015. Novel control algorithm of braking energy regeneration system for an electric vehicle during safety-critical driving maneuvers. *Energy Conver Manage*, 106: 520-529.
- Lv M, Chen Z, Yang Y, Bi J. 2017. Regenerative braking control strategy for a hybrid electric vehicle with rear axle electric drive. *Chinese Automation Congress (CAC) IEEE*, October 20-22, Jinan, China pp: 521-525.
- Malozyomov BV, Martyushev NV, Kukartsev VV, Konyukhov VY, Oparina TA, Sevryugina NS, Gozbenko VE, Kondratiev VV. 2024. Determination of the performance characteristics of a traction battery in an electric vehicle. *World Elect Vehicle J*, 15(2): 64.
- Moses D, Medugu JD, Mohammed A, Wafudu JS. 2017. Development and validation of an instrument for assessing practical skills in domestic installation processes in technical colleges of Yobe State, Nigeria. *Inter J Res Engin Soc Sci*, 7(7): 17-23.
- Okwelle PC, Okeke B. 2012. Development and validation of instrument for assessing practical skills in fault diagnoses and repairs of radio and television systems in Nigerian technical colleges. *American J Sci Indust Res*, 3(3): 181-190.
- Özkan UB. 2021. 21. yüzyılın eğitim anlayışıyla mesleki ve teknik eğitimin esasları. *Pegem Akademi*, Ankara, Türkiye, ss: 205.
- Peng D, Zhang Y, Yin CL, Zhang JW. 2008. Combined control of a regenerative braking and antilock braking system for hybrid electric vehicles. *Inter J Auto Technol*, 9(6): 749-757.
- Setiawan JD, Budiman BA, Haryanto I, Munadi M, Ariyanto M, Hidayat M. 2019. The Effect of Vehicle Inertia on Regenerative Braking Systems of Pure Electric Vehicles. In 2019 6th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT) IEEE, 179-188. November 18-21, Bali, Indonesia, pp: 179-188.
- Shang H, Sun Y, Huang D, Meng F. 2024. Life cycle assessment of atmospheric environmental impact on the large-scale promotion of electric vehicles in China. *Resour Environ Sustain*, 15: 100148.
- Zenk O, Ertuğral B. 2021. Electric vehicle battery charging system design with dual flyback type converter. *Inter J Engin Inform*, 5(12): 12-20.



FAST RESPONSE UV PHOTODETECTOR BASED ON ALIGNED ARRAYS OF ANATASE TiO₂ NANOTUBES

Khaled M. N. CHAHROUR^{1*}


¹Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 78050, Karabük, Türkiye

Abstract: Aligned arrays of anatase TiO₂ nanotubes on a Ti sheet were created by a dual-step electrochemical anodizing treatment and extended calcination step at 400 °C under an ambient atmosphere, as shown in FESEM images. A diffuse reflectance approach was adopted to measure the energy bandgap is 3.42 eV. The nanotubular pattern is utilized to assemble a fast-response UV photodetector as recognized by Metal-Semiconductor-Metal assembly. The photodetector exhibited excellent UV sensitivity, attributed to the anatase phase of the TiO₂ nanotube arrays. The photodetection testing confirmed adept detection of UV photon illumination with excellent stability and repeatability. The UV photodetection performance exhibited a current gain value of 6, a response time (T_{on}) of 0.98, 0.97, and 0.92 seconds, and a recovery time (T_{off}) of 0.97, 0.95, and 0.94 seconds at a biased potential of 3, 4, and 5 V, respectively. The findings of this research corroborate the promising nature of the UV photodetector fabricated utilizing anatase nanotube arrays, exhibiting its immense potential for applications in the UV spectrum.

Keywords: Anatase-1, Anodizing treatment-2, TiO₂ nanotubes-3, UV photodetector-4

*Corresponding author: Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 78050, Karabük, Türkiye

E mail: khaledchahrou@karabuk.edu.tr (K. M. N. CHAHROUR)

Khaled M. N. CHAHROUR  <https://orcid.org/0000-0002-8799-3468>

Received: April 17, 2024

Accepted: July 06, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Chahrou KMN. 2024. Fast response UV photodetector based on aligned arrays of anatase TiO₂ nanotubes. BSEng Sci, 7(4): 736-742.

1. Introduction

Various features of nanomaterials have garnered significant attention in nano-optoelectronic devices due to their unique electronic properties (Khudiar et al., 2022; Ibrahim et al., 2023). Aligned arrays of anatase TiO₂ nanotube arrays (ATNT) synthesized by electrochemical anodizing treatment of Ti sheet and followed by calcination at high temperatures which has been frequently scrutinized over the past decade, exhibition prominent potential uses in nano-optoelectronics devices (Chahrou, et al., 2019; Ikreedeeh et al., 2024). As compared to crystalline thin film and randomly oriented nanostructures, the ATNT features are assumed to maintain unidirectional charge carriers inside the nanotubes that thrust further charge carriers driven which is crucial for the nano-optoelectronics device's performance. Numerous recent studies have highlighted that the transport speed of charge carriers within nanotubes is slower compared to other nanostructured films attributed to the presence of exciton-like traps that hinder the charge carriers' mobility and cause reducing of the efficiency of ATNT-based nano-optoelectronics devices (Richter and Schmuttenmaer, 2010).

The exciton-like traps in ATNT architecture could be lowered by calcination at high temperatures in an oxygen environment, which pushes for a decrease in oxygen

vacancies. In addition, the ATNT architecture's main impact is the photo-activity, which is only sustained around 400°C. Subsequently, this temperature value represents a transformation from amorphous to anatase phase and the fulfilment of orientation and arrangement might be preserved. Maintaining the nanotubular configuration at a temperature of 400°C with decreased exciton-like traps continues to be a challenge for attaining competent photoactivity of the TiO₂ nanotubular based nano-optoelectronic designs (Rao and Roy, 2014). Moreover, the large surface area, well-defined charge carrier transport channels, and selective UV absorption properties of ATNT architecture effectively enable UV band detection (Zhang et al., 2016). Numerous TiO₂ nanostructures dependent on UV photodetection experiments have been described (Zou et al., 2010; Zheng et al., 2017; Chahrou et al., 2020a; Li et al., 2022). Few experiments have been performed to exploit UV photodetection devices built on the anatase TiO₂ nanotube arrays matching to metal-semiconductor-metal. Anatase TiO₂ nanotube arrays, with their distinctive morphological characteristics, could potentially be considered an optimal substitute for ultraviolet photodetection (Yu et al., 2018).

In this study, a simple calcination method was employed in Laboratory atmosphere conditions to fabricate a mono-phase anatase TiO₂ nanotube array on a Ti



substrate, enabling the creation of a UV photodetector. The UV photocurrent properties were meticulously examined and demonstrated that the photodetector exhibited excellent gain, rapid response, consistent repeatability, and substantial stability in photodetection over the UV band.

2. Materials and Methods

A dual-step electrochemical anodizing treatment has been experimented with convenient controllable parameters in the ethanol glycol to grow aligned arrays of anodic TiO₂ nanotubes film. This electrochemical anodizing treatment was depicted in detail in earlier published research (Chahrour et al., 2019; Chahrour et al., 2020b; Chahrour et al., 2020c). Amorphous TiO₂ nanotubes film was calcined at 400°C under ambient conditions in a tube furnace for 3 hours to transform them into anatase TiO₂ nanotube arrays. The single-phase anatase nanotube arrays were amenable for constructing a metal-semiconductor-metal UV photodetector. Nickel element was chosen as the Schottky metal contacts with a thickness of 200 nm were deposited over anatase TiO₂ nanotube arrays film via radio frequency (RF) sputtering (Edwards A500, UK) at a base pressure of 1.5×10^{-5} mbar at room temperature onto a metallic mask, following the design of two-terminal electrodes with four fingers on each terminal. The current-voltage (I-V) distinctive characteristic and

photo-current response time for the assembled apparatus were assessed at altered bias potentials (3, 4, and 5 V) and under UV photon illumination (365 nm, 1.5 mW/cm²) by applying Keithley source meter (model No. 2400) at research laboratory atmosphere.

The ATNT films were shown by FESEM (Nova NanoSem model-450). Crystalline structures were realized through High-Resolution XRD (PANalytical X'pert PRO MRD PW3040) with a CuK- α source of 0.154 nm wavelength. Diffuse reflectance spectrum was acquired from 200 to 800 nm via applying a UV-VIS-NIR spectrophotometer (Agilent Cary model-5000).

3. Results and Discussion

Figure 1 exhibitions FESEM overview images for summarizing the microstructural procedure of manufactured nanoporous TiO₂ nanotubes: (i) irregular nanoporous TiO₂ nanotubes film manufacture during the first-step anodizing process on the Ti sheet, (ii) the well-organized bottom view of the irregular nanoporous TiO₂ film, (iii) formation of a regular domain of indentations on Ti sheet after denudation of nanoporous TiO₂ film, and (iv) highly-organized hexagonal nanoporous TiO₂ nanotubes film after the second-step of anodizing treatment. The nanopores have grown promisingly on the indentations of the Ti sheet, which caused the creation of admirable ordered hexagonal nanoporous structures of amorphous TiO₂ nanotubes film.

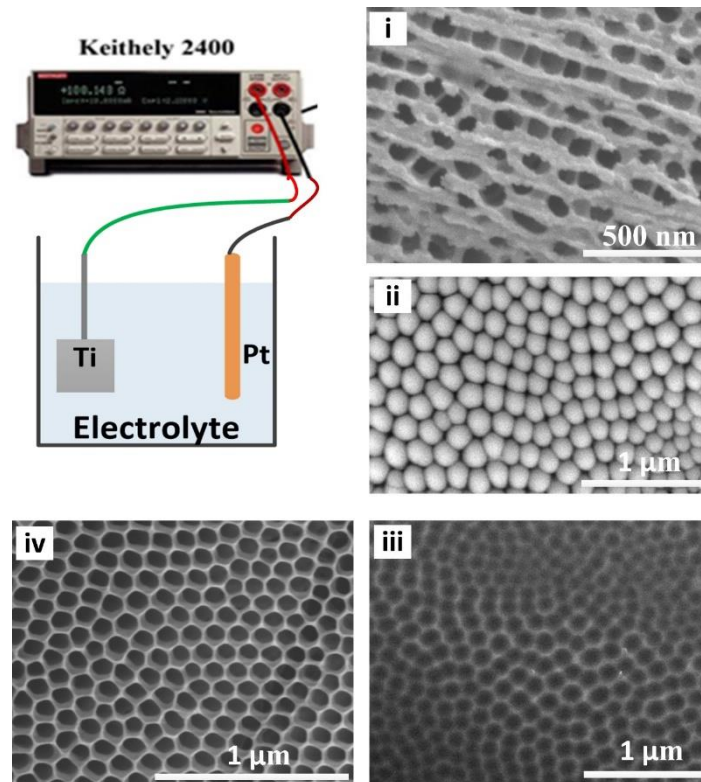


Figure 1. presents FE-SEM overview images for summarizing the microstructural procedure of manufactured admirable ordered hexagonal nanoporous anodic TiO₂ nanotubes. (i) irregular nanoporous TiO₂ nanotubes film during the first-step anodization, (ii) the well-organized bottom view of the irregular nanoporous TiO₂ film, (iii) formation of a regular domain of indentations on Ti sheet after denudation of nanoporous TiO₂ film, and (iv) highly-organized hexagonal nanoporous TiO₂ nanotubes film after the second-step of anodization.

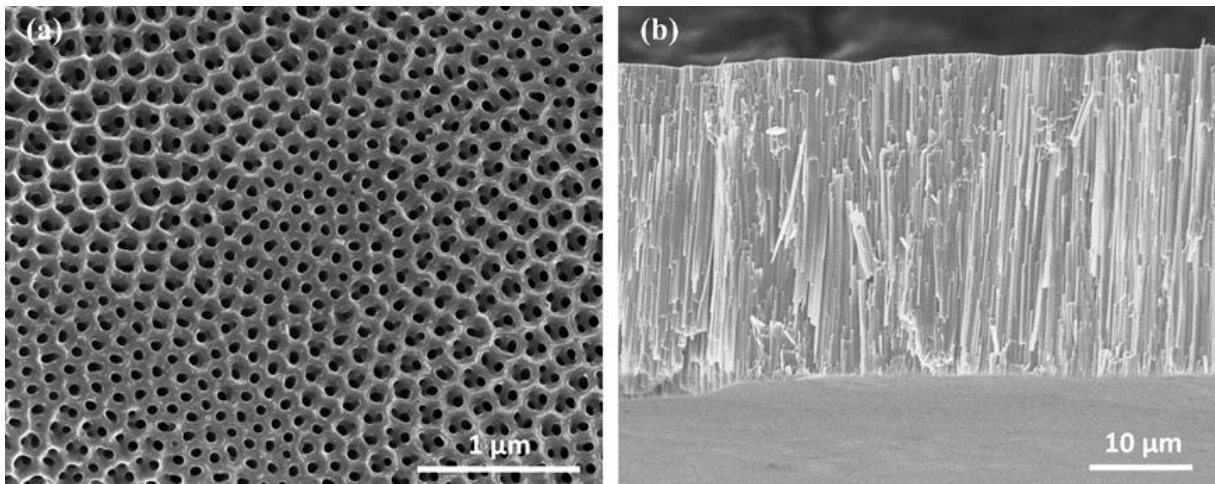


Figure 2. (a) FESEM prototypes expose the overhead view and (b) the lateral view of calcined anodic TiO₂ nanotube arrays film at 400°C, respectively.

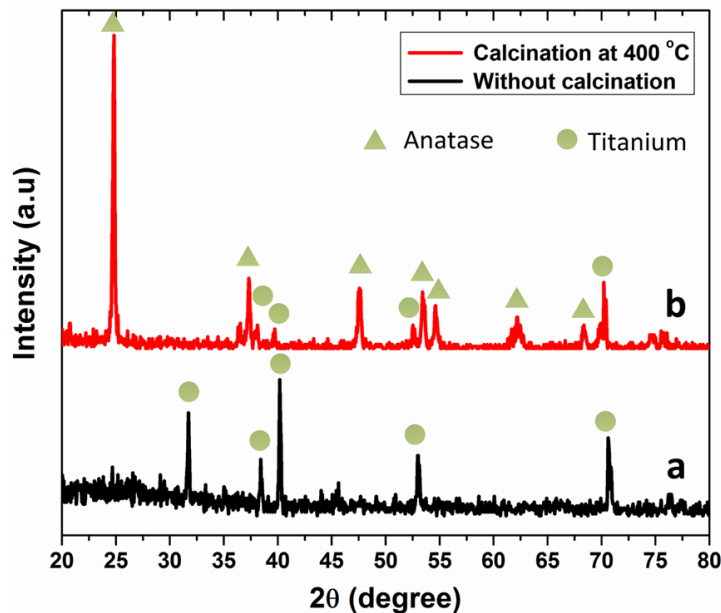


Figure 3. XRD distribution of anodic TiO₂ nanotube arrays film (a) without calcination (b) with calcination at 400°C.

Figure 2(a) depicts an overhead FESEM image view of the ATNT film extended calcination process at 400°C, revealing a hexagonal highly structured honeycomb-like web assembly with an average pore diameter exceeding 90 nm. Figure 2 (b) denotes the FESEM image lateral view for the ATNT film, where the tubular walls appear to be planner and flat. It is quite apparent that the tubular morphology of the calcined sample has significant characteristics. When the nanotubes were focused on, the swelled edges of honeycomb-web designed nanotubes can be observed, and the tubular assemblies were sustained at such a high-temperature calcination process.

Figure 3(a) presents the x-ray diffraction distribution of the amorphous ATNT film without calcination as a pristine sample, where no peaks of the anatase phase were observed only exhibiting five distinct peaks that can be attributed to the underlying Titanium substrate: (100), (002), (101), (102), and (103) at 31.62°, 38.37°,

40.18°, 52.93°, and 70.6°, respectively. Figure 3 (b) presents the x-ray diffraction distribution for ATNT film calcined at 400°C. Correspondingly, four record standard peaks can be credited to Titanium as well: (002), (101), (102), and (103) at 38.37°, 40.18°, 52.93°, and 70.6°, respectively. The anatase standard peaks showed at 25.1°, 37.5°, 47.6°, 53.8°, 55°, 62.21° and 68.6° were distinctly knowing over the crystalline patterns (101), (112), (200), (105), (211), (204) and (116). However, some peaks due to the anatase phase partly coincided with the crystalline phase of Titanium (Chahrour et al., 2023).

A diffuse reflectance approach was adopted to measure the energy bandgap of the TiO₂ nanotubes. The experiment was accomplished in a wide spectral range from 200 nm to 800 nm, as depicted in Figure 4 (a). The Kubelka-Munk relationship $F(R)$ was implemented to compute the energy bandgap, which is represented by Equation (1) (Aper et al., 2021).

$$F(R) = \frac{(1 - R)^2}{2R} \quad (1)$$

Figure 4 (b) exhibits $(F(R) hv)^{1/2}$ as a function of the bandgap (hv) plot. The indirect energy band gap (E_g) of anatase TiO_2 nanotube arrays could be computed by assuming a direct portion of the $(F(R)hv)^{1/2}$ to pass across the bandgap (hv) axis. The bandgap was estimated at 3.42 eV for AATNTs film. This quantity is comparable with the earlier studies (Jubu et al., 2022; Jubu et al., 2023). Additionally, this established value of the energy bandgap enables significant UV light absorption to generate excited pairs of electron-hole combinations.

Figure 5(a) presents a diagram of the apparatus employed to assess the current-voltage ($I-V$) behaviors and photo-response in both dark and UV irradiation. Figure 5(b) demonstrates the distinctive current-voltage ($I-V$) behaviors observed when the apparatus is

darkened and illuminated with 365 nm light at 1.5 mW/cm^2 , characterized by a proportional relationship and nonlinear curve behavior. This direct observation strongly substantiates the formation of a Schottky potential barrier between the Ni metal probes and the TiO_2 nanotubes. Moreover, the Fermi energy of Ni metal contacts becomes lower than the Fermi energy in the TiO_2 nanotubes, which reduces the potential barrier region across it (Gong et al., 2017; Rosli et al., 2020). The photocurrent process mainly involves generating electron-hole pairs using focused UV radiation with a wavelength of 365 nm, then brought together in the Schottky barrier region between TiO_2 nanotubes and Ni metal contacts, where applied bias potential triggers the separation of electron-hole pairs, in which photoelectrons are diffused in the Ni metal probes (Abdalrheem et al., 2019) as illustrated in Figure 5 (c).

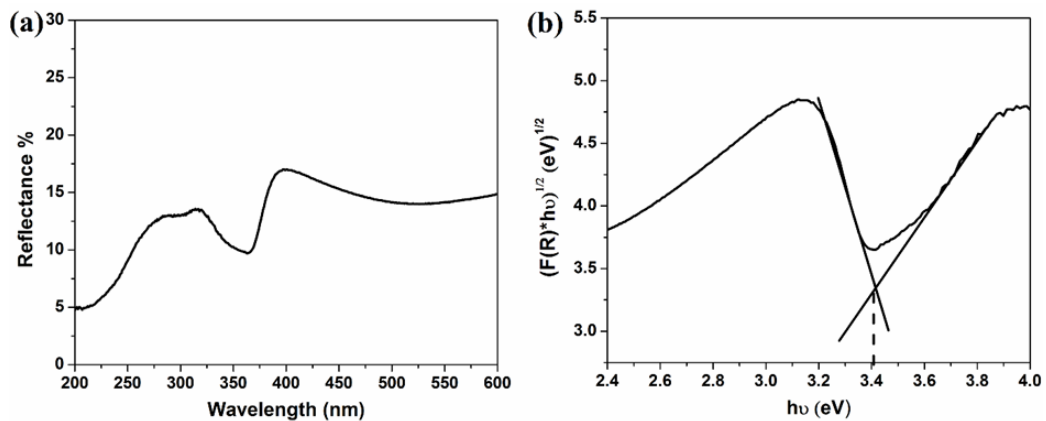


Figure 4. (a) Diffuse reflectance spectrum and (b) Tauc plot of the $(F(R) hv)^{1/2}$ vs hv of anodic anatase TiO_2 nanotube arrays film calcined at $400^\circ C$.

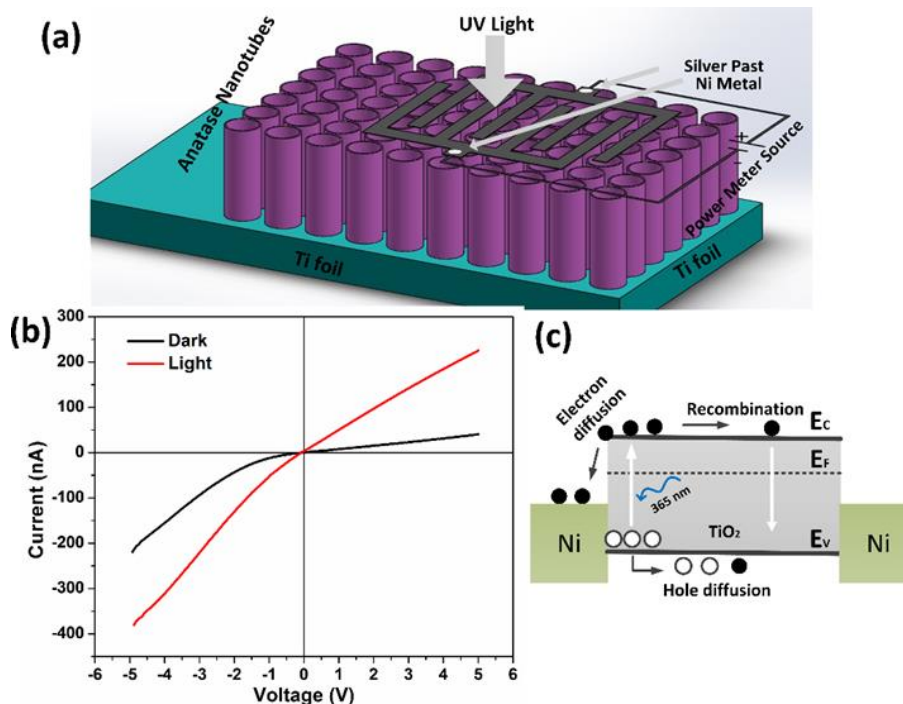


Figure 5. (a) Diagram of the UV photodetector apparatus. (b) The current-voltage ($I-V$) behaviors of the photodetector apparatus in both dark and light UV luminescence. (c) Schematic-diagram for the creation process of electron-hole pairs for Ni- TiO_2 nanotubes-Ni photodetector under UV luminescence.

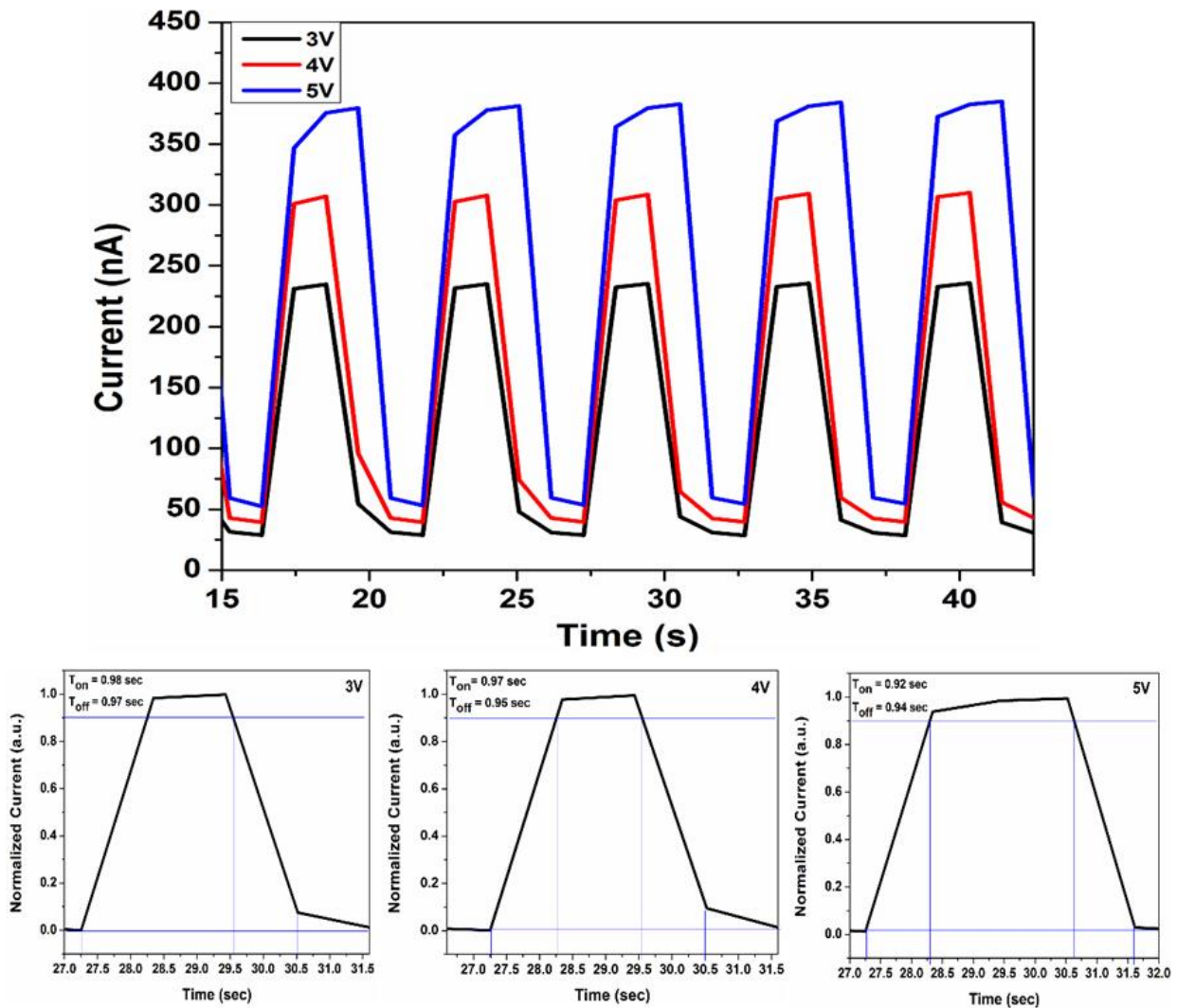


Figure 6. Photo-response curves of the photodetector apparatus at bias potentials 3, 4, and 5 V, respectively. Normalized current-time behaviors indicate the response and recovery times at 3, 4, and 5 V, respectively.

Photocurrent gain (g) is a valuable factor that is employed to evaluate the photodetector performance, which can be formulated by Equation (2) (AlShammari et al., 2021).

$$g = \frac{I_{light}}{I_{dark}} \quad (2)$$

I_{light} is the light current, I_{dark} is the dark current. The quantitative gain of the photodetector apparatus amounted from Figure 5 (b) to nearly 6 at the bias potential of 5 V. The remarkable increase in photocurrent generation appears from the enhanced surface per volume ratio and superior crystalline nature of TiO₂ nanotubes. The larger surface area of the nanotube arrays accommodates more UV photon absorption, effectively accumulating more light energy and boosting the photocurrent output. Additionally, the exceptional crystalline structure of the nanotubes minimizes the formation of trapping sites or vacancies that can impair charge carriers, significantly enhancing the photo-response and overall efficiency of the system (Chahrour et al., 2016).

Figure 6 displays the current-time curves obtained at 3,

4, and 5 V bias potentials when the UV photon illumination of 365 nm was turned on and off repeatedly. The peak current remains consistent for multiple cycles across all applied bias potentials, highlighting the exceptional repeatability and stability of the device. Additionally, the near-instantaneous rise and fall responses with minimum exponential in the photocurrent pulses signify that the photocurrent originates from direct inter-band electron transitions. Moreover, the increase in photocurrent with increasing bias potential indicates an enhancement in charge carrier drift velocity due to a short in charge carrier diffusion time. To assess the UV photodetector's performance, key parameters such as the response time (T_{on}) is defined as the duration it takes for the current to rise to 90% of its saturation value, and recovery time (T_{off}) is defined as the duration for current to drop from 90% of its saturation value were measured. As depicted in Figure 6, by extending the time duration for switching on and off the UV light source, it was observed that T_{on} values are 0.98, 0.97, and 0.92 seconds, respectively, and T_{off} values are 0.97, 0.95, and 0.94 seconds at bias potentials of 3, 4, and 5 V, respectively. This points out that the T_{on} and T_{off}

recorded in this research are moderately faster compared to previously reported (Wang et al., 2015; Ng et al., 2018).

4. Conclusion

In the final remarks, well-aligned arrays of TiO₂ nanotubes were produced on Ti sheets using a dual-step electrochemical anodization process, followed by calcination at 400°C under ambient conditions. The remarkable morphological properties of these aligned arrays of anatase nanotubes were utilized to create UV photodetector devices exhibiting superior photoresponse characteristics, remarkable repeatability, and exceptional stability over time. The outstanding implementation of these devices confirms that TiO₂ nanotube arrays with anatase phase uniformity hold strong potential in the domain of nano-optoelectronic devices.

Author Contributions

The percentage of the author contributions is presented below. The author reviewed and approved the final version of the manuscript.

	K.M.N.C.
C	100
D	100
S	100
DCP	100
DAI	100
L	100
W	100
CR	100
SR	100
PM	100
FA	100

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

Ethical Consideration

Ethics committee approval was not required for this study because of there was no study on animals or humans.

Acknowledgements

The corresponding author gratefully acknowledges the financial support provided by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Karabuk University under grant no. KBUBAP-22-ABP-151.

References

Abdalarheem R, Yam F, Ibrahim AR, Lim H, Beh K, Ahmed AA, Oglat AA, Chahrour KM, Farhat OF, Afzal N. 2019. Improvement in photodetection characteristics of

graphene/p-Silicon heterojunction photodetector by PMMA/graphene cladding layer. *J Electronic Mater*, 48: 4064-4072.

AlShammari A, Halim M, Yam F, Chahrour K, Raypah M, Kaus N. 2021. The effect of spray cycles on the morphological, structural, and optical properties of rGO thin film deposited using spray pyrolysis technique. *Mater Sci Semiconductor Proces*, 127: 105655.

Aper T, Yam F, Saw K, Beh KP, Chahrour KM. 2021. Atmospheric pressure chemical vapor deposition of indium oxide nanostructured films for photoelectrochemical application. *Results Physics*, 24: 104187.

Chahrour KM, Ahmed NM, Hashim M, Elfadill NG, Bououdina M. 2016. Self-assembly of aligned CuO nanorod arrays using nanoporous anodic alumina template by electrodeposition on Si substrate for IR photodetectors. *Sensors Actuators A: Physical*, 239: 209-219.

Chahrour KM, Ooi PC, Nazeer AA, Al-Hajji LA, Jubu PR, Dee CF, Ahmadipour M, Hamzah AA. 2023. CuO/Cu/rGO nanocomposite anodic titania nanotubes for boosted non-enzymatic glucose biosensors. *New J Chem*, 47(16): 7890-7902.

Chahrour KM, Yam F, Abdalrheem R. 2019. High-performance UV photodetector of anodic rutile TiO₂ nanotube arrays. *Mater Lett*, 248: 161-164.

Chahrour KM, Yam F, Eid A, Nazeer AA. 2020b. Enhanced photoelectrochemical properties of hierarchical black TiO₂-x nanolaces for Cr (VI) photocatalytic reduction. *Int J Hydrogen Energy*, 45(43): 22674-22690.

Chahrour KM, Yam F, Eid A. 2020a. Water-splitting properties of bi-phased TiO₂ nanotube arrays subjected to high-temperature annealing. *Ceramics Int*, 46(13): 21471-21481.

Chahrour KM, Yam F, Lim H, Abdalrheem R. 2020c. Synthesis of anodic TiO₂ nanotube arrays annealed at 700° C for UV photodetector. *J Physics: Conf Ser*, 1535: 012012.

Chahrour KM, Yam F, Samuel JJ, Abdalrheem R, Beh K, Lim H. 2019. Controlled synthesis of vertically aligned honeycomb TiO₂ nanotube arrays: effect of high-temperature annealing on physical properties. *Appl Physics A*, 125: 1-9.

Gong XX, Fei GT, Fu WB, Zhong BN, Gao XD, De Zhang L. 2017. Metal-semiconductor-metal infrared photodetector based on PbTe nanowires with fast response and recovery time. *Appl Surface Sci*, 404: 7-11.

Ibrahim MA, Verrelli E, Lai KT, Cheng F, O'Neill M. 2023. Effect of atmospheric conditions on ultraviolet photoconductivity of zinc oxide nanoparticles. *J Appl Sci Nanotechnol*, 3(1): 115-123.

Ikreedeeh RR, Hossen MA, Tahir M, Abd Aziz A. 2024. A comprehensive review on anodic TiO₂ nanotube arrays (TNTAs) and their composite photocatalysts for environmental and energy applications: Fundamentals, recent advances and applications. *Coord Chem Rev*, 499: 215495.

Jubu PR, Chahrour KM, Muhammad A, Landi S, Obaseki O, Igbawua T, Gundu A, Chahul H, Yam F. 2023. Considerations about the determination of optical bandgap from diffuse reflectance spectroscopy using the Tauc plot. *J Optics*. 2024: 1-11.

Jubu PR, Chahrour KM, Yam F, Awoji O, Yusof Y, Choo EB. 2022. Titanium oxide nanotube film decorated with β-Ga₂O₃ nanoparticles for enhanced water splitting properties. *Solar Energy*, 235: 152-162.

Khudiar SS, Nayef UM, Mutlak FA. 2022. Preparation and characterization of porous silicon for photodetector applications. *J Appl Sci Nanotechnol*, 2(2): 64-69.

- Li Z, Li Z, Zuo C, Fang X. 2022. Application of nanostructured TiO₂ in UV photodetectors: A review. *Adv Mater*, 34(28): 2109083.
- Ng S, Yam FK, Sohimee SN, Beh KP, Tneh SS, Cheong YL, Hassan Z. 2018. Photoelectrochemical ultraviolet photodetector by anodic titanium dioxide nanotube layers. *Sensors Actuators A: Physical*, 279: 263-271.
- Rao BM, Roy SC. 2014. Anatase TiO₂ nanotube arrays with high temperature stability. *RSC Adv*, 4(72): 38133-38139.
- Richter C, Schmuttenmaer CA. 2010. Exciton-like trap states limit electron mobility in TiO₂ nanotubes. *Nature Nanotechnol*, 5(11): 769-772.
- Rosli N, Halim MM, Chahrour KM, Hashim MR. 2020. Incorporation of zinc oxide on macroporous silicon enhanced the sensitivity of macroporous silicon MSM photodetector. *ECS J Solid State Sci Technol*, 9(10): 105005.
- Wang L, Yang W, Chong H, Wang L, Gao F, Tian L, Yang Z. 2015. Efficient ultraviolet photodetectors based on TiO₂ nanotube arrays with tailored structures. *RSC Adv*, 5(65): 52388-52394.
- Yu A, Zhan S, Qiu L, Wang X, Yang H, Li Y. 2018. Ultraviolet detector with ultrahigh responsivity based on Anatase TiO₂ nanotubes array modified with (001) exposed nanofacets. *Vacuum*, 151: 237-242.
- Zhang DY, Ge CW, Wang JZ, Zhang TF, Wu YC, Liang FX. 2016. Single-layer graphene-TiO₂ nanotubes array heterojunction for ultraviolet photodetector application. *Appl Surface Sci*, 387: 1162-1168.
- Zheng L, Hu K, Teng F, Fang X. 2017. Novel UV-visible photodetector in photovoltaic mode with fast response and ultrahigh photosensitivity employing Se/TiO₂ nanotubes heterojunction. *Small*, 13(5): 1602448.
- Zou J, Zhang Q, Huang K, Marzari N. 2010. Ultraviolet photodetectors based on anodic TiO₂ nanotube arrays. *J Physical Chem C*, 114(24): 10725-10729.



DIRECT REACTIVE EXTRUSION OF PLA IN THE PRESENCE OF A MULTIFUNCTIONAL CHAIN EXTENDER

Yonca ALKAN GÖKSU^{1*}


¹Istanbul Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 34469, İstanbul, Türkiye

Abstract: The environmental impact of non-renewable, fossil fuel-based polymers has led to growing interest in sustainable alternatives such as Poly(lactic acid) (PLA). PLA is biodegradable and suitable for packaging application, however due to limited number of efforts to effectively recycle PLAs, its disposal still contributes to the plastic pollution problem. In general, plastic recycling methods could be categorized into three main groups: (i) incineration for energy generation, (ii) chemical recycling, and (iii) mechanical recycling. Among those strategies, mechanical recycling would be the optimal choice due to its applicability to current plastic production lines. However, limited thermal stability of PLA during melt mixing make its mechanical recycling challenging. This study explores the direct use of ketene-based chain extenders in the melt mixing step without any pre-treatments to enhance PLA's properties during thermal recycling. Those ketene-based chain extenders could increase the molecular weight and hence melt viscosity of PLA by reacting its hydroxyl and carboxylic acid end groups. For this purpose, copolymers of styrene, methyl methacrylate and 2,2,5-trimethyl-5-(4-vinylbenzyl)-1,3-dioxane-4,6-dione (MA) were synthesized and directly melt mixed with PLA in micro compounder at 210 °C for 3 mins. Force values were monitored simultaneously through this mixing step. Final molecular weights and thermal properties of PLAs were also analyzed through GPC and DSC analyses.

Keywords: Poly(lactic acid), Ketenes, Meldrum's acid, Chain extender, Direct melt mixing

*Corresponding author: Istanbul Technical University, Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 34469, İstanbul, Türkiye

E mail: alkanyo@itu.edu.tr (Y. ALKAN GÖKSU)

Yonca ALKAN GÖKSU  <https://orcid.org/0000-0002-6699-8761>

Received: May 06, 2024

Accepted: July 08, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Alkan Göksu Y. 2024. Direct reactive extrusion of PLA in the presence of a multifunctional chain extender. *BSJ Eng Sci*, 7(4): 743-751.

1. Introduction

Poly(lactic acid) (PLA) is a bio-based polymer that has received considerable academic and industrial attention in recent decades due to its advantageous features for especially food packaging applications (Auras et al., 2004; Rocca-Smith et al., 2017). Lactic acid, the major component, is generated through fermentation from renewable feedstocks such as food crops (corn) and waste sugars (cellulosic material) (Abdel-Rahman et al., 2013; Huysman et al., 2017). While PLA offers the advantage of being derived from renewable sources, its improper disposal keeps contributing to the issue of plastic waste in the environment. Despite the fact that PLA is classified as a biodegradable polymer, that attributes frequently leads to the misperception that this material would degrade quickly in nature (Haider et al., 2019). The degradation of PLA in soil or residential composters requires approximately one year at a temperature of 20 °C, while higher temperatures can expedite the process (Rudnik and Briassoulis, 2011). Investigating the degradation of PLA in marine environments is also a challenging endeavour since factors such as water temperature, salinity, and microbial activity all contribute to the complicated conditions influencing PLA degradation (Bagheri et al., 2017; Atalay

et al., 2021).

Indeed, given the time and specific environmental conditions required for PLA to naturally degrade, mechanical recycling emerges as a beneficial alternative in the end-of-life phase. Mechanical recycling involves reprocessing PLA waste to produce new materials, mitigating the environmental impact associated with disposal. This approach not only addresses the challenges posed by the relatively slow degradation of PLA but also contributes to the overall sustainability of the material. By incorporating mechanical recycling into the life cycle of PLA, it would be possible to extend its utility, reduce waste, and foster a more environmentally conscious approach to the management of biodegradable polymers in various industries (Ramos-Hernández et al., 2023).

The reprocessing of PLA through thermal methods poses a significant challenge due to the inherent limitations in PLA's hydrolytic and thermal stability. As the recycling process involves exposure to elevated temperatures, PLA is susceptible to chain scission, resulting in a decrease in its average molecular weight. This chain scission phenomenon is a key factor contributing to the subsequent decline in the mechanical properties of PLA. The compromised molecular structure adversely affects



the material's strength and integrity, making it challenging to maintain or reproduce the original mechanical characteristics through thermal reprocessing. Overcoming these challenges necessitates innovative approaches and technologies in thermal recycling methods to minimize the detrimental effects on PLA's molecular structure and preserve its mechanical performance, ultimately enhancing the sustainability of the recycling process for this biodegradable polymer (Liu et al., 2010; Badia and Ribes-Greus, 2016; Beltrán et al., 2018).

Chain extension, a type of post-polymerization modification, involves employing chemical reactions to increase the molecular weight of condensation polymers like PLA. By introducing multifunctional chain extenders during the melt compounding process, it becomes possible to induce chain branching, allowing the

modulation of chain length (Meng et al., 2012; Tavares et al., 2016; Grigora et al., 2021; Guclu et al., 2022). Chain extenders consist of two or more reactive chemical functions, such as anhydrides (Piyamawadee and Aht-Ong, 2013; Yahyaee et al., 2020), oxazolines (Berg et al., 2019; Zhao et al., 2019; Karayannidis and Psalida, 2000; Kylmä et al., 2001), isocyanides (Kawashima et al., 2023; Raffa et al., 2012; Tuna and Ozkoc, 2017), and epoxides (Wang et al., 2016; Tuna and Ozkoc, 2017; Al-Itry et al., 2012; Ramos-Hernández et al., 2023). Among these, Joncryl ADR, recognized as a multifunctional styrene-acrylate-glycidyl methacrylate copolymer (Figure 1), stands out as a widely employed chain extender to enhance thermal and mechanical properties of polymers, including PLA (Standau et al., 2022; Kahraman et al., 2023).

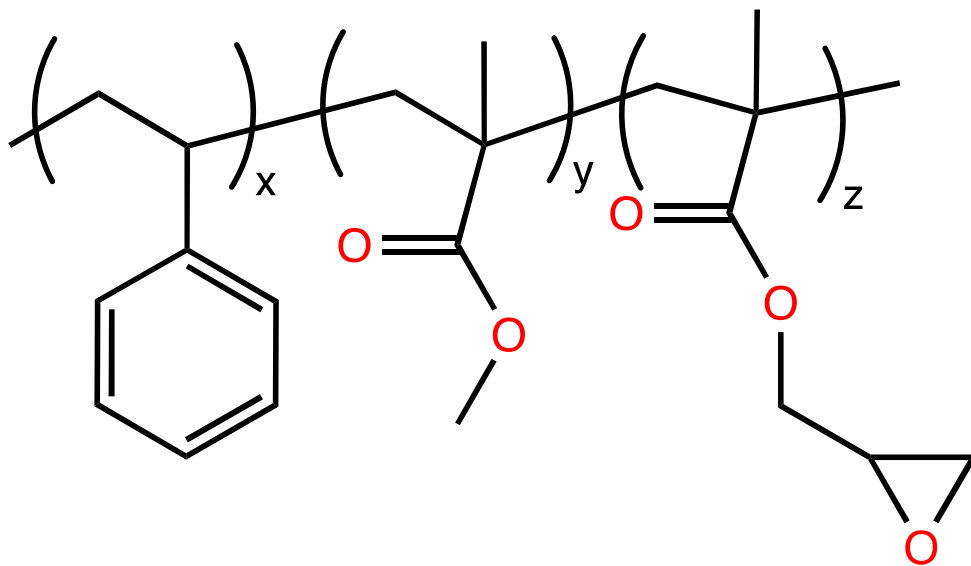


Figure 1. Chemical representation of Joncryl ADR.

The study conducted by Mihai et al. 2010 is noteworthy for introducing branched PLA through the incorporation of Joncryl. According to their results, a notable improvement was observed in shear viscosity and melt elasticity of PLA. The research conducted by Corre et al. (2011) reveal a significant alteration in the molecular weight distribution (MWD) of pure PLA, specifically through the addition of a high molecular weight shoulder indicating the incorporation of longer polymer chains, a result of the chain branching. Jaszkiwicz et al., 2014) investigated the effects of two chain extenders on the melt processing of PLA and found that a masterbatch composed of Joncryl ADR4368 and PLA significantly boosted the molecular weight. Moreover, Joncryl ADR4368 acted as a nucleating agent, leading to improved PLA crystallinity and enhanced mechanical properties, including tensile, flexural, and impact strength. In contrast, Joncryl ADR3229, despite having the same primary structure as ADR4368 but functionalized with maleic anhydride, failed to demonstrate chemical compatibility with the

components. Cisneros-López et al., 2020) utilized Joncryl ADR4368 as a chain extender in both virgin and recycled 3D-printed PLA blends. This chain extender effectively curtailed PLA's thermal degradation, enabling improved control over the melt flow index (MFI) and enhancing both storage and loss modulus. Najafi et al., 2012 investigated the impact of three chain extenders—polycarbodiimide (PCDI), tris(nonylphenyl) phosphite (TNPP), and Joncryl ADR4368—on the thermal degradation of PLA. TNPP was found to improve the rheological properties, such as viscosity and storage modulus, whereas Joncryl ADR4368 provided even greater enhancement. Meng et al., 2012 evaluated hexamethylene diisocyanate (HDI), Joncryl ADR4368, and pyromellitic dianhydride (PMDA) for their effectiveness in controlling the thermal degradation of PLA. Joncryl ADR4368 yielded the most favorable results, creating a branched and cross-linked PLA structure. This significantly increased the complex viscosity from 4,700 to 23,000 Pa s and provided remarkable thermal stabilization.

Although chain extenders like Joncryl ADR are used to improve the properties of polymers, very recent literature has pointed out that the use of glycidyl methacrylate (GMA) as the functional monomer raises significant health concerns (Aasa et al., 2019; Elkholy et al., 2024). Upon degradation, GMA releases glycidol, a substance classified as carcinogenic by the National Toxicology Program (NTP) (Aasa et al., 2019). This alarming characteristic also necessitates the development of glycidyl-free chain extenders to ensure consumer safety.

In the context of elevating the molecular weight and hence the melt strength of PLA by using glycidyl-free chain extenders, the utilization of ketene intermediates that are highly reactive towards both hydroxyl and carboxyl end groups in PLA might emerge as a promising strategy (Alkan Goksu et al., 2019). Meldrum's acid

thermolyses (Figure 2) above 200 °C result in the formation of ketene intermediates, which could readily react with nucleophiles to produce the corresponding esters or amides (Leibfarth et al., 2010; Leibfarth and Hawker, 2013). In our early studies of ketene-based chain extenders, ketene bearing copolymers in the presence of styrene as comonomer were synthesized and these copolymers were blended with PLA through solution casting method to ensure thorough mixing, and then processed in a micro compounder. The GPC results confirmed that the molecular weight of PLA increased when chain extenders were added. Moreover, the incorporation of branching resulted in a noticeable increase in the UV absorption of PLA, indicating potential practical uses in the packaging applications (Alkan Goksu, 2024).

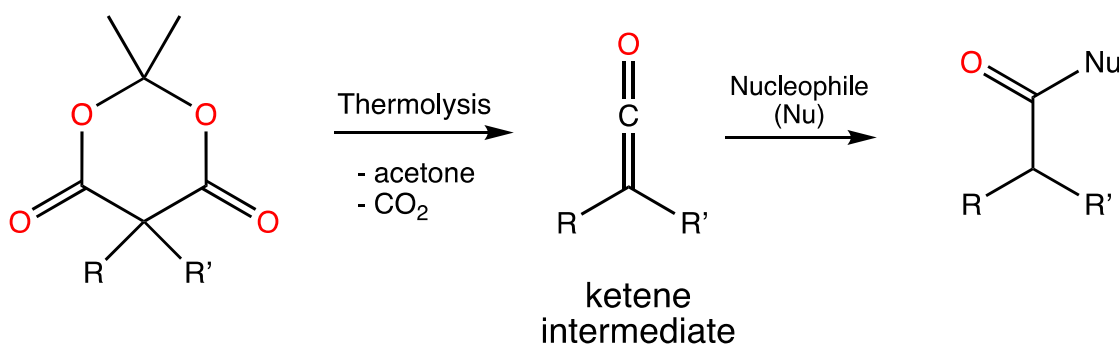


Figure 2. Thermolysis of Meldrum's acid to ketene intermediate, acetone and carbon dioxide.

In order to further enhance industrial processes for ketene-based chain extension, it is definitely more efficient to use direct melt mixing instead of solution casting, as the latter presents challenges when it comes to scaling up. In order to provide a better dispersion of chain extender in the PLA matrix, its chemical structure was redesigned by incorporation methyl methacrylate as a third comonomer and copolymers of styrene, methyl methacrylate and 2,2,5-trimethyl-5-(4-vinylbenzyl)-1,3-dioxane-4,6-dione were synthesized through conventional free radical polymerization and reactivity of this chain extender towards PLA in molten state without use of any solvent was further investigated. The primary distinctions between the study conducted by (Alkan Goksu, 2024) and the current research are noteworthy and should be highlighted. The earlier solvent casting approach employed by (Alkan Goksu, 2024) has been replaced with a direct melt mixing method, eliminating the need for any solvent. Furthermore, to enhance the compatibility between the chain extender and PLA, the chemical composition of the chain extender has been modified. This modification involved incorporating methacrylic units into the polystyrene backbone previously used in (Alkan Goksu, 2024). Obtained results from current study were compared with the Author's previous study (Alkan Goksu, 2024) and discussed in detail.

2. Materials and Methods

2.1 Materials

The compound 2,2,5-trimethyl-1,3-dioxane-4,6-dione was purchased from Sigma Aldrich and used as is, without any further alterations. Styrene (St, 99% Aldrich) and 1-chloromethyl-4-vinyl benzene (90%, Aldrich) were purified by passing them through a basic alumina column to remove the inhibitor. The following chemicals were used without additional processing: K_2CO_3 (Merck), $NaHCO_3$ (Merck), $MgSO_4$ (Aldrich), Azobisisobutyronitrile (AIBN, 98%, Fluka), acetone (Merck), hydrochloric acid (HCl, 1N, Merck), ethyl acetate (EtOAc, Merck), and hexane (Hex, Merck). The anhydrous N,N-dimethylformamide (DMF) was obtained from the solvent still. The PLA Ingeo 4043D with 94% L-lactide and 6% D-lactide content was sourced from NatureWorks and had a melt flow rate (MFR) of 6 g /10 minutes.

2.2. Synthesis of 2,2,5-trimethyl-5-(4-vinylbenzyl)-1,3-dioxane-4,6-dione [1]

4.0 g (26 mmol) of 2,2,5-trimethyl-1,3-dioxane-4,6-dione (MA) and 4.0 g (29.0 mmol) of K_2CO_3 were combined in 80 mL of acetone and stirred for 30 minutes. Then, 1-chloromethyl-4-vinyl benzene (4.0 mL, 28.0 mmol) was slowly added dropwise at room temperature. The reaction mixture was then heated to 55°C and refluxed for 48 hours. After evaporating the acetone under

vacuum, the remaining solid was neutralized with 1N HCl and extracted with ethyl acetate (EtOAc). The organic phase was washed successively with water (2 x 50 mL) and saturated aqueous NaHCO₃ solution (2 x 50 mL). The combined organic extracts were dried over MgSO₄, filtered, and concentrated to yield a yellowish solid. The final product was further purified by column chromatography (using EtOAc/Hex: 1/5 as the eluent, R_f around 0.3), resulting in 3.1 g (42% yield) of product. The ¹H-NMR spectrum (600 MHz, CDCl₃, δ, ppm) exhibited peaks at 7.32 (d, J = 7.2 Hz, 2H), 7.15 (d, J = 7.2 Hz, 2H), 6.67 (dd, J=17.6 and 10.9 Hz, 1H), 5.73 (d, J = 17.6 Hz, 1H), 5.24 (d, J= 10.9 Hz, 1H), 3.33 (s, 2H), 1.76 (s, 3H), 1.61 (s, 3H), and 0.98 (s, 3H). In the ¹³C-NMR spectrum (150 MHz, CDCl₃), signals appeared at δ 169.73, 136.98, 136.20, 134.78, 130.21, 126.43, 114.04, 105.19, 52.09, 44.62, 29.36, 28.35, and 25.71.

2.3. Synthesis of Poly(St-MMA-[1]) copolymer (CE)

Methyl methacrylate (1.2 g, 12 mmol), styrene (1.25 g, 12.0 mmol), [1] (0.73 g, 2.66 mmol), and 2,2'-azobis(2-methylpropionitrile) (AIBN) (45 mg, 0.27 mmol) were dissolved in 4 mL of dry DMF in a Schlenk tube. The mixture underwent three freeze-pump-thaw cycles. Subsequently, the Schlenk tube was immersed in an oil bath preheated to 80 °C and stirred for 4 hours. The resulting polymer was precipitated in cold methanol (1.75 g, 55% conv.).

2.4. Preparation of PLA/CE samples

PLA and CE were pre-blended at various proportions as outlined in Table 1, then individually treated in a micro compounder (Xplore Instruments Micro compounder 5 mL: MC 5) at 210°C and 100 rpm for a duration of 3 minutes.

Table 1. Preparation of PLA/CE Samples

	PLA 4043D (mg)	CE (mg)	CE (wt %)	Conditions
PLA ^a	2000	0	0	
PLA_0.25CE	1995	5	0.25	
PLA_0.5CE	1990	10	0.50	210 °C,
PLA_1.0CE	1980	20	1.00	100 rpm,
PLA_2.5CE	1950	50	2.50	3 min,
PLA_5.0CE	1900	100	5.00	Under N ₂

^aPLA directly used

2.5. ¹H Nuclear Magnetic Resonance (¹H-NMR) analysis

¹H-NMR of the synthesized [1] monomer, CE1, PLA, PLA_0.25CE, PLA_0.5CE, PLA_1.0CE, PLA_2.5CE and PLA_5.0CE samples were recorded at room temperature on a Bruker AVANCE III 600 MHz using CDCl₃ as the solvent.

2.6. Gel Permeation Chromatography (GPC) analysis

Tosoh EcoSEC Elite GPC system with a TSKgel Super HM-M (17392) column was used for GPC analysis of CE. The column was held at 40 °C and was connected to a refractive index (RI) detector as well as a Tosoh LENSTM 3 multi-angle light scattering detector (MALS). Tetrahydrofuran was used as the mobile phase in this experiment, with a flow rate of 0.5 mL/min. The molecular weight and dispersity values are presented with respect to polystyrene standards. GPC analysis of PLA, PLA_0.25CE, PLA_0.5CE, PLA_1.0CE, PLA_2.5CE and PLA_5.0CE samples were conducted using Waters 2690 Alliance System equipped with two consecutive Polymer Labs PLGel 5 mm Mixed-D and Mixed-E columns with refractive index detection at 35 °C and CHCl₃ was used as solvent.

2.8. Differential Scanning Calorimetry (DSC) Analysis

The DSC analysis was conducted in a TA Instruments equipment, model QS100, using nitrogen as purge gas in a continuous flow of 50 mL min⁻¹. Samples were initially heated from 0 °C to 250 °C at a heating rate of 10 °C/min. The degree of crystallinity (X_c) of PLA samples were

determined using equation (1).

$$X_c^{heating} = \frac{\Delta H_m - \Delta H_{cc}}{w_{PLA} \times \Delta H_m^0} \times 100 \quad (1)$$

Here WPLA is the PLA weight fraction, ΔH_m and ΔH_c are the heat enthalpies of melting and crystallization, respectively. ΔH_m⁰ is the heat of fusion required to melt 100 % crystalline PLA, which is given as 93.6 J/g.

3. Results and Discussion

To produce chain extender (CE) with Meldrum's acid component, the initial step was the reaction between 2,2,5-trimethyl-1,3-dioxane-4,6-dione and p-chloromethyl styrene (Figure 3). As a result, [1] was synthesized with a moderate yield and it is characterized using ¹H-NMR and FTIR analyses and results were reported elsewhere (Alkan Goksu, 2024).

After synthesis and characterization of [1] monomer, its copolymer in the presence of methyl methacrylate (MMA) and styrene was synthesized via free radical polymerization (Figure 4). The obtained GPC results are summarized in Table 2 and ¹H-NMR spectrum, shown in Figure 5, confirms the copolymer structure.

The differential scanning calorimetry (DSC) spectra depicted in Figure 6 reveals the thermal behavior of CE. The observed endothermic peak starting at around 190 °C signifies the heat release during the formation of ketenes, a crucial step in the proposed reaction pathway. The reactivity of these in-situ formed ketene

intermediates with the carboxylic and hydroxyl end groups of PLA is a key aspect of the intended chemical modification. This interaction is likely to lead to the desired chain extension and molecular weight increase in PLA, aligning with the overall goal of enhancing the material's properties (Figure 7).

The compounding process of synthesized CE with PLA was executed using a micro compounder set at 210 °C and 100 rpm. Various pre-mixed PLA/CE ratios (0.25, 0.5, 1.0, 2.5, and 5.0 wt%) underwent mixing under these conditions for 3 minutes. The force versus time graphs, as depicted in Figure 8, was obtained during this compounding process. The interaction of mechanical forces in an extruder may reveal important information on the changing mechanical characteristics of the polymer material. When the force values display an apparent increase during the extrusion process, it generally corresponds to a substantial improvement in mechanical strength and resistance, as the polymer experiences a series of structural modifications. The material's improving strength provides an indication of its ability to withstand and adapt to the mechanical stresses and shear forces associated with the extrusion

process. The GPC results for neat PLA, PLA processed in the absence of CE under identical conditions, and PLA/CE mixtures have been compiled in Table 3. These GPC findings align seamlessly with the force-versus-time profiles documented during the compounding process, establishing a harmonious correlation between the material's molecular characteristics and its dynamic mechanical behavior. The molecular weight of PLA typically undergoes a decrease during thermal processing in the absence of CE, attributed to bond scission reactions induced by high temperatures and applied shear forces. This inherent characteristic poses a considerable challenge in the thermal reprocessing of PLA. However, a noteworthy breakthrough emerged with the incorporation of CE at a concentration of 0.25 wt%, leading to a substantial increase in the molecular weight. This positive impact on molecular weight indicates the effectiveness of the CE in mitigating the usual degradation associated with thermal processing. Interestingly, with higher CE concentrations of 2.5 and 5 wt%, the observed molecular weight increase is not as pronounced, potentially due to a sudden viscosity surge that hinders further reactions.

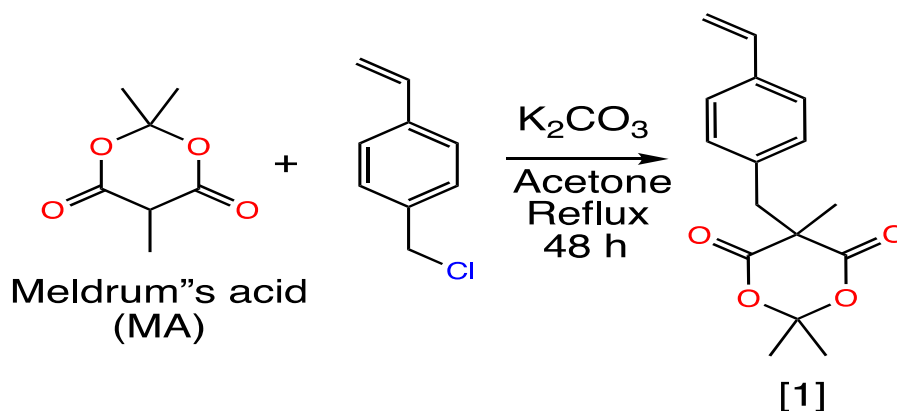


Figure 3. Synthesis of 2,2,5-trimethyl-5-(4-vinylbenzyl)-1,3-dioxane-4,6-dione [1].

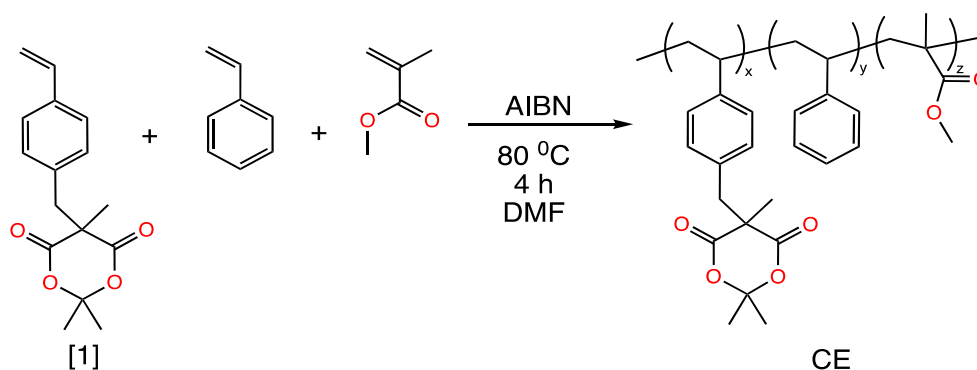


Figure 4. Synthesis scheme of CE.

Table 2. Copolymerization of [1], MMA and Styrene

	Monomer in the Feed (mol%)			Conv. ^a (%)	M _n ^b (kDa)	M _w ^b (kDa)	PDI ^b
	[1]	Styrene	MMA				
CE	10	45	45	55	14.9	25.6	1.71

^aOverall conversion was determined gravimetrically. ^bDetermined by GPC measurements according to polystyrene standards.

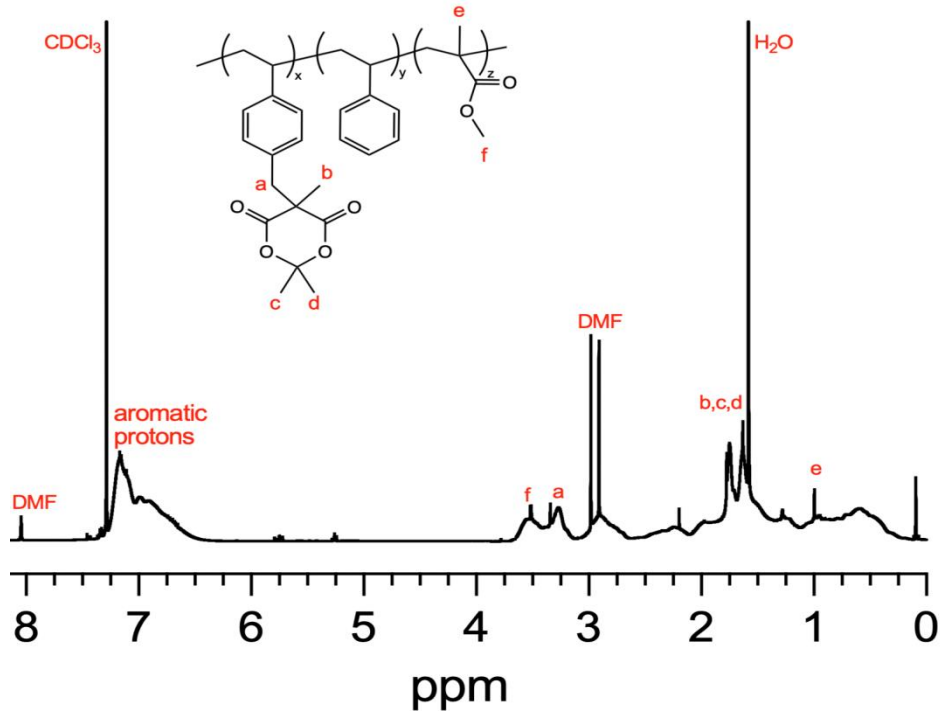


Figure 5. ¹H-NMR spectrum of CE.

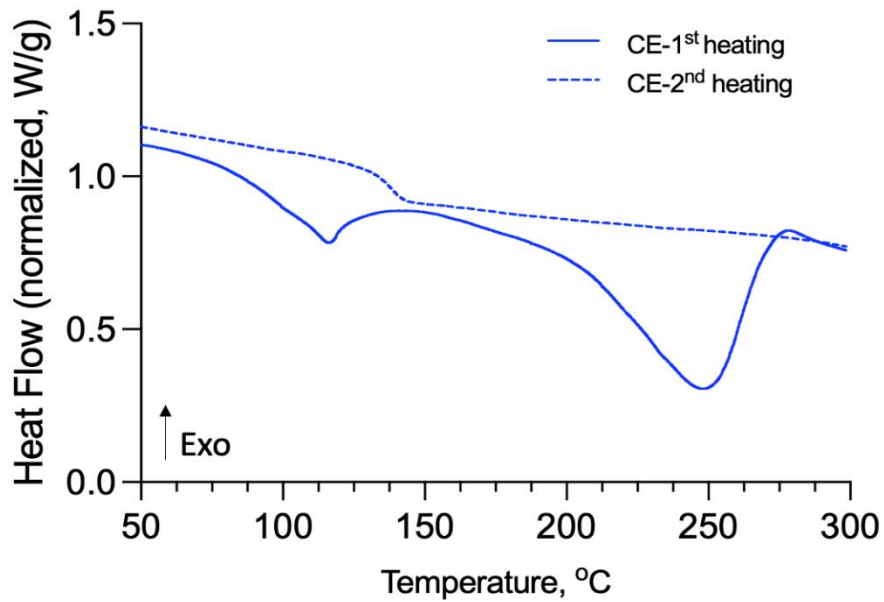


Figure 6. DSC analysis of CE.

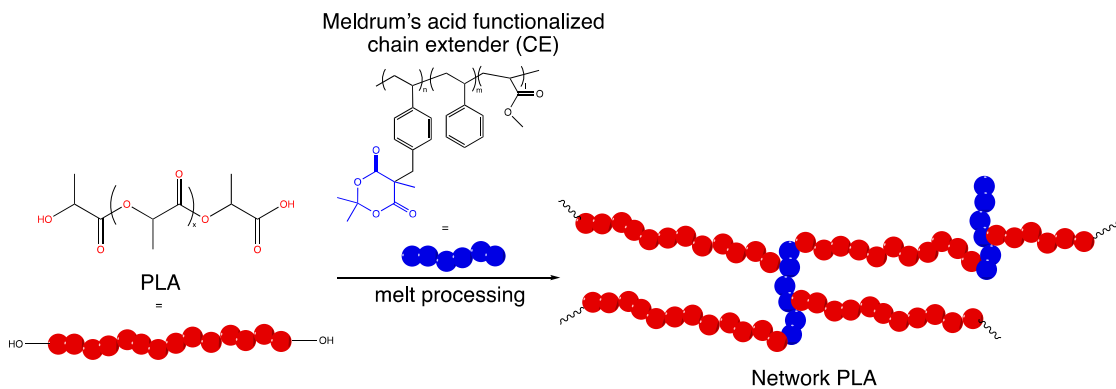


Figure 7. Schematic representation of PLA branching.

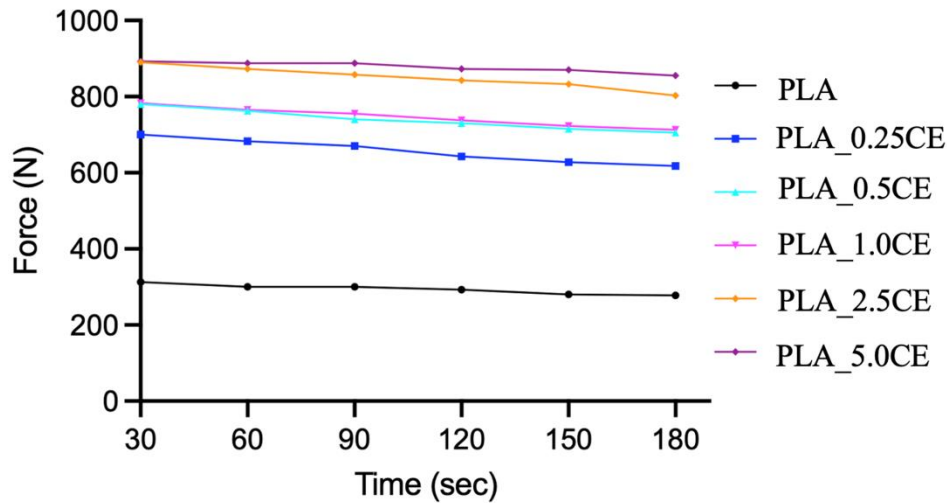


Figure 8. Force vs time graphs of PLA, PLA_0.25CE, PLA_0.5CE and PLA_1.0CE, PLA_2.5CE and PLA_5.0CE.

Table 3. GPC measurements of PLA, PLA_0.25CE, PLA_0.5CE and PLA_1.0CE, PLA_2.5CE and PLA_5.0CE

Sample	M_n^a (kDa)	M_w^a (kDa)	PDI ^a
Neat PLA	90.5	140.3	1.55
Processed PLA	66.8	120.1	1.79
PLA_0.25CE	96.6	143.1	1.48
PLA_0.5CE	96.8	141.1	1.46
PLA_1.0CE	108.9	150.2	1.38
PLA_2.5CE	97.5	140.8	1.44
PLA_5.0CE	96.6	137.0	1.42

^aDetermined by GPC measurements according to polystyrene standards and $CHCl_3$ as the solvent.

DSC data of neat PLA, processed PLA and PLA/CE samples summarized in Table 4. In the chain extension process of PLA, glass transition temperature (T_g) undergoes intriguing changes with varying concentrations of the added CE. Specifically, as the amount of CE is increased from 0.25 wt% to 1.0 wt%, there is a consistent decrease in T_g . This reduction in T_g could be attributed to the incorporation of the CE, which likely introduces more flexible segments into the polymer matrix, leading to a decrease in the overall T_g . However, when the concentration reaches 1.0 wt% CE, as T_g begins to exhibit an increase. This sudden rise could be indicative of a complex interplay between the chain extension reactions and the polymer's molecular dynamics. It is reasonable that, beyond a certain threshold, the network formation induced by the chain extender starts to impact the overall structural arrangement, resulting in an elevation of T_g . Simultaneously, the crystallization peak temperature and melting temperature (T_m) display an ascending trend with the addition of CE, suggesting an enhancement in the material's crystalline characteristics. As stated earlier, in our previous research (Alkan Goksu, 2024), copolymers of styrene and [1] in the absence of methyl methacrylate were synthesized, PLA and those chain extenders were dissolved in chloroform to provide and effective mixing. Then, those dried mixtures were fed

into micro compounder for 5 mins. Obtained T_m values of 2.5 wt% CE including PLA samples prepared through solution casting (Alkan Goksu, 2024) and direct melt mixing approaches (in these experiments) are 153.9 °C and 154.9 °C, respectively. Also, when the T_m values of 5 wt% PLA/CE samples were compared, the value is 150.7 in solution casted samples while 154.4 °C in our current work. Moreover, higher percent crystallinity values are obtained in the present work. These changes might have arisen from the presence of methyl methacrylate unit as a comonomer and the absence of solvent during the pre-mixing step. In other words, incorporation of methyl methacrylate into the chain extender backbone has increased the compatibility between PLA matrix and CE revealing more promising experimental results. Further investigation on the effect of different comonomers in the CE structure on the final PLA properties is an ongoing process in our laboratory.

Table 4. DSC analysis of PLA, PLA_0.25CE, PLA_0.5CE and PLA_1.0CE, PLA_2.5CE and PLA_5.0CE

	T _g (°C)	T _{cc} (°C)	T _m (°C)	χ _c (%)
PLA	56.9	113.2	151.4	1.60
PLA_0.25CE	55.1	118.1	153.2	1.10
PLA_0.5CE	54.9	123.8	154.7	1.74
PLA_1.0CE	56.5	124.4	154.3	1.92
PLA_2.5CE	58.9	124.3	154.9	2.24
PLA_5.0CE	58.3	124.6	154.4	2.79

4. Conclusion

In conclusion, the synthesis and characterization of the CE incorporating Meldrum's acid component have been successfully accomplished. The initial step involved the reaction between 2,2,5-trimethyl-1,3-dioxane-4,6-dione and p-chloromethyl styrene, resulting in the synthesis of [1]. The subsequent copolymerization of [1] with methyl methacrylate (MMA) and styrene (St) via free radical polymerization in the presence of AIBN as radical initiator, produced a structurally confirmed copolymer (CE). The DSC spectra illustrated the thermal behavior of CE, showcasing an endothermic peak around 190°C, signifying the crucial in-situ ketene formation in the proposed reaction pathway. The subsequent compounding of synthesized CE with PLA through direct melt mixing without use of any solvent, as revealed through force-versus-time graphs and GPC results, demonstrated a significant enhancement in molecular weight, particularly with a 0.25 wt% concentration of CE. Moreover, the DSC thermograms of PLA/CE blends exhibited a complex interplay between chain extension reactions and the polymer's molecular dynamics, influencing the glass transition temperature (T_g), crystallization peak temperature (T_{cc}), and melting point (T_m). The study not only advances our understanding of PLA chain extension in the presence and absence of solvent casting treatment but also presents a modular approach to tailor properties by chemically selecting suitable monomers in the chain extender design, offering avenues for optimizing materials for specific applications. Further studies in this line are now in progress.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is presented below. The author reviewed and approved the final version of the manuscript.

	Y.A.G.
C	100
D	100
S	100
DCP	100
DAI	100
L	100
W	100
CR	100
SR	100
PM	100
FA	100

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

Ethical Consideration

Ethics committee approval was not required for this study because of there was no study on animals or humans.

References

- Aasa J, Granath F, Törnqvist M. 2019. Cancer risk estimation of glycidol based on rodent carcinogenicity studies, a multiplicative risk model and in vivo dosimetry. *Food Chem Toxicol*, 128: 54–60.
- Abdel-Rahman MA, Tashiro, Y, Sonomoto K. 2013. Recent advances in lactic acid production by microbial fermentation processes. *Biotechnol Adv*, 31(6): 877–902.
- Al-Itry, R, Lamnawar K, Maazouz A. 2012. Improvement of thermal stability, rheological and mechanical properties of PLA, PBAT and their blends by reactive extrusion with functionalized epoxy. *Polym Degrad Stab*, 97(10): 1898–1914.
- AlkanGoksu, Y. 2024. Enhancing the Sustainability of Poly(Lactic Acid) (PLA) Through Ketene-Based Chain Extension. *J Polym Environ*.
- AlkanGoksu, Y, Kumbaraci V, Yagci, Y. 2019. Modular photoinduced grafting onto approach by ketene chemistry. *J Polym Sci A Polym Chem*. 57(3): 274–280.
- Atalay S.E, Bezci B, Özdemir B, Göksu, YA, Ghanbari A, Jalali A, Nofar M. 2021. Thermal and Environmentally Induced

- Degradation Behaviors of Amorphous and Semicrystalline PLAs Through Rheological Analysis. *J Polym Environ*, 29(10): 3412–3426.
- Auras R, Harte B, Selke S. 2004. An Overview of Poly lactides as Packaging Materials. *Macromol Biosci*, 4(9): 835–864.
- Badia J.D, Ribes-Greus A. 2016. Mechanical recycling of polylactide, upgrading trends and combination of valorization techniques. *Eur Polym J*, 84: 22–39.
- Bagheri A.R, Laforsch C, Greiner A, Agarwal, S. 2017. Fate of So-Called Biodegradable Polymers in Seawater and Freshwater. *Global Chall*. 1(4): 1700048.
- Beltrán F.R, Lorenzo V, Acosta J, Orden M.U, Martínez-Urreaga J. 2018. Effect of simulated mechanical recycling processes on the structure and properties of poly(lactic acid). *J Environ Manage*. 216: 25–31.
- Berg D, Schaefer K, Moeller M. 2019. Impact of the chain extension of poly(ethylene terephthalate) with 1,3-phenylene-bis-oxazoline and N, N'-carbonylbis caprolactam by reactive extrusion on its properties. *Polym Eng Sci*. 59(2): 284–294.
- Cisneros-López EO, Pal AK, Rodríguez AU, Wu F, Misra M, Mielewski DF, Kiziltas A, Mohanty AK. 2020. Recycled poly(lactic acid)-based 3D printed sustainable biocomposites: a comparative study with injection molding. *Mater Today Sustainability*. 7: 100027.
- Corre YM, Duchet J, Reignier J, Maazouz A. 2011. Melt strengthening of poly (lactic acid) through reactive extrusion with epoxy-functionalized chains. *Rheol Acta*, 50(7–8): 613–629.
- Elkholy HM, Abdelwahab MA, Naveed M, Abdelaziz K, Rabnawaz M. 2024. Food-safe glycidyl-free chain extenders for polylactides. *Green Chem*. 26(7): 3968-3978.
- Grigora ME, Terzopoulou Z, Tsongas K, Klonos P, Kalafatakis N, Bikiaris DN, Kyritsis A, Tzetzis D. 2021. Influence of Reactive Chain Extension on the Properties of 3D Printed Poly(Lactic Acid) Constructs. *Polymers*, 13(9): 1381.
- Guclu, M, AlkanGöksu Y, Özdemir B, Ghanbari A, Nofar M. 2022. Thermal Stabilization of Recycled PET Through Chain Extension and Blending with PBT. *J Polym Environ*. 30(2): 719–727.
- Haider TP, Völker C, Kramm J, Landfester K, Wurm FR. 2019. Plastics of the Future? The Impact of Biodegradable Polymers on the Environment and on Society. *Angew Chem Int Ed Engl*. 58(1): 50–62.
- Huysman S, DeSchaepmeester J, Ragaert K, Dewulf J, DeMeester S. 2017. Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste. *Resour Conserv Recycl*. 120: 46–54.
- Jaszkiewicz A, Bledzki AK, van der Meer R, Franciszczak P, Meljon A. 2014. How does a chain-extended polylactide behave? a comprehensive analysis of the material, structural and mechanical properties. *Polymer Bull*. 71(7): 1675–1690.
- Kahraman Y, Özdemir B, Gümüş BE, Nofar M. 2023. Morphological, rheological, and mechanical properties of PLA/TPU/nanoclay blends compatibilized with epoxy-based Joncryl chain extender. *Colloid Polym Sci*. 301(1): 51–62.
- Karayannidis GP, Psalida EA. 2000. Chain extension of recycled poly (ethylene terephthalate) with 2, 2'-(1, 4-phenylene) bis (2-oxazoline). *J Appl Polym Sci*, 77(10): 2206–2211.
- Kawashima N, Usugi S, Ogawa R. 2023. Diisocyanate-based chain extension via Mg(II) catalyzed amide formation to high-molecular-weight poly(lactic acid). *J Polym Sci*. 61(20): 2506–2513.
- Kylmä J, Tuominen J, Helminen A, Seppälä J. 2001. Chain extending of lactic acid oligomers. Effect of 2,2'-bis(2-oxazoline) on 1,6-hexamethylene diisocyanate linking reaction. *Polymer*, 42(8): 3333–3343.
- Leibfarth FA, Hawker C. 2013. The emerging utility of ketenes in polymer chemistry. *J Polym Sci A Polym Chem*. 51(18): 3769–3782.
- Leibfarth FA, Kang M, Ham M, Kim J, Campos L, Gupta N, Moon, B, Hawker, C. 2010. A facile route to ketene-functionalized polymers for general materials applications. *Nat Chem*. 2(3): 207–212.
- Liu X, Khor S, Petinakis E, Yu L, Simon G, Dean K, Bateman S. 2010. Effects of hydrophilic fillers on the thermal degradation of poly(lactic acid). *Thermochim acta*, 509(1–2): 147–151.
- Meng Q, Heuzey M, Carreau P. 2012. Control of thermal degradation of polylactide/clay nanocomposites during melt processing by chain extension reaction. *Polym Degrad Stab*. 97(10): 2010–2020.
- Mihai M, Huneault M, Favis B. 2010. Rheology and extrusion foaming of chain-branched poly(lactic acid). *Polym Eng Sci*. 50(3): 629–642.
- Najafi N, Heuzey M, Carreau, P, Wood-Adams P. 2012. Control of thermal degradation of polylactide (PLA)-clay nanocomposites using chain extenders. *Polym Degrad Stab*. 97(4): 554–565.
- Piyamawadee C, Aht-Ong D. 2013. The Influence of Amount of Succinic Anhydride in Chain Extension Reaction on Increasing Molecular Weight of Poly(lactic acid). *Adv Mat Res*. 747: 148–152.
- Raffa P, Coltelli M, Savi S, Bianchi S, Castelvetro V. 2012. Chain extension and branching of poly(ethylene terephthalate) (PET) with di- and multifunctional epoxy or isocyanate additives: An experimental and modelling study. *React Funct Polym*. 72(1): 50–60.
- Ramos-Hernández T, Robledo-Ortíz J, González-López, M, delCampo A, González-Núñez R, Rodrigue D, Pérez-Fonseca A. A. 2023. Mechanical recycling of PLA : Effect of weathering, extrusion cycles, and chain extender. *J Appl Polym Sci*. 140(16): e53759
- Rocca-Smith J, Whyte O, Brachais C, Champion D, Piasente F, Marcuzzo E, Sensidoni A, Debeaufort F, Karbowiak T. 2017. Beyond Biodegradability of Poly(lactic acid): Physical and Chemical Stability in Humid Environments. *ACS Sustain Chem Eng*. 5(3): 2751–2762.
- Rudnik E, Briassoulis D. 2011. Degradation behaviour of poly(lactic acid) films and fibres in soil under Mediterranean field conditions and laboratory simulations testing. *Ind Crops Prod*. 33(3): 648–658.
- Standau T, Nofar M, Dörr D, Ruckdäschel H, Altstädt V. 2022. A Review on Multifunctional Epoxy-Based Joncryl® ADR Chain Extended Thermoplastics. *Polym Rev*. 62(2): 296–350.
- Tavares A, Silva D, Lima P, Andrade, D, Silva, S, Canedo, E. 2016. Chain extension of virgin and recycled polyethylene terephthalate. *Polymer Test*. 50: 26–32.
- Tuna B, Ozkoc G. 2017. Effects of Diisocyanate and Polymeric Epoxidized Chain Extenders on the Properties of Recycled Poly(Lactic Acid). *J Polym Environ*. 25(4): 983–993.
- Wang S, Pang S, Xu N, Pan L, Lin Q. 2016. In-situ compatibilization of polylactide/thermoplastic polyester elastomer blends using a multifunctional epoxide compound as a processing agent. *J Appl Polym Sci*. 133(20): 43424
- Yahyaee N, Javadi A, Garmabi H, Khaki A. 2020. Effect of Two-Step Chain Extension using Joncryl and PMDA on the Rheological Properties of Poly (lactic acid). *Macromol Mater Eng*. 305(2): 1900423
- Zhao G, Thompson M, Zhu Z. 2019. Effect of poly(2-ethyl-2-oxazoline) and UV irradiation on the melt rheology and mechanical properties of poly(lactic acid). *J Appl Polym Sci*. 136(40): 48023.



KEMİK KIKIRDAK DOKU DEFİKTLERİNDE YENİ TASARLANMIŞ YAPI İSKELELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bora UZUN^{1*}

¹Dokuz Eylül University, Institute of Health Sciences, Department of Biomechanics, 35270, İzmir, Türkiye

Özet: Kemik dokusu organik ve inorganik bileşenlerden oluşan bir yapıdır. Kemik dokusunun kırılmasıyla ilgili sorunlar mevcuttur. Kırığın kaynaması ve rehabilitasyon süreci çeşitli nedenlerden dolayı uzun zaman almaktadır. Yan etkiler arasında kemik kırıklarının iyileşmesinde gecikme, kemiğin kaynamaması ve enfeksiyonlar yer alır. Son yıllarda yapılan çalışmalar ortopedi cerrahlarını hücre tedavisi ve biyomateryallere yönlendirmiştir. Çalışmamızda kollajen, lif kabağı, PRP ve kondrosit (kıkırdak hücresi) içeren iskeleleri in vivo iyileşme açısından araştırdık. Çalışma rastgele 4 gruba ayrılan 12 adet tavşan üzerinde gerçekleştirildi. Tavşanlar implantasyondan 8 hafta sonra yüksek doz anestezi uygulanarak sakrifiye edildi. Ameliyatından sonra 8. haftada sakrifiye edilen hayvanlardan alınan numuneler üzerinde histolojik analiz yapıldı. Sonuçlarımız lif kabağı+PRP+kondrosit hücre içeren iskelelerinin biyoyoumlu olduğunu ve iyileştirme mühendisliğine mükemmel bir alternatif olduğunu gösterdi.

Anahtar kelimeler: Kemik-kıkırdak defektleri, Yapı iskeleleri, Lif kabağı

Investigation of Newly Designed Scaffolds in Bone Cartilage Tissue Defects

Abstract: Bone tissue is a structure composed of organic and inorganic components. There are problems with the fracture of bone tissue. The fracture healing and rehabilitation are a long term processes for various reasons. Complications of bone fractures include delayed healing, bone nonunion, and infections. Studies conducted in recent years have directed orthopedic surgeons to cellular therapy and biomaterials. Our study investigated loofah, PRP, and chondrocyte (cartilage cell) scaffolds for in vivo healing. The study was carried out on rabbits randomly divided into 4 groups. Animals were sacrificed 8 weeks after implant surgery by applying high-dose anesthesia. Histological analyses were performed on samples from animals sacrificed in week 8 after implant surgery. Our results showed that loofah+PRP+chondrocyte cell scaffolds are biocompatible and an excellent alternative to remedial engineering.

Keywords: Bone-cartilage defects, Scaffolds, Loofah

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Dokuz Eylül University, Institute of Health Sciences, Department of Biomechanics, 35270, İzmir, Türkiye

E mail: bora.uzun@deu.edu.tr (B. UZUN)

Bora UZUN <https://orcid.org/0000-0001-6638-1799>

Gönderi: 05 Haziran 2024

Kabul: 08 Temmuz 2024

Yayınlanma: 15 Temmuz 2024

Received: June 05, 2024

Accepted: July 08, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Uzun B. 2024. Investigation of newly designed scaffolds in bone cartilage tissue defects. BSJ Eng Sci, 7(4): 752-755.

1. Giriş

Kırık iyileşmesinin gecikmesi veya kaynamaması tedavide zorlukları da beraberinde getirir (Göransson, 1993). Bu durum sıklıkla kronik fonksiyonel ve fizyolojik bozukluklara ve hastada strese yol açar (Uthgenannt ve ark., 2007). İyileşmede kan akımının miktarı ve periosttaki hasar önemlidir (Han ve ark., 2016; Suzuki ve ark., 2020). Birçok nedenden dolayı kırık iyileşmesinde gecikme (kaynamama) veya psödoartroz görülebilir. Literatürde bazı doku mühendisliği temelli çalışmalar mevcuttur; ancak kaynamama problemi olan vakaların tedavisinde alternatif bir tedavi sağlayabilecek, kemik dokusuna uygun biyomateryaller kullanılarak üretilmiş yeni bir kemik dokusu iskele tasarımının hem in vitro hem de in vivo olarak araştırılması ve kıkırdak hücrelerinin etkinliğinin araştırılması gerekmektedir (Liu ve ark., 2022). Literatürde kıkırdak hücre kökenini karşılaştıran doku mühendisliği çalışmaları sınırlıdır (Blázquez-Carmona ve ark., 2023). Son yıllarda doku mühendisliği tekniklerinin gelişmesiyle kök hücre tedavilerinin kemik rejenerasyonu amacıyla kullanıldığı

bilinmektedir (Alshammari ve ark., 2023). Çalışmalar kemik hücrelerinin içerdikleri enzimler nedeniyle kemik dokusunun iyileşmesine daha fazla katkı sağladığını göstermiştir (Liu ve ark., 2013; Li ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2019; Sakeena ve ark., 2023; Mito ve ark., 2023). Bu çalışmada, yeni tasarlanmış bir kemik iskelesi olarak lif kabağı kullanarak kıkırdak hücre tedavilerine yeni bir yaklaşım getirmek ve kıkırdak-kemik dokusu mühendisliğiyle üretilmiş iskeleleri kullanarak iyileşmede gecikme sorununu çözmek amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Kontrol grupları olarak, lif kabağı+PRP ve kollajen+PRP tavşan kondillerine implante edildi. Karşılaştırmalı grup olarak ise, kollajen+PRP+kıkırdak hücresi ve lif kabağı+PRP+kıkırdak hücresi olmak üzere toplam 4 grup oluşturuldu.

1. Grup: Kollajen + PRP
2. Grup: Lif kabağı + PRP
3. Grup: Kollajen + PRP + Kıkırdak hücresi
4. Grup: Lif kabağı + PRP + Kıkırdak hücresi



Kollajen (SpongeCol, Sigma-Aldrich), PRP (Lando) üretici firmadan temin edilmiştir. Doğal lif kabağı satın alınmıştır. Lif kabağı veya kollajen numuneleri PRP solüsyon içine daldırılarak 24 saat boyunca PRP emdirilmiş, daha sonrada 370 °C'de 2 saat boyunca kurutulmuştur. Skafoldlar 2 mm çapında ve 2 mm kalınlığında oluşturulmuştur. Skafoldlar hücre ekimi yapılmadan önce etilen oksit kullanılarak sterilize edilmiştir. Skafold başına 5x104 hücre ekilerek 48 saat 370C' de inkübe edilmiş. Hazırlanan skafoldlar tavşanlara implante edilmiştir. Çalışma rastgele 4 gruba ayrılan 12 adet tavşan üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her grup için ortalama ağırlıkları 350 gr olan üçer tavşan kullanılmıştır. Tavşanlar 10ml/kg Xylazine ve 50ml/kg ketamin ile anestezi edildi. 2cm lateral insizyondan sonra kondilde 4 mm kadar boşluk oluşturulup 2 mm boyutundaki skafoldlar defektli bölgeye implante edildi. Tavşanlar yaklaşık 8 hafta sonra yüksek doz anestezi ile sakrifiye edildi.

2.1. Doku Takibi Protokolü

Histolojik incelemeler için %10'luk formaldehit solüsyonunda dokular 48 saat fikse edildi. Fazla fiksatifin uzaklaştırılması için, fikse edilen dokular bir gece boyunca akarsu da bekletildi. Rutin doku takibindeki tüm işlemler 60 °C etüvde gerçekleştirildi. Dokular, %70'den %96'ya artacak şekilde, etil alkol serilerinden 20'şer dakika geçirilerek dehidrasyon gerçekleştirildi. Daha sonra, aseton çözeltisiyle her biri 20 dakika süren dört işlem gördükten sonra, iki kez 30 dakika boyunca ksilolde bekletildi. 60 °C'lik etüvde, her biri bir saat süren iki kez parafin daldırma işlemi uygulanarak, dokular parafin blokların içine yerleştirildi. Döner (Rotary) mikrotom cihazı (RM 2255, Leica) yardımıyla 5 µ kalınlığında kesitler alındı.

2.2. Hematoksilen ve Eozin Protokolü

Alınan kesitler deparafinizasyon işlemi için 1 gece 60°C'lik etüvde tutuldu. Ardından ilki etüvde diğer ikisi oda sıcaklığında 20'şer dakikalık sürelerle ksilole tabi tutuldu. Ardından, rehidratasyon işlemi için kesitler, 5 farklı azalan konsantrasyonlardaki alkol serilerinden (absolü - %70) geçirilerek, distile su ile çalkalandı. Daha sonra, 10 dakika boyunca Hematoksilen ile nükleusların boyanması sağlandı. Boyamanın ardından, fazla boyayı

uzaklaştırmak için kesitler 10 dakika boyunca akan su altında yıkandı ve 2 dakika boyunca Eozin ile boyanarak hücre sitoplazmasının boyanması sağlandı. Boyama işleminden sonra, kesitler sırasıyla %70, %80, %96 ve iki seri absolü alkol ile işleme tabi tutuldu. Şeffaflaştırma amacıyla, kesitler üç kez 20'şer dakika ksilolde bekletildi ve ardından sentetik reçine (Entellan) ile kapatıldı."

3. Bulgular

1. Grup (kollajen+PRP) ile 2. Grup (lif kabağı+PRP) karşılaştırıldığında iyileşmenin fibröz doku ve kırık doku karışımı olduğu gözlenmektedir. İyileşme alanında bağ dokunun yoğunlukta olduğu görülmektedir (Şekil 3). Fibröz doku ile birlikte kırık doku hücre grupları da iyileşme bölgesine katılmıştır. 2. Grupta (lif kabağı+PRP) ise iyileşme gözlenmemiş ancak az miktarda hasar yüzeyinde kırık doku hücre oluşumu izlenmiştir.

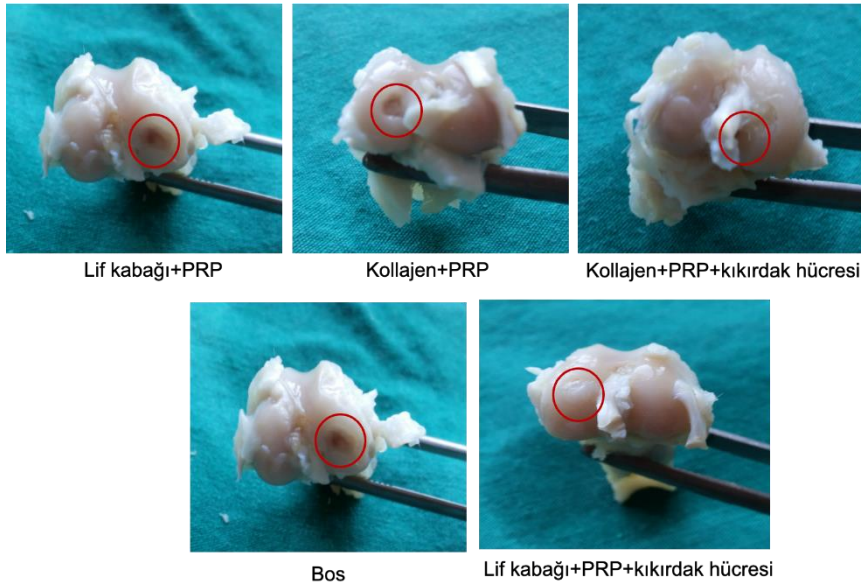
3. grup (kollajen+PRP+kırık doku hücresi ekilmiş grup) ile 4. grup (lif kabağı+PRP+kırık doku hücresi ekilmiş grup) karşılaştırıldığında 4. grupta iyileşme görülmüştür, yüzeyde kırık doku altında kemik doku ve vaskülarize yapıların oluşumu gerçekleşmiştir (Şekil 3).

1. Grup (kollajen+PRP) ile 3. grup (kollajen+PRP+kırık doku hücresi ekilmiş grup) karşılaştırıldığında, boş defekte hasarlı alanda herhangi bir iyileşme olmadığı ancak sadece boş defekt bölgesinde az miktarda yüzeyel düzgün bir fibröz doku varlığı görülmüştür. Fibröz dokunun yoğunlukta olduğu bölgede kırık doku hücrelerine rastlanmamıştır ve kemik dokuda herhangi bir iyileşme gözlenmemiştir.

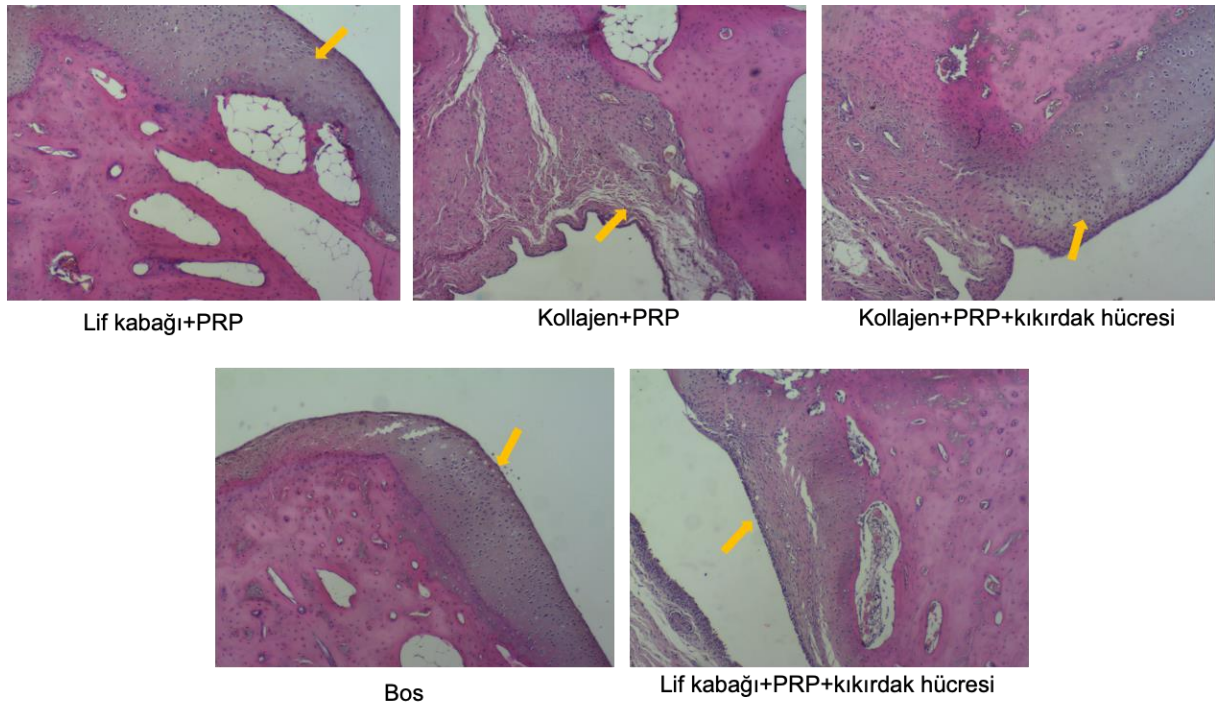
Çalışmamızda, histokimyasal incelemede 4. grup (lif kabağı+PRP+kırık doku hücresi ekilmiş grup) ile boş hasar bölgesinde irregüler bir iyileşme görülmüştür. 1. Grup (kollajen+PRP) , 3. grup (kollajen+PRP+kırık doku hücresi ekilmiş grup) ve 4. grup (lif kabağı+PRP+kırık doku hücresi ekilmiş grup) histokimyasal olarak değerlendirildiğinde, tüm gruplarda osteokondral kaynama olup, ekstraselüler matrikste gözlendi. 3. Grupta kırık defektinde hiperselüler bağ dokusu benzer şekilde gözlendi (Şekil 3). 4. Grupta ise ise diğer gruplara göre hiperselüler bağ dokusu yapısında artış izlendi ve kondrositlerin diğer gruplara göre daha fazla olduğu izlendi.



Şekil 1. Boş defekt ve Lif kabağı+PRP+kırık doku hücresi grubun implante görüntüsü.



Şekil 2. İmplantasyon sonrası (8. hafta) görüntüleri.



Şekil 3. Kondil kemik dokusunda Hematoksilen-Eozin boyama (40X büyütme). Sarı oklar kaynama dokusunu göstermektedir.

4. Tartışma

Hastaların artan beklentileri nedeniyle kırık iyileşmesine yönelik deneysel ve klinik çalışmalar yoğunlaşmış; gerekli cerrahi veya konservatif tedavi uygulanarak ve hastanın erken mobilize edilmesiyle kırık iyileşmesinin mümkün olan en hızlı şekilde sağlanması önemlidir (Ramzan ve ark., 2023). İyi biyouyumlulukları ve mekanik bütünlükleri nedeniyle doku mühendisliği iskeleleri, osteokondral defektlerin onarımı ve rejenerasyonunda temel bir yöntem haline gelmiştir (Baysan ve ark., 2023; Yang ve ark., 2024). İçsel özelliklerini geliştirmek, dejeneratif süreçlerini kontrol etmek ve hücre yapışmasını ve farklılaşmasını arttırmak

için çok sayıda iskele mimarisi ve oluşum yöntemi geliştirilmiş ve test edilmiştir (Baysan ve ark., 2022; Peng ve ark., 2023), ancak ideal iskele tasarımı hala tartışmalıdır (Ding ve ark., 2023). Ayrıca iskele, histolojik fiksasyonu, implantasyon sonrası onarımı ve yenilenmeyi önemli ölçüde etkiler (Cao ve ark., 2023; Sun ve ark., 2023). Çalışmamız, tavşanların baskı yaparak hareket etmesini ve göreceli stabilizasyon sağlayarak normal günlük yaşama dönüşlerini kolaylaştırdı. Böylece tavşanlarda mikro harekete izin vererek, kırık kaynamasının sağlanması hedeflendi.

5. Sonuç

Doğal bir selüloz kaynağı olması ve hidrofilik özelliği sahip olması nedeniyle skaffold olarak lif kabağı tercih edilmiştir. Elde edilen doku iskeleleri bu açıdan uygun olup, kemik kırıkardak doku mühendisliği alanında geliştirilen yapılarla aynı biyoyumlu özelliklere sahiptir. Doku iskeleleri için toksik özellik göstermemiş ve hücrelerin çoğalmasını olumlu yönde etkilemiştir. Geliştirilen bu doku iskeleleri, hücrelerle birlikte klinik ortamda saklanması yoluyla ticari olarak da kullanılabilir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	B.U.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100
PY	100
FA	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedir.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar kullanıldığı için Dokuz Eylül Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu (onay tarihi: 01 Mayıs 2016, onay numarası: 2016-05) onayı alınmıştır.

Kaynaklar

Alshammari A, Alabdah F, Wang W, Cooper G. 2023. Virtual design of 3D-printed bone tissue engineered scaffold shape using mechanobiological modeling: Relationship of scaffold pore architecture to bone tissue formation. *Polymers*, 15(19): 3918.

Baysan G, Colpankan Gunes O, Akokay P, Husemoglu RB, Ertugruloglu P, Ziyilan Albayrak A, Havitcioglu H. 2022. Loofah-chitosan and poly (-3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV) based hydrogel scaffolds for meniscus tissue engineering applications. *Int J Biol Macromol*, 221: 1171-1183.

Baysan G, Gunes O C, Turemis C, Akokay Yilmaz P, Husemoglu R B, Kara Ozenler A, Cecen B. 2023. Using loofah reinforced chitosan-collagen hydrogel based scaffolds in-vitro and in-

vivo; healing in cartilage tissue defects. *Materialia*, 31: 101881.

Blazquez-Carmona P, Mora-Macías J, Martínez-Vázquez FJ, Morgaz J, Domínguez J, Reina-Romo E. 2023. Mechanics predicts effective critical-size bone regeneration using 3d-printed bioceramic scaffolds. *Tissue Eng Regen Med*, 20(6): 893-904.

Cao Y, Zhang H, Qiu M, Zheng Y, Shi X, Yang J. 2023. Biomimetic injectable and bilayered hydrogel scaffold based on collagen and chondroitin sulfate for the repair of osteochondral defects. *Int J Biol Macromol*, 257(Pt 1):128593.

Ding Q, Zhang S, Liu X, Zhao Y, Yang J, Chai G, Ding C. 2023. Hydrogel Tissue Bioengineered Scaffolds in Bone Repair: A Review. *Molecules*, 28(20): 7039.

Göransson H. 1993. Callus formation after re-injury to experimental bone defect. *Arch Orthop Trauma Surg*, 112(5): 232-235.

Han W, He W, Yang W, Li J, Yang Z, Lu X, Qian Y. 2016. The osteogenic potential of human bone callus. *Sci Rep*, 6(1): 36330.

Li H, Hu C, Yu H, Chen C. 2018. Chitosan composite scaffolds for articular cartilage defect repair: A review. *RSC Adv*, 8(7): 3736-3749.

Liu M, Yu X, Huang F, Cen S, Zhong G, Xiang Z. 2013. Tissue engineering stratified scaffolds for articular cartilage and subchondral bone defects repair. *Orthopedics*, 36(11): 868-873.

Liu Q, Liu Z, Guo H, Liang J, Zhang Y. 2022. The progress in quantitative evaluation of callus during distraction osteogenesis. *BMC Musculoskeletal Disord*, 23(1): 490.

Mito K, Lachnish J, Le W, Chan C, Chang Y L, Yao J. 2023. Scaffold-Free Bone Marrow-Derived Mesenchymal Stem Cell Sheets Enhance Bone Formation in a Weight-Bearing Rat Critical Bone Defect Model. *Tissue Eng Part A*, 30(3-4):107-114.

Peng Y, Zhuang Y, Liu Y, Le H, Li D, Zhang M, Ding J. 2023. Bioinspired gradient scaffolds for osteochondral tissue engineering. *Exploration*, 3: 20210043.

Ramzan F, Salim A, Khan I. 2023. Osteochondral tissue engineering dilemma: Scaffolding trends in regenerative medicine. *Stem Cell Rev Rep*, 19(6): 1615-1634.

Sakeena Q, Makhdoomi DM, Rather SA, Parrah JUD, Dar SH, Gugjoo MB. 2023. Radiographic evaluation of healing potential of stem cell-loaded scaffold in experimental bone defect. *SKUAST J Res*, 25(3): 506-510.

Sun J, Qin L, Wang D, Zhao H, Gong M, Dong X, Zhou W. 2023. Fabrication of novel printable artificial bone composites used as cartilage scaffolds by an additive manufacturing process. *J Appl Polym Sci*, 140(43): e54576.

Suzuki T, Matsuura Y, Yamazaki T, Akasaka T, Ozone E, Matsuyama Y, Ohtori S. 2020. Biomechanics of callus in the bone healing process, determined by specimen-specific finite element analysis. *Bone*, 132: 115212.

Uthgenannt BA, Kramer MH, Hwu JA, Wopenka B, Silva MJ. 2007. Skeletal self-repair: stress fracture healing by rapid formation and densification of woven bone. *J Bone Miner Res*, 22(10): 1548-1556.

Yang F, Li Y, Wang L, Che H, Zhang X, Jahr H, Wang J. 2024. Full-thickness osteochondral defect repair using a biodegradable bilayered scaffold of porous zinc and chondroitin sulfate hydrogel. *Bioact Mater*, 32: 400-414.

Zhang Y, Liu X, Zeng L, Zhang J, Zuo J, Zou J, Chen X. 2019. Polymer fiber scaffolds for bone and cartilage tissue engineering. *Adv Funct Mater*, 29(36): 1903279.



MAKİNE ÖĞRENMESİ TEKNİKLERİNİN SÜRÜŞ STİLİ SINIFLANDIRMASINDA KULLANIMI

Doğan YILDIZ^{1*}, Gülcan YILDIZ², Sercan DEMİRCİ²

¹Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 55239, Samsun, Türkiye

²Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 55239, Samsun, Türkiye

Özet: Sürücü davranışlarının trafik güvenliğine önemli derecede etkisi vardır. Bu nedenle, sürücülerin davranışsal örüntüleri ve bu örüntüleri etkileyen etmenler tanımlanmalıdır. Sürücüler, araçlarını daha verimli ve kurallara uygun kullanmaya yönlendirilmelidir. Bu bağlamda, sürücünün aracını nasıl kullandığı gözlemlenerek, sürücülerin sürüş risk derecelerine uygun olarak sigorta ya da kasko ücretleri belirlenebilir. Bu çalışmada, Araç İçi Teşhis (On Board Diagnostics-II, OBD-II) ve Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System, GPS) cihazlarından alınan işlenmiş ve etiketlenmiş telemetri verileri ile Makine Öğrenmesi (Machine Learning, ML) algoritmaları kullanılarak sürücülerin risk gruplarının sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. OBD-II ile araçtan elde edilen verilerin işlenerek sürücülerin risk derecesinin belirlenip bu risk derecesine göre sigorta şirketlerinin kişiye özel sigorta ücreti belirlenmesinde yardımcı rol oynanması planlanmaktadır. Çalışmada Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine, SVM, CatBoost, k-NN (k-nearest neighbors, K-En yakın komşuluk) ve Hafif Gradyan Artırma Makinesi (Light Gradient Boosting Machine, LGBM)) olmak üzere dört model kullanılmıştır. Test sonuçları incelendiğinde en iyi tanıma SVM modeli ile erişilmiştir.

Anahtar kelimeler: Sınıflandırma, Tanıma, Makine öğrenmesi, Sürücü davranışları

Driving Style Classification Using Machine Learning Techniques

Abstract: Driver behavior has a significant impact on traffic safety. Therefore, drivers' behavioral patterns and the factors affecting these patterns should be identified. Drivers should be directed to use their vehicles more efficiently and in accordance with the rules. In this context, by observing how the driver uses his vehicle, insurance or car insurance fees can be determined in accordance with the drivers' driving risk levels. In this study, the risk groups of drivers are classified using Machine Learning (ML) algorithms with processed and labeled telemetry data obtained from On Board Diagnostics-II (OBD-II) and Global Positioning System (GPS) devices. It is planned to determine the drivers' risk level by processing the data obtained from the vehicle with OBD-II and to play an auxiliary role in determining the personal insurance fee of the insurance companies according to this risk level. Support Vector Machine (SVM), CatBoost, k-NN (k-nearest neighbors), and Light Gradient Boosting Machine (LGBM) were used in the study. The best recognition was achieved with the SVM model.

Keywords: Classification, Recognition, Machine learning, Driver behaviors

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 55239, Samsun, Türkiye

E mail: dogan.yildiz@omu.edu.tr (D. YILDIZ)

Doğan YILDIZ <https://orcid.org/0000-0001-9670-4173>

Gülcan YILDIZ <https://orcid.org/0000-0001-8631-8383>

Sercan DEMİRCİ <https://orcid.org/0000-0001-6739-7653>

Gönderi: 24 Mart 2024

Kabul: 10 Temmuz 2024

Yayınlanma: 15 Temmuz 2024

Received: March 24, 2024

Accepted: July 10, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Yıldız D, Yıldız G, Demirci S. 2024. Driving style classification using machine learning techniques. BSJ Eng Sci, 7(4): 756-763.

1. Giriş

Sürücülere kendi sürüş davranışları hakkında geri bildirimde bulunmak ve dolayısıyla sürücülerin daha doğru ve güvenli sürüş deneyimleri edinmelerine katkı sağlamak amacıyla, araç kullanımı sırasında araç içerisinde oluşan veriler kullanılabilir. Veri sınıflandırma için literatürde çeşitli sınıflandırma modelleri geliştirilmiştir. Ancak, hangi sınıflandırıcının sürüş stillerini belirlemede daha iyi performans gösterdiği konusunda fikir birliği yoktur. Bu nedenle, sınıflandırma modellerinin bahsedilen amaç doğrultusunda değerlendirilebilmesi için farklı performans metriklerini kullanan daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu söylenebilir (Silva ve Eugenio Naranjo, 2020).

Dikkatsiz ve agresif sürüş, trafik kazalarının en yaygın nedenlerindedir. Riskli sürüş davranışları, önemli

maddi ve manevi zararlara yol açan kazalara sebebiyet verebilir. Bu bağlamda, trafik kazalarının azaltılması ve yol güvenliğinin sağlanması için sürücü davranışlarının izlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, sürücülerin sürüş tarzlarının tanınması amacıyla güvenilir ve etkili tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IoT) teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte, uygun sensörler kullanılarak sürücünün sürüş özelliklerinin uzaktan izlenmesi, tanınması ve sürüş davranışının modellenmesi mümkün hale gelmiştir (Mohammed ve ark., 2023).

Literatürde, sürücü davranışlarının izlenmesi problemine önerilen bazı çalışmalar mevcuttur. Örneğin Warren ve ark. (2019) çalışmasında, akıllı telefon verileri kullanılarak sürüş davranışları için kümeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. San Francisco metropol bölgesindeki



trafik hızının ve farklı bölgelerdeki sürücülerin manevralarının modellenmesinde, şehirdeki beş yüz sürücülerden alınan cep telefonu sensör verileri kullanılmıştır. Sürücüler, sürüş davranışlarına göre gruplandırılmıştır. Araştırmacılar San Francisco şehrindeki sürücü davranışının; agresif sürücüler, temkinli sürücüler ve agresif dönüşler yapan temkinli sürücüler gibi farklı gruplara ayrılabilirliğini bulmuşlardır. Zhang ve ark. (2019) çalışmasında, otonom sürüş ve yol güvenliği konusunda Derin Öğrenme (Deep Learning, DL) kullanımının, sürücü davranışlarını tanıma ve doğruluğunu iyileştirme konusunda umut verici olduğu öne sürülmüştür. Bunun için altı eksenli bir hareket işlemcisi kullanan araç sürüş davranışı tanıma yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemde, yerleşik bir sensör tarafından toplanan örnek verileri öğrenmek için DL teknolojisi kullanılmıştır. Küçük örneklem boyutu ve kolay fazla uydurma problemini çözmek için, ortak bir veri artırma (Joint Data Augmentation, JDA) şeması önerilmiş ve yeni birçok-görünümlü evrişimli sinir ağı modeli (Multi-View Convolutional Neural Network, MV-CNN) tasarlanmıştır. CNN modeli ile bilgi yayılımının yönü iyileştirilmiş ve sürüş davranışının eğitimi, öğrenilmesi ve tanınması için yeni bir MV-CNN modeli geliştirilmiştir. Araç hareketleri hızlanma, sola dönüş, sağa dönüş, çarpışma ve normal sürüş olmak üzere beş sınıfa ayrılmıştır. MV-CNN'nin performansı deneysel olarak CNN, Özyinelemeli Sinir Ağları (Recurrent Neural Network, RNN), Uzun Kısa Süreli Bellek (Long Short-Term Memory, LSTM), CNN+LSTM ve üç boyutlu CNN ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, bu yöntemlerle karşılaştırıldığında MV-CNN'nin en iyi hatırlama, kesinlik ve F1 puanını elde ettiğini göstermektedir.

Zantalis ve ark. (2019) çalışmasında, akıllı ulaşım sistemleri içerisindeki Makine Öğrenmesi (Machine Learning, ML) ve IoT uygulamalarının bağımsız bir incelemesi yapılmıştır. Akıllı ulaşım sistemi uygulama kategorileri için IoT yaklaşımlarının; rota optimizasyonu, park etme ve kaza önleme gibi konularda oldukça kullanışlı olduğu sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak bu çalışmada, IoT ve ML yardımıyla akıllı ulaşım alanında şimdiden çok büyük ilerlemeler gözlemlendiği vurgulanmıştır. Silva ve Eugenio Naranjo (2020), iki farklı şehirden 50 sürücünün verilerini içeren bir çalışmadır. Ham verilerden beş özellik çıkarılmıştır. Veri kümesinin gerçek değerini türetmek için veri etiketlemesine 15 uzman katılmıştır. Elde edilen veri kümesi, beş farklı modelle (Destek Vektör Makineleri, (Support Vector Machine, SVM), Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks, ANN), Bulanık Mantık (Fuzzy Logic, FL), k-En Yakın Komşu (k-Nearest Neighbor, k-NN) ve Rastgele Ormanlar (Random Forests, RF)) işlenmiştir. Bu modeller, bir dizi performans metriği ve istatistiksel testlerle değerlendirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, değerlendirmeye konu performans metrikleriyle SVM'nin diğer dört modele göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. SVM, ortalama doğrulukta %0.96, F1-Skorunda %0.9595, Eğri Altında Kalan Alan (Area Under

Curve, AUC) değerinde %0.9730 ve Kappa değerinde %0.9375 başarı elde etmiştir. Ayrıca, Wilcoxon testleri, ANN'nin diğer dört modele göre farklı tahminler yaptığını göstermiştir.

Bao ve ark. (2020) çalışması, sürücülerin otobanda şerit değiştirmeleri sırasında ortaya çıkan kişiselleştirilmiş öznel sürüş riskinin modellenmesini amaçlayan yeni bir yaklaşım sunmuştur. Dolayısıyla, sürüş esnasındaki öznel riski etkileyen faktörleri belirlemek bu çalışmadaki temel amaçtır. Buna yönelik olarak sürüş sinyalleri ve çevredeki araç konumları belirtilen amaç için kullanılmıştır. Ayrıca, belirli bir bireyin öznel durumunu tahmin etmek için şerit değiştirmeden hemen önceki risk seviyesi belirlenmeye çalışılmıştır. Risk faktörlerinin analizinde, Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms, GA) tarafından optimize edilmiş RF tabanlı bir yöntem kullanılmıştır. Öznel riski çift yönlü bir LSTM ile tahmin etmek amacıyla birleşik çerçeveli kişiselleştirilmiş öznel sürüş riski modeli önerilmiştir. Sonuçlar, öznel risk faktörlerinin bireysel farklılıklarının çıkarılabileceğini ve bireyselleştirilmiş risk faktörlerinin tanımlanmasının, kişiselleştirilmiş öznel sürüş riskinin daha iyi modellenmesine yol açtığını göstermektedir. Öznel risk algısının bireylerin kişisel faktörlerinden etkilendiği doğrulanmış ve önerilen entegre bireysel modelin daha iyi risk değerlendirme performansına ulaştığı gösterilmiştir. Marafie ve ark. (2021) çalışmasında akıllı bir Yapay Zeka (Artificial Intelligence, AI) aracı olan AutoCoach sunulmaktadır. Autocoach ayrıca, ML algoritmaları kullanarak sürücülerini farklı sürücü kişilik gruplarına göre sınıflandırabilmektedir. Buna göre kişiselleştirilmiş ve yapıcı bir geri bildirim sağlamak amacıyla, bir sürücünün geçmiş sürüş verileri toplanmış, analiz edilmiş ve bu verilerden öğrenme uygulaması yapılmıştır. Bu işlemler için bulut tabanlı bir Android uygulaması oluşturulmuştur. Çalışmada yeterli veriye sahip 36 sürücü, güvenlik sırasına göre en iyi, iyi, ortalama ve en kötü sürücüler olmak üzere dört gruba ayrılmıştır. Bu gruplar, modeldeki en yüksek riskli dönüş özelliğine dayanarak etiketlenmiştir. Çalışma sonuçları tasarımın, kişilik temelli bir sürüş aracı kullanılırken kullanıcı deneyimini geliştirmede etkili olduğunu kanıtlamaktadır.

Yuksel ve Atmaca (2021) çalışmasında, ivmeölçer ve jiroskop sensörlerinden elde edilen veriler kullanılarak dört ana riskli sürüş davranışı modellenmesi yapılmış ve sürücü profilleri oluşturulmuştur. C4.5 Karar Ağacı, RF, ANN, SVM, k-NN, Naif Bayes ve K-Star algoritmaları gibi yaygın kullanılan ML algoritmaları davranış analizinde kullanılmıştır. Riskli sürüş davranışları ve risk seviyeleri trafik memurlarının uzman görüşleri doğrultusunda değerlendirilmiş ve sürücü riski, FL yöntemiyle modellenmiştir. Deneylerde, K-Star algoritması %100 doğrulukla en başarılı algoritma olmuştur. Sonuç olarak, sürücünün kara kutusu olarak işlev gören yüksek doğruluklu ve düşük maliyetli bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem araçlara entegre edilebilir, sürücünün davranışlarını kaydedebilir ve riskli davranışları

belirleyebilir. Ayrıca, sigorta şirketlerine kullanıma göre politikalar belirleme imkanı sunar. Örneğin sigorta şirketleri, güvenli sürüş yapan müşterilerini düşük araç sigortası primleri ile ödüllendirebilir. Escottá ve ark. (2022) çalışmasında 1D ve 2D CNN'lere dayanan denetimli DL modelleri incelenmiştir. Bu modeller, aracın gösterge paneline yerleştirilmiş bir akıllı telefonun Atalet Ölçüm Birimi (Inertial Measurement Unit, IMU) sensörlerinden elde edilen doğrusal ivme ve açısal hız sinyallerini kullanarak sürüş etkinliklerini sınıflandırmak amacıyla kullanılmıştır. Hızlanma, frenleme, şerit değiştirme ve dönme gibi sürüş olaylarının izlenmesiyle agresif ve agresif olmayan davranışlar tespit edilebilmektedir. Elde edilen deneysel sonuçlarda en iyi sınıflandırma modeli ile %82.40'a kadar doğruluk değerlerine ve sırasıyla %75.36 ve %82.40 olan makro ve mikro ortalama F1 puanlarına ulaşılmıştır. Bu da sürüş etkinliklerinin sınıflandırmasındaki elde edilen yüksek performansı göstermektedir.

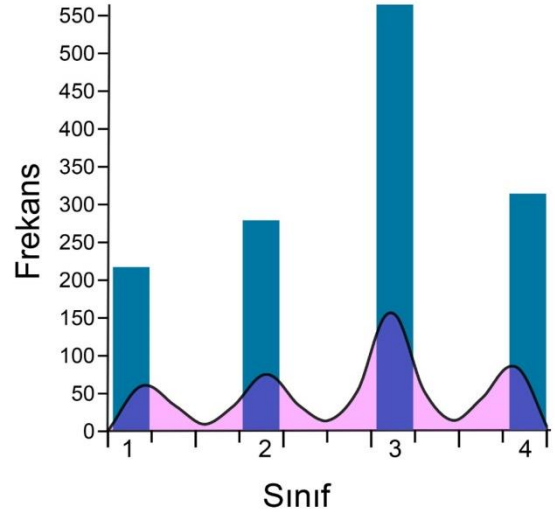
Malik ve Nandal (2023) çalışmasında Araca Yerleşik Teşhis-II (On-Board Diagnostic, OBD-II) araç teşhis sistemi ve ML algoritmaları ile elde edilen bilgilere dayanarak sürücü davranışlarının etkinliği ve iyileştirilme potansiyelleri incelenmiştir. OBD-II'den elde edilen belirli verilerin kullanılması ve belli ML tekniklerinin uygulanmasıyla, sürücülerin neredeyse tüm davranışları modellenilebilmektedir. Sürücü-Araç-Çevre sistemine bağımlı üçlü parametrelili sistem ve bunların etkileri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Daha sonra OBD-II, Elektronik Kontrol Birimleri (Electronics Control Units, ECU) ve sürüş davranışı üzerindeki etkileri en iyi ve etkili sürüş teknikleri ve parametreleriyle birlikte ele alınmıştır. Analizde kullanılan en iyi dokuz ML algoritması, tek tek tartışılmıştır. Mohammed ve ark. (2023) çalışmasında temel amaç, bir elektronik kart sistemi kullanarak gerçek zamanlı sürüşü izlemektir. Bu amaçla, Kontrol Alan Ağı (Control Area Network, CAN) ve OBD-II standartlarına sahip her araca takılabilen veri kaydedici bir cihaz kullanılmıştır. Bu cihaz, aracın mevcut hareketlerini izleyebilen hız, motor hızı, soğutma suyu sıcaklığı ve aracın konum koordinatları gibi ana faktörleri toplamaktadır. Araç takibi ve sürücü davranışının bilinmesi için dikkate alınan tüm parametreler Dakikadaki Devir Sayısı (Revolutions per Minute, RPM), motor soğutma, sıcaklık, enlem, boylam, zaman, tarih ve hızdır. Bu bilgiler, araca takılacak olan izleme sistemi tarafından toplanmıştır. Kurulan sistem, PIC Mikrodenetleyici, MCP2551 verici alıcı, GPS modülü ve WIFI alıcı-vericisi gibi bileşenler içermektedir. Toplanan bilgiler, sabit bir IP adresi ile HTTP protokolünü kullanarak bir web sunucusuna iletilir. Daha sonra geliştirilen grafik arayüz, sunucuya bağlı web sayfasından alınan verileri okumaktadır. Tüm veriler, uzaktan izleme bloğu olarak işlev gören sanal bir gösterge tablosunda görüntülenir ve aracın sürüş ve hareket geçmişi olarak depolanır. Deney sonuçlarına göre önerilen yaklaşım, sürüşü etkili bir şekilde izleyebilmektedir.

Bu çalışmada, ML algoritmaları kullanılarak OBD-II ve

GPS cihazlarından alınan işlenmiş ve etiketlenmiş telemetri verilerinin sürücü risk gruplarına göre sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. OBD-II ile araçtan elde edilen verilerin işlenerek sürücülerin risk derecesinin belirlenmesi ve sigorta şirketlerinin bu risk derecesine göre kişiye özel sigorta ücreti belirlemede yardımcı rol oynanması planlanmaktadır. Çalışmada SVM, CatBoost, k-NN ve Hafif Gradyan Artırma Makinesi (Light Gradient Boosting Machine, LGBM) olmak üzere 4 model kullanılmıştır. Test sonuçları incelendiğinde en iyi tanıma performansına SVM modeli ile erişildiği söylenebilmektedir. Elde edilen sonuçlar, araştırmacılara sürüş stilleri sınıflandırması için hangi ML modelinin uygun olabileceği konusunda önemli fikirler vermektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, Github tarafından yayınlanan bir csv dosyasında bulunan 1366 telemetri verisini içeren bir veri seti kullanılmıştır (Judson, 2015). Kullanılan veri setindeki veriler etiketlenerek risk derecelerine göre 4 gruba ayrılmıştır. Sürücüler için tanımlanan dört kategori Yüksek, Orta, İyi, Düşük olacak şekilde düşük risk grubundan en yüksek risk grubuna doğru 1'den 4'e doğru sıralanmıştır (Judson, 2015). Şekil 1 ile veri seti içindeki 4 sınıf etiketinin dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1. Sınıf etiketlerinin dağılımı.

Orijinal veri setinde birçok öznelik olmasıyla birlikte risk kategorisinin belirleyicisi olan çok fazla öznelik yoktur. Belirleyiciliği yüksek öznelikleri tespit etmek amacıyla farklı deneyler yapılmıştır. Çalışmada kullanılan öznelikler hızlanma, şerit değiştirme, dönme ve frenlemedir (Judson, 2015).

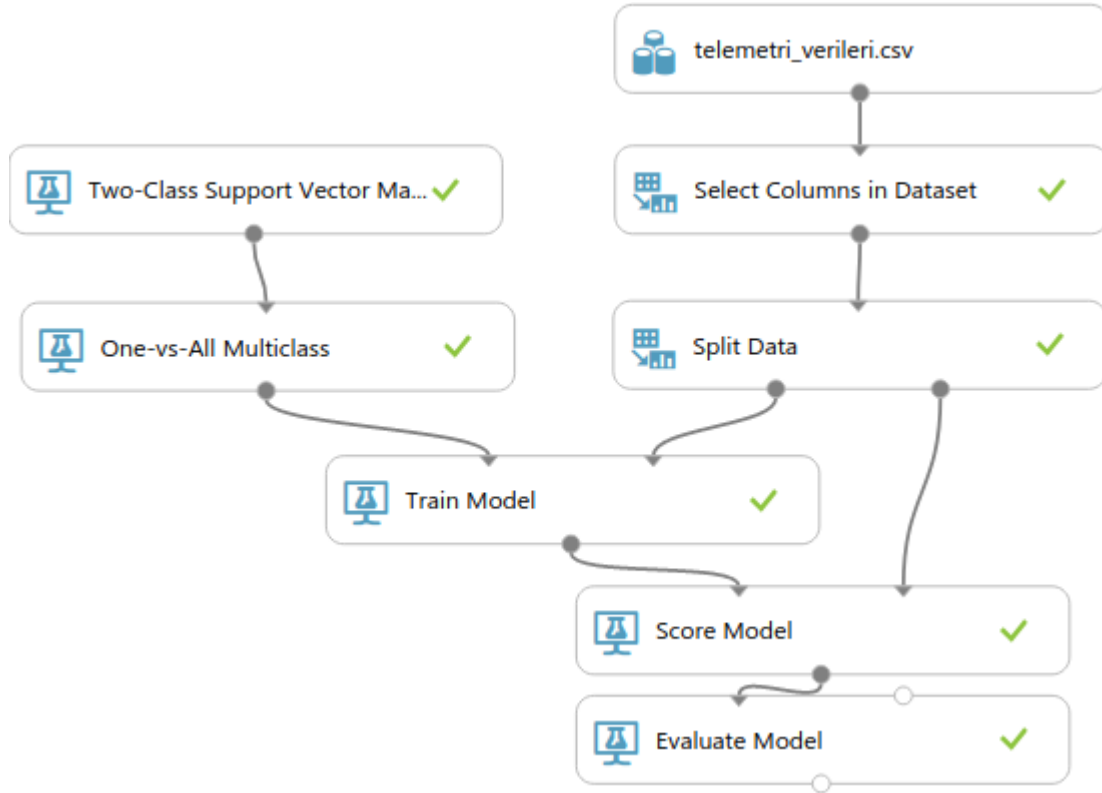
ML modelinde hızlanma, şerit değiştirme, dönme ve frenleme olmak üzere 4 farklı parametre kullanılmıştır. Tablo 1 ile ilgili veri setinden bir kesit gösterilmiştir.

2.1. Kullanılan Yöntemler

Bu çalışmada kullanılan modellerin oluşturulması ve eğitimi için Python programlama ve geliştirme dili kullanılmıştır. ML modeli eğitiminde izlenen adımlar Şekil 2 ile verilmiştir.

Tablo 1. Veri setine ait bir kesit

Sınıf Etiketi	Hızlanma	Frenleme	Dönme	Şerit Değişirme
1	0,24258265	0,41338630	0,45	0,41731518
3	0,16233399	0,12206573	0,44	0,19747082
3	0,03532071	0,05429156	0,91	0,24319066
3	0,07332580	0,09365595	0,33	0,33657588
4	0,15710653	0,06693150	0,21	0,27042802
1	0,12249223	0,32791622	0,55	0,48151751
2	0,08222662	0,15998555	0,55	0,32295720
4	0,09522464	0,06488504	0,36	0,39299611



Şekil 2. ML modeli eğitiminde izlenen adımlar.

Veri ayrıştırma (data decomposition) yoluyla çok etiketli (multi-label) bir veri seti bir ya da daha fazla tek etiketli alt kümelere bölünür. Her bir alt küme için de tercih edilen bir sınıflandırma tekniği ile ayrı bir alt sınıflandırıcı (sub-classifier) oluşturulur. Bu alt sınıflandırıcıların hepsi birleştirilerek tek birçok sınıflı sınıflandırıcı oluşturulur. Yaygın olarak kullanılan dört adet veri ayrıştırma tekniği vardır: etiket güç seti (label powerset, LP), bire karşı kalanlar (one-versus-rest, OVR), birer birer (one-by-one, OBO) ve bire karşı bir (one-versus-one, OVO).

OVR tekniğinde her sınıf için ayrı bir ikili (binary) sınıflandırıcı eğitilir. Bu eğitimde hedef sınıfın verileri pozitif, diğer tüm veriler negatif olarak kabul edilir. Yeni bir verinin sınıflandırması yapılırken eğitilen bütün sınıflandırıcılar bu verinin sınıfını tahmin eder ve en yüksek olasılıklı sınıf bu verinin sınıfı olarak seçilir. Her bir veri sınıfı için veri seti negatif ve pozitif olmak üzere iki sınıfa ayrılır ve her bir sınıfı tahmin etmek için bir ikili sınıflandırıcı eğitilir.

Bu çalışmada kullanılan yöntemler, SVM, CatBoost, k-NN ve LGBM'dir. Sınıflandırma işlemleri için ise, "scikit-learn" kütüphanesine ait OneVsRestClassifier fonksiyonu kullanılmıştır. Kullanılan parametreler için "default" seçeneği kullanılmıştır.

2.1.1. Destek vektör makinesi (SVM)

SVM'ler sınıflandırma ve regresyon problemlerinde çeşitli algoritmalar ile birlikte kullanılan denetimli öğrenme modelleridir. SVM'lerdeki amaç eldeki veri setini iki sınıfa bölen bir hiper-düzlem elde edebilmektir.

2.1.2. CatBoost

"CatBoost" ismi, "Category" (Kategori) ve "Boosting" (Arttırma) kelimelerinin birleşiminden gelen bir ML kütüphanesidir. CatBoost (Prokhorenkova ve ark., 2018), daha az parametreye sahip bir Gradyan Artırıcı Karar Ağaçları (Gradient Boosting Decision Trees, GBDT) çerçevesidir ve kategori tabanlı değişkenleri destekler. Temel öğrenici olarak simetrik karar ağaçlarını kullanarak yüksek doğruluk sağlar. CatBoost, Gradient Bias ve Prediction Shift sorunlarını çözer. Böylece aşırı

uyumun (overfitting) ortaya çıkma olasılığını azaltır ve bu sayede algoritmanın doğruluğunu ve genelleme yeteneğini artırır.

Gradient Bias, özellikle düşük örneklemlili veri kümesi durumunda, gradyan tabanlı algoritmaların doğruluğunu etkileyen bir sorundur. CatBoost, bu tür problemleri ele alırken simetrik karar ağaçlarını temel öğrenici olarak kullanarak daha dengeli bir yaklaşım benimser. Prediction Shift, modelin eğitim ve test verileri arasında farklı performans göstermesine yol açan bir durumdur. CatBoost, kategori tabanlı değişkenleri etkili bir şekilde ele alarak ve düzenlemeye (regularization) odaklanarak bu tür problemleri önlemeye yardımcı olur.

Tüm bu özellikler, CatBoost'un daha güvenilir ve doğru tahminler yapmasına ve aşırı uyum, genelleme gibi problemleri azaltmasına yardımcı olur. Sonuç olarak, CatBoost'un, çeşitli ML uygulamalarında yüksek performans ve geniş bir kullanım alanı sunan etkili bir algoritma olduğu söylenebilir (Chen ve Wu, 2022).

2.1.3. k-en yakın komşular (k-NN)

k-NN yöntemi, sınıflandırma ve tahmin yapmak için kullanılan popüler bir denetimli ML tekniğidir. Potansiyel sorunların kategorize edilmesi veya gruplandırılması gibi işlemler ile endüstride sıkça kullanılmaktadır. Özellikle benzerliği, k-NN ML modelinde yeni veri noktalarının değerlerinin belirlenmesinde kullanılır. Her yeni veri noktası, eğitim kümesindeki noktalara ne kadar yakın olduğuna bağlı olarak bir değer almaktadır (Akhiladevi ve ark., 2022).

2.1.4. Hafif gradyan artırma makinesi (LGBM)

LGBM (Ke ve ark., 2017), Microsoft tarafından 2017 yılında önerilen ve ağaç tabanlı öğrenme algoritmalarını kullanan bir gradyan artırma çerçevesidir. LGBM, derin ve bağımsız ağaçların (Rastgele Orman) birleştirilmesi yerine, sık ve zayıf ardışık ağaçların birleştirilmesiyle bir birleşik model oluşturur. Her ağaç, önceki sonuçları öğrenir ve geliştirir. LGBM, diğer tüm gradyan artırma algoritmalarından daha hızlı eğitim hızı ve doğruluk sağlar (Huang ve ark., 2022).

3. Bulgular ve Tartışma

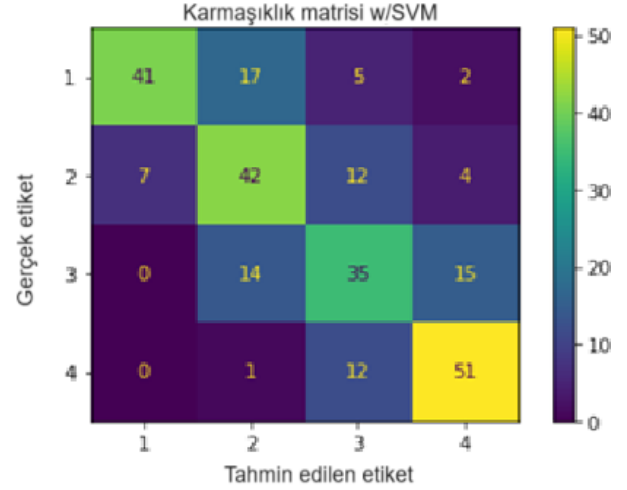
Bu çalışmada kullanılan telemetri veri seti; 1. sınıftan 215, 2. sınıftan 275, 3. sınıftan 561 ve 4. sınıftan 315 veri içermektedir. Eşit sayıda veri kullanabilmek amacıyla en düşük sayıda veri içeren sınıf etiketinin (1.) boyutu baz alınmıştır. Dolayısıyla, her bir veri sınıfından 215 adet veri alınarak toplamda 860 veri elde edilmiştir. Bu veri %70 eğitim ve %30 test olmak üzere iki gruba ayrılmıştır.

Eğitim seti üzerinde SVM, ANN, CatBoost, k-NN ve LGBM gibi algoritmalar kullanılmış ve one-vs-rest tekniğiyle beş model eğitilip test edilmiştir. Model geliştirilirken model performansını belirleyici olarak AUC metriği seçilmiş ve maliyet fonksiyonu olarak ortalama mutlak hata fonksiyonu seçilmiştir. Bu modellerin test seti üzerinde denemesi sonucu elde edilen karmaşıklık matrisleri ve Alıcı İşlem Karakteristikleri (Receiver Operating Characteristic, ROC) eğrileri de sonuçlara eklenmiştir.

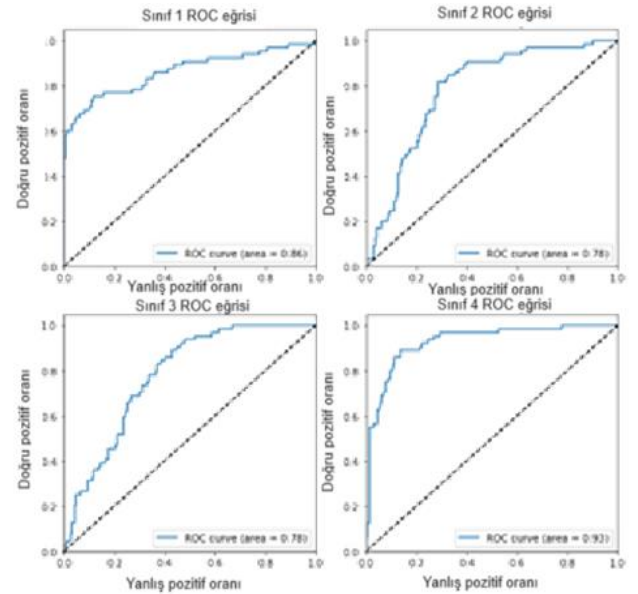
Ayrıca, tüm modellere ilişkin her bir sınıfa ait kesinlik, duyarlılık ve F1-skor sonuçları da verilmiştir.

3.1. SVM İle Elde Edilen Sonuçlar

SVM ile eğitilen modelin test seti üzerinden elde edilen karmaşıklık matrisi ve ROC eğrisi sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4 ile gösterilmiştir. Ayrıca, modelin test seti üzerinde her sınıfa ait kesinlik, duyarlılık ve F1-skor sonuçları Tablo 2 ile verilmiştir. Sonuçlara göre Sınıf 1 ve Sınıf 4, SVM'de verilen öznelikler ile diğer iki sınıfa göre daha iyi tahmin edilmiştir.



Şekil 3. SVM ile eğitilen modelin test seti üzerinden elde edilen karmaşıklık matrisi.



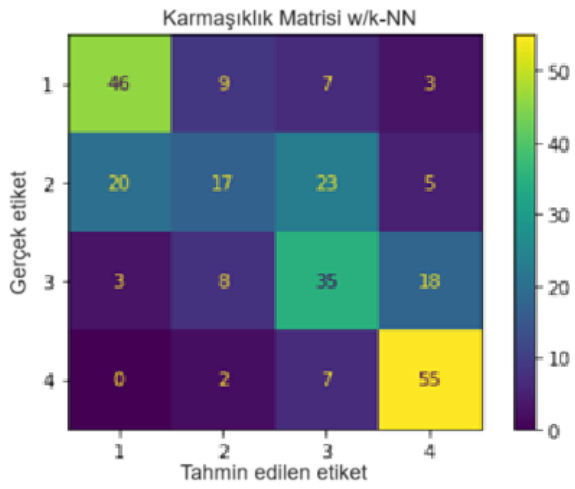
Şekil 4. SVM ile eğitilen modelin test seti üzerinden elde edilen ROC eğrisi.

Tablo 2. SVM ile eğitilen modelin test seti üzerinde her sınıfa ait kesinlik, duyarlılık ve F1-skor sonuçları

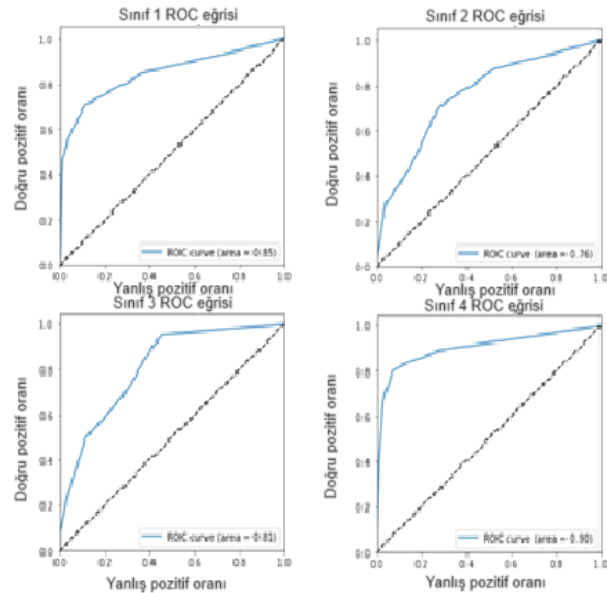
Sınıf	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skor
1	0,85	0,63	0,73
2	0,57	0,65	0,60
3	0,55	0,55	0,55
4	0,71	0,80	0,75

3.2. k-NN İle Elde Edilen Sonuçlar

Benzer şekilde, k-NN ile eğitilen modelin test seti üzerinden elde edilen karmaşıklık matrisi ve ROC eğrisi sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6 ile gösterilmiştir. Ayrıca modelin test seti üzerinde her sınıfa ait kesinlik, duyarlılık ve F1-skor sonuçları Tablo 3 ile verilmiştir. Sonuçlara göre Sınıf 4, en yüksek F1-skor değeri ile en iyi tanıma oranına sahiptir. Bu sınıfı sırasıyla Sınıf 1, 3 ve 2 takip etmektedir. SVM ile benzer olarak 2 ve 3 etiketine sahip sınıflar diğer iki sınıfa göre daha düşük tanıma doğruluğuna sahiptir.



Şekil 5. k-NN ile eğitilen modelin test seti üzerinden elde edilen karmaşıklık matrisi.



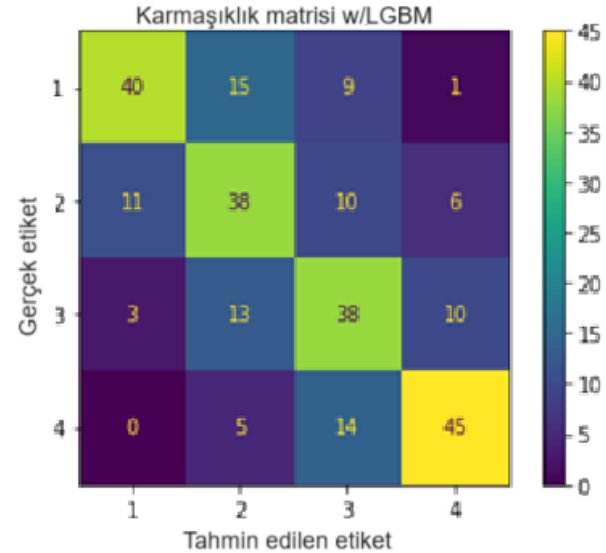
Şekil 6. k-NN ile eğitilen modelin test seti üzerinden elde edilen ROC eğrisi.

Tablo 3. k-NN ile eğitilen modelin test seti üzerinde her sınıfa ait kesinlik, duyarlılık ve F1-skor sonuçları

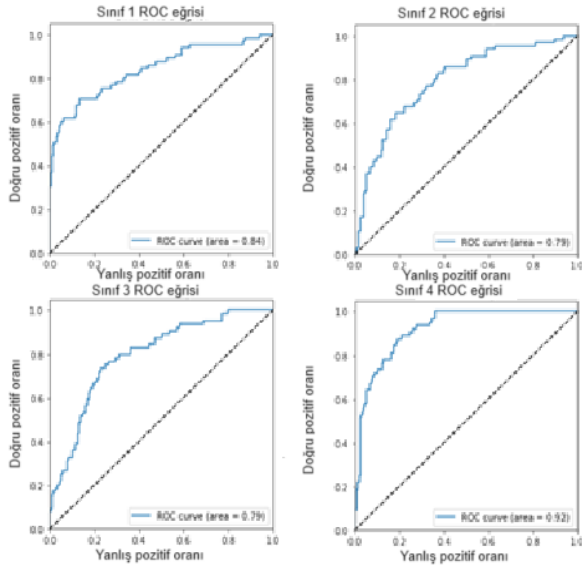
Sınıf	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skor
1	0,67	0,71	0,69
2	0,47	0,26	0,34
3	0,49	0,55	0,51
4	0,68	0,86	0,76

3.3. LGBM ile elde edilen sonuçlar

LGBM ile eğitilen modelin test seti üzerinden elde edilen karmaşıklık matrisi ve ROC eğrisi Şekil 7 ve Şekil 8 ile sırasıyla gösterilmiştir. Ayrıca, modelin test seti üzerinde her sınıfa ait kesinlik, duyarlılık ve F1-skor sonuçları Tablo 4 ile verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, daha düşük olmakla birlikte SVM'ye yakın değerlerin elde edildiği görülmektedir. 1 ve 4 etiketli sınıflar, 2 ve 3 etiketli sınıflardan daha iyi tahmin edilmiştir.



Şekil 7. LGBM ile eğitilen modelin test seti üzerinden elde edilen karmaşıklık matrisi.



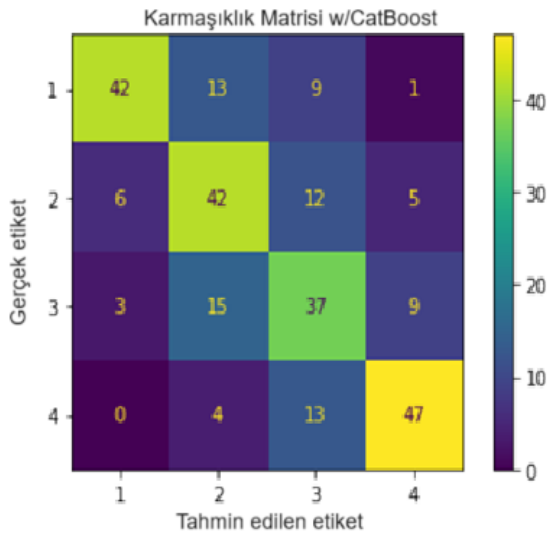
Şekil 8. LGBM ile eğitilen modelin test seti üzerinden elde edilen ROC eğrisi.

Tablo 4. LGBM ile eğitilen modelin test seti üzerinde her sınıfa ait kesinlik, duyarlılık ve F1-skor sonuçları

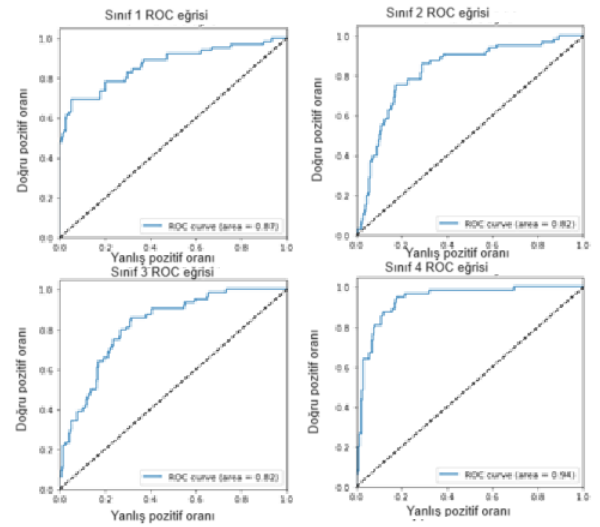
Sınıf	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skor
1	0,74	0,62	0,67
2	0,54	0,58	0,56
3	0,54	0,59	0,56
4	0,73	0,70	0,71

3.4. CatBoost ile elde edilen sonuçlar

CatBoost ile eğitilen modelin test seti üzerinden elde edilen karmaşıklık matrisi ve ROC eğrisi Şekil 9 ve Şekil 10 ile sırasıyla gösterilmiştir. Ayrıca, modelin test seti üzerinde her sınıfa ait kesinlik, duyarlılık ve F1-skor sonuçları Tablo 5 ile verilmiştir. Bu model, uygulanan modeller arasında ikinci en yüksek doğruluk değerine sahiptir. LGBM yönteminden daha yüksek olmak üzere, benzer şekilde 1 ve 4 etiketli sınıflar, 2 ve 3 etiketli sınıflardan daha iyi tahmin edilmiştir.



Şekil 9. CatBoost ile eğitilen modelin test seti üzerinden elde edilen karmaşıklık matrisi.



Şekil 10. CatBoost ile eğitilen modelin test seti üzerinden elde edilen ROC eğrisi.

Tablo 5. CatBoost ile eğitilen modelin test seti üzerinde her sınıfa ait kesinlik, duyarlılık ve F1-skor sonuçları

Sınıf	Kesinlik	Duyarlılık	F1-skor
1	0,82	0,65	0,72
2	0,57	0,65	0,60
3	0,52	0,58	0,55
4	0,76	0,73	0,75

Tüm modellerin test doğruluk sonuçları Tablo 6 ile verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek doğruluğa %66 değeriyle SVM ile erişildiği görülmektedir. Bu modeli, Catboost algoritması %65 ile takip etmiştir. Tüm modeller arasında en düşük tanıma doğruluğuna k-NN ile ulaşılmıştır. Ayrıca verilen ROC eğrileri, karmaşıklık matrisleri ve diğer karşılaştırma metriklerine bakıldığında eğitilen beş modelin düşük risk ve yüksek risk grubundaki sürücülerini başarı ile ayırt edebildiği, normal risk ve orta risk grubundaki sürücülerin ise, özellikle k-NN algoritması ile aynı başarı ile ayırt edilemediği görülmüştür. Bunun sebebinin de veri setinde bulunan normal risk ve orta risk grubundaki verilerin birbirine yakın olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Tablo 6. Tüm modellerin test doğruluk sonuçları

Model	Doğruluk
SVM	0,66
KNN	0,59
LGBM	0,62
CatBoost	0,65

4. Sonuç

Çoğu kaza, tehlikeli sürüş davranışlarının sonucudur ve bunlar büyük bedensel ve maddi zararlara yol açar. Ayrıca, kaza sayısındaki artışı durdurmak için tehlikeli sürücü davranışlarını tanımak ve insanları sürüş davranışlarına göre sınıflandırmak gerekir. Sensör

teknolojisindeki gelişmeler ve bu teknolojilerin gömülü sistemlere veya OBD sistemine entegre edilebilmesi sayesinde, güvenilir bir sürücü davranışı geliştirmek mümkün hale gelmiştir. Bu çalışmada, OBD-II ve GPS cihazlarından alınan telemetri verileri kullanılarak ML yöntemleriyle sürüş riskleri sınıflandırması yapılmıştır. Bu sınıflandırma için veriye dayalı ML yöntemlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Dört farklı model eğitilmiş ve test sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, en yüksek sınıflandırma doğruluğuna SVM ile ulaşıldığı görülmüştür. Ayrıca, genel olarak tüm modellerde yüksek ve düşük risk grubu, orta ve normal risk grubuna göre daha iyi tahmin edilmiştir. Orta ve normal risk verileri arasında önemli farkların olmaması, tanımının az olmasına neden olmuş olabilir. Ayrıca, ikisi de ara seviye riskleri temsil ettiği için benzer sonuçlar üretebilmektedir. Ek olarak dikkat edilecek diğer bir husus, tüm modellerde yüksek riskli veriler, hiçbir zaman düşük risk olarak değerlendirilmemiştir. Bu da modelin gerçek zamanlı uygulanması durumunda önemlidir. Gelecek çalışmalarda ANN gibi farklı modeller karşılaştırmaya dâhil edilebilir. Ek olarak modellerin performanslarını karşılaştırmak için farklı metrikler çalışmaya eklenebilir. Örneğin model karmaşıklığı, model eğitim ve test hızı eklenebilir. Ayrıca, gerçek zamanlı uygulama yapılarak çalışma genişletilebilir. Literatürde bulunan veri setlerine bu çalışmada kullanılan modeller uygulanarak performans karşılaştırması yapılabilir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazar(lar)ın katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	D.Y.	G.Y.	S.D.
K	30	30	40
T	35	30	35
Y	25	25	50
VTI	25	35	40
VAY	30	40	30
KT	35	30	35
YZ	45	35	20
KI	35	35	30
GR	50	25	25
PY	35	20	45
FA			100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Etik Onay Beyanı

Bu çalışmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

- Akhiladevi M, Anitha K, Amrutha K, Amrutha M, Chandanashree K. 2022. Accident prediction using KNN algorithm. Fourth International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT): 26-27 December, Karnataka, India, pp: 1-5.
- Bao N, Carballo A, Miyajima C, Takeuchi E, Takeda K. 2020. Personalized subjective driving risk: Analysis and prediction. J Robot Mechatron, 32(3): 503-519.
- Chen H, Wu T. 2022. An improved CatBoost algorithm for red fox optimization in the field of anomaly detection. 2nd International Conference on Computer Science and Blockchain (CCSB), 28-30 October, Wuhan, China, pp: 148-153.
- Escottá Á T, Beccaro W, Ramírez M A. 2022. Evaluation of 1D and 2D deep convolutional neural networks for driving event recognition. Sensors, 22(11): 4226.
- Huang Y, Jafari M, Jin P. 2022. Driving safety prediction and safe route mapping using in-vehicle and roadside data. arXiv, 2022: 2209.05604.
- Judson I R. 2015. Assigning driver risk. <https://github.com/irjudson/AssigningDriverRisk> (accessed date: May 12, 2023).
- Ke G, Meng Q, Finley T, Wang T, Chen W, Ma W, Ye Q, Liu T-Y. 2017. Lightgbm: A highly efficient gradient boosting decision tree. Adv Neural Inform Process Systems, 30: 1-9.
- Malik M, Nandal R. 2023. A framework on driving behavior and pattern using On-Board diagnostics (OBD-II) tool. Materials Today: Proc 80: 3762-3768.
- Marafie Z, Lin K-J, Wang D, Lyu H, Liu Y, Meng Y, Ma J. 2021. AutoCoach: an intelligent driver behavior feedback agent with personality-based driver models. Electronics, 10(11): 1361.
- Mohammed K, Abdelhafid M, Kamal K, Ismail N, Ilias A. 2023. Intelligent driver monitoring system: An Internet of Things-based system for tracking and identifying the driving behavior. Comput Stand Interfaces, 84: 103704.
- Prokhorenkova L, Gusev G, Vorobev A, Dorogush A V, Gulin A. 2018. CatBoost: unbiased boosting with categorical features. Adv Neural Inform Process Systems, 31: 1-11.
- Silva I, Eugenio Naranjo J. 2020. A systematic methodology to evaluate prediction models for driving style classification. Sensors, 20(6): 1692.
- Warren J, Lipkowitz J, Sokolov V. 2019. Clusters of driving behavior from observational smartphone data. IEEE Intelligent Transport Systems Magazine, 11(3): 171-180.
- Yuksel A, Atmaca S. 2021. Driver's black box: A system for driver risk assessment using machine learning and fuzzy logic. J Intelligent Transport Systems, 25(5): 482-500.
- Zantalis F, Koulouras G, Karabetsos S, Kandris D. 2019. A review of machine learning and IoT in smart transportation. Future Internet, 11(4): 94.
- Zhang Y, Li J, Guo Y, Xu C, Bao J, Song Y. 2019. Vehicle driving behavior recognition based on multi-view convolutional neural network with joint data augmentation. IEEE Transact Vehicular Technol, 68(5): 4223-4234.



DETERMINATION OF SUITABLE BEEKEEPING PLACES IN SİNOP PROVINCE (TÜRKİYE) BY WEIGHTED OVERLAY ANALYSIS

Şule YAMAN^{1*}, Mustafa YAMAN²

¹Karadeniz Technical University, Department of Geomatics Engineering, 61080, Trabzon, Türkiye


²Bolu Abant İzzet Baysal University, Department of Biology, 14030, Bolu, Türkiye


Abstract: Bees and beekeeping activities are very important for the sustainability of natural life. Beekeeping has become one of the main sources of income of our country due to products such as pollen, royal jelly, honey and wax obtained from beekeeping activities. In addition, our country's rich geography, climate and topography are very suitable for beekeeping activities. Interest in beekeeping activities has increased because it does not require large areas and costs, requires less maintenance than other agricultural activities, and has high income. With the increasing interest, conscious beekeeping, increasing the efficiency obtained from beekeeping activities and therefore determining suitable beekeeping places have gained importance. For this purpose, a study was carried out to determine suitable places for beekeeping in Sinop province, which is suitable for beekeeping activities due to its flora, climate and location. ArcGIS 10.7.1 program was used to determine suitable areas and weighted overlay analysis was performed using criteria such as slope, aspect, elevation, precipitation, vegetation, and distance to roads, streams and settlements. As a result of the analysis, it was determined that 96.38% of Sinop province was suitable for beekeeping. Additionally, it was checked whether the existing beekeeping sites were in suitable locations, and as a result, it was observed that approximately half of the beekeepers were in the correct locations.

Keywords: Beekeeping, Weighted overlay analysis, GIS, Suitability analysis

*Corresponding author: Karadeniz Technical University, Department of Geomatics Engineering, 61080, Trabzon, Türkiye

E mail: suleyaman98@hotmail.com (Ş. YAMAN)

Şule YAMAN  <https://orcid.org/0000-0002-7426-9358>

Mustafa YAMAN  <https://orcid.org/0000-0001-5656-7266>

Received: February 12, 2024

Accepted: July 10, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Yaman Ş, Yaman M. 2024. Determination of suitable beekeeping places in Sinop province (Türkiye) by weighted overlay analysis. BSJ Eng Sci, 7(4): 764-770.

1. Introduction

Beekeeping, one of the most common agricultural activities in the world, starts from the nuclear family and dramatically contributes to the environment and economy with products for the agricultural sector, food, health, cosmetics, and paint. At the same time, they contribute to the economy and the natural environment with pollination, in which they play a role in the sustainability of the natural cycle. Although almost every part of our country is suitable for beekeeping activities with its topography, rich geography, and suitable climatic conditions, wax and honey production is decreasing despite the increasing number of hives, according to the General Directorate of Agriculture and Forestry data so the low efficiency obtained from beekeeping activities shows a deficiency in performing beekeeping activities (TOB, 2023).

Although Sinop province is a very suitable location for beekeeping (Alkan, 2020) since it receives much precipitation and has a diverse flora such as pine, fir, oak, hornbeam and beech, and the winters are cool, and the summers are warm (Ayan et al., 2014; Albayrak, 2019) it has been observed that the potential of the region has not been fully utilized so determining suitable locations and criteria for beekeeping activities will enable the correct use of the region's potential and increase yield and

production.

Determining suitable beekeeping places to increase the efficiency obtained from beekeeping activities, continue beekeeping activities healthily and consciously, and contribute more to the environment and the country's economy will provide a solution to this problem to a large extent.

Before determining suitable places, it is important to determine suitable conditions for bees, know the geography, and offer them appropriate opportunities. For bees to continue their activities, many criteria, such as natural water resources, habitat types, settlements, roads, precipitation, and temperature, must be suitable. According to experiments, bees cannot operate at temperatures below 10 °C and above 36 °C, but they operate very effectively at temperatures between 29-33 °C (Yalçın et al., 2019). Similarly, while determining the hive locations, it is important to choose the diversity and continuity of the flora, the locations that do not receive much wind and precipitation and are not exposed to direct sunlight, and away from the city and traffic (Yalçın et al., 2019). The Ministry of Food, Agriculture and Livestock published a regulation in the Official Gazette on 30 November 2011. In paragraph "k" of Article 5 of the regulation, "Apiculture is placed at least 200 meters from the road in areas with heavy traffic, and at least 30



meters away from stabilized side roads”, in paragraph “I”, “Fixed beekeepers place their colonies in villages and towns in a way that does not disturb the environment and at least 200 meters away from similar areas such as mosques, schools, health centers, police stations, where people receive services collectively. In areas where the settlement is scattered, this distance should be at least 50 meters to the nearest house” (Anonymous, 2023). Topographic criteria such as land surface, slope, aspect, and height, which are directly related to beekeeping activities, are important. Considering these terms and conditions, the right places should be determined at the beginning since changing the apiary places will be difficult and troublesome after the beekeeping activity has started.

Considering that the world we live in is a purely geographical space, it is seen that all events occurring on Earth are directly or indirectly related to geography (Kapluhan, 2014), so using Geographic Information Systems (GIS), which is a decision-making mechanism that provides the storage, analysis, and presentation of data by associating all kinds of verbal/textual data with each other and their geographical locations, appropriate location analysis is a correct decision and is a tool.

Beekeeping activities are closely related to the agriculture and land resources and modern beekeeping uses various information technology solutions that support beekeepers in their activities (Kotovs and Zacepins, 2023). The geographical information system (GIS) has been used in apiculture (Rogers and Staub, 2013; Kotovs and Zacepins, 2023). for many purpose such as classifying regions according to their suitability honey bees, impacts of climate change and land cover on apiculture (Abou-Shaara et al., 2013; Abou-Shaara, 2013; Abou-Shaara, 2016), mapping floral resources for honey bees (Adgaba et al., 2017; Ausseil et al., 2018) and regional recognition of multifloral honey (Radovic et al., 2014).

In the present study, we determined suitable beekeeping places of Sinop province by using weighted overlay analysis in terms of flora, climate and hive location. With this context, Weighted Overlay Analysis was carried out for Sinop province by using ArcGIS 10.7.1 program with the criteria of precipitation, flora, water resources, road, settlement, slope, aspect, and elevation.

2. Materials and Methods

2.1. Study Area

Sinop province, which is located between 41° 12' and 42° 06' north latitudes and 34° 14' and 36° 26' east longitudes, was determined as the study area. It is a suitable location for beekeeping because of the low-temperature difference between the seasons, cool winters, warm summers, rich vegetation, and year-round rainfall. The map of the study area is given in Figure 1.

2.2. Data Collection

The study created a suitability map by weighted overlay analysis with ArcGIS 10.7.1 desktop software. Flora,

distance to water sources, road and settlement, slope, aspect, elevation and precipitation data are required for analysis, so data collection was carried out in the first stage of the study. The sources from which the data were obtained are shown in Table 1.

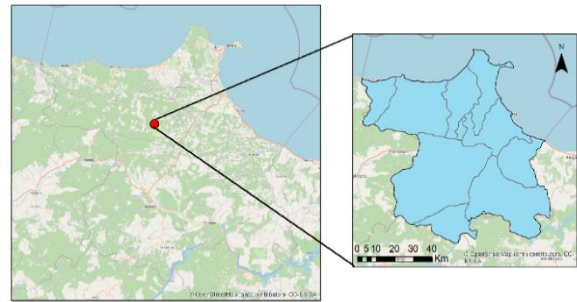


Figure 1. Study area Sinop province and its borders.

Table 1. Data and data sources used in the study

Data Name	Data Source
Provincial and District Boundary	General Directorate of Maps
The settlement, Road, and Water Resources	Open Street Map
Flora	CORINE 2018
Digital Elevation Model	USGS Earth Explorer

Criteria have been determined by considering suitable conditions for beekeeping activities. Details of the selected criteria are given below.

Flora: Flora affects honey yield and quality, so flora selection should be made sensitively by paying attention to the plant species in the environment where the beehives are located and the product diversity in agricultural areas for beekeeping activities (Kouchner, 2019).

Slope: Flat or low-slope lands are more suitable environments for beekeeping activities. It is a critical criterion because it depends on topography and height.

Aspect: Priority should be given to the hive entrances facing south while determining the hive locations. It is known that the morning sun hitting the hive entrances forces the bees to fly (Yalçın et al., 2019).

Altitude: The altitude of the study area is related to meteorological events and flora. The decrease in air temperature as you go higher is not suitable for beekeeping activities. It is important to determine the appropriate height.

Precipitation: The precipitation criterion, which directly affects flora diversity and vegetation density, is one of the criteria for beekeeping activities.

Distance to Roads and Settlement: To get the highest efficiency from the work area and the products, the hives should be away from the roads and settlements.

Distance to Water Sources: The proximity of the hives to clean water sources is another critical criterion to

increase the efficiency obtained from beekeeping activities.

2.3. Determination of Class Ranges and Criterion Weights

After obtaining the data of the determined criteria, ArcGIS 10.7.1 software was used to create the analysis and result in visual maps. First, since the provincial and district borders obtained from the General Directorate of Maps are in line format, the study area was selected by converting it to polygon format. Then, the data needed to analyze the distance criteria to water sources, roads, and settlements were obtained from the Open Street Map platform, and these data were cropped to suit the study area. Taking into consideration the “k” and “l” paragraphs of the 5th article of the Beekeeping Regulation published in the Official Gazette No. 28128 on 30 November 2011, buffer zones of 1000 meters each for the distance to water sources, roads, and settlements were created with the “multiple buffer” process. Digital Elevation Model (DEM) data were downloaded from the USGS Earth Explorer page, and slope, aspect, and elevation data suitable for the study area were produced. Flora base was created from the data of CORINE 2018 by the study area. The areal precipitation data were obtained by processing the annual precipitation amount received from the General Directorate of Meteorology on a provincial basis in the region. After creating the map bases for each criterion, the class ranges of the data were determined to carry out weighted overlay analysis, which includes weighting and overlapping concerning each

other and creating the resulting map. The studies in the literature were taken as references in determining the class intervals (Ceylan and Sari, 2017; Yılmaz et al., 2021).

The criteria were given a value from 1 to 9, considering their contribution to beekeeping activities and their importance. Table 2 shows the class ranges and importance levels of the criteria.

According to these values, 9 class values were given to the most suitable class range, and 1 class value was given to the unsuitable class range. A weighted overlay analysis model was established with “Model Builder”, and the analysis was performed by entering the weight value of the criteria. Table 2 also includes the weight values of the criteria. In the resulting layer map, 9 indicates the most suitable areas for beekeeping activities, while 1 indicates areas not suitable for beekeeping activities.

As a result of the study, suitable places for beekeeping were determined by weighted overlay analysis. At the same time, it was evaluated whether the existing beekeeping places were in suitable locations. Weighted overlay analysis is a multi-factor analysis used in Geographic Information Systems (GIS). It is the process of obtaining the resulting map by evaluating, weighting, and combining more than one thematic map concerning each other. Each criterion is represented by its thematic map, and these maps are combined by multiplying the weights. The mathematical representation of this process is given in the formula below.

Table 2. Assignment of criteria class ranges and severity levels

Criteria	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Altitude	1845>	1435-1845	1230-1435	1025-1230	820-1025	615-820	410-625	205-410	205<
Slope	50-80	40-50	30-40	25-30	20-25	15-20	10-15	5-10	0-5
Aspect	North	NE, NW	-	-	West-East	-	-	SE, SW	South
Precipitation	680	780	880	980	1080	1180	1280	1380	1540>
Flora	City Areas	Rocky Field	-	Farming Areas	Sparse Plant Areas	-	Meadows	Natural Plant Areas	Forests
Distance to Water Resources	8000>	8000	7000	6000	5000	4000	3000	2000	1000
Distance to settlement	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	8000>
Distance to Roads	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	8000>

3. Results and Discussion

It is important to choose a suitable place and get high performance of bee colonies in order to continue beekeeping activities and increase the yield of these activities. Beekeeping and bee performance are affected by several factors, such as the distance of the beehives to

clean water sources, settlements and highways, the altitude of the location where the hives are located, precipitation and flora. Each of these factors can have different effects on beekeeping activities. Weighted overlay analysis helps us to determine the land selection and management strategy (Yılmaz et al., 2021). In the

present study, we determined suitable beekeeping places of Sinop province by using weighted overlay analysis in terms of flora, climate and hive location. The thematic map for each criterion, used in the

weighted overlay analysis was created to determine suitable beekeeping places in Sinop province (Figure 2). The green areas on the maps show suitable beekeeping areas, and the red areas show unsuitable areas.

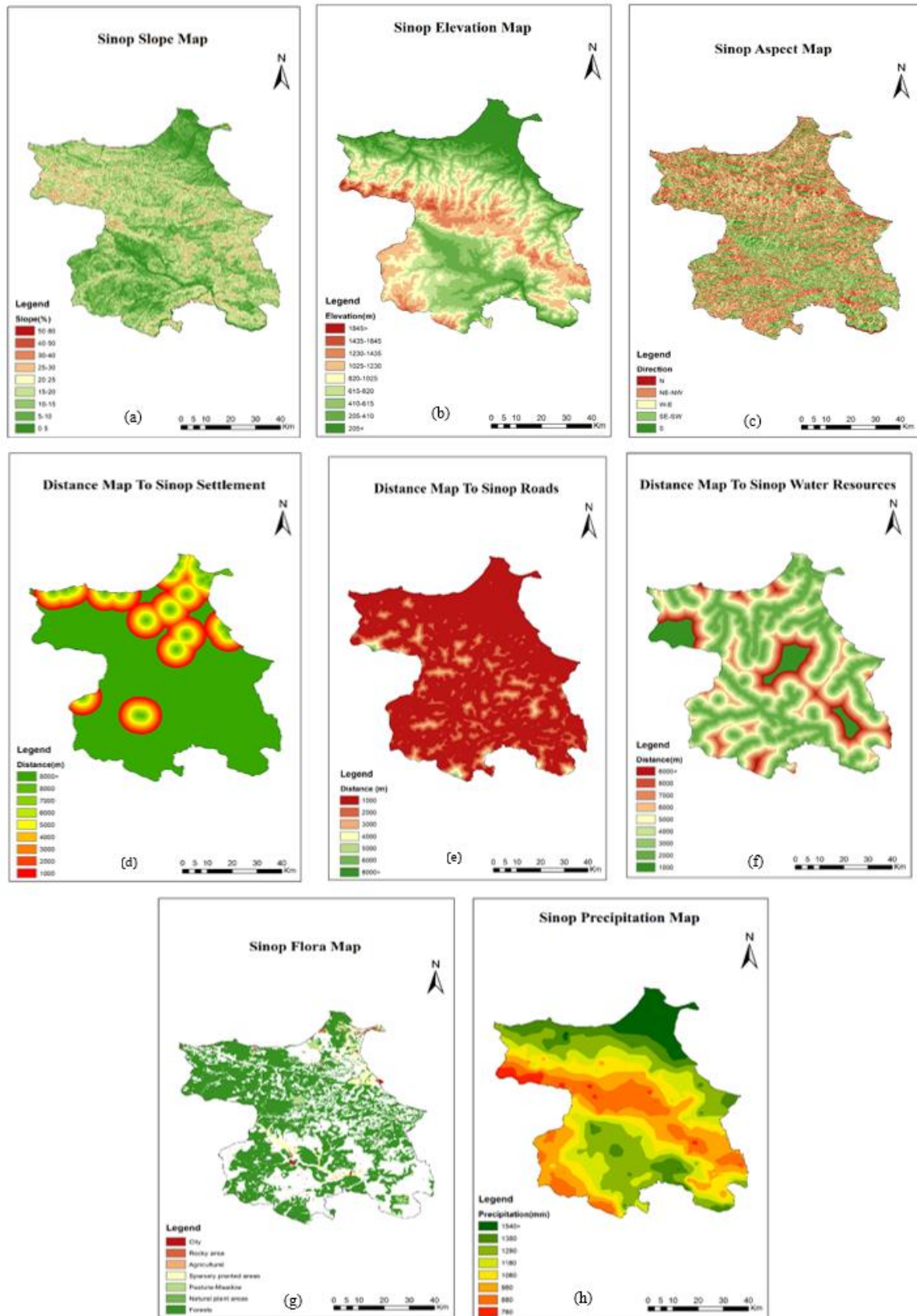


Figure 2. The class ranges and suitability map of the criteria (a: slope map, b: elevation map, c: aspect map, d: distance to settlements map, e: distance to roads map, f: distance to water resources map, g: flora map, h: precipitation map).

It was determined that a large part of Sinop province, where is the study area, is covered with mountains and that it has altitudes between 205 m and 1845 m and contains large plains between the mountains and the coast. In addition, when the slope and settlement maps are examined, it was determined that the land has a high slope and the scattered settlement type is seen in the coastal areas. When the aspect map is examined, it was determined that the aspect direction of the region is often northwest, south and southeast. There are many large and small valleys in the region and the mountains generally extend in the east-west direction. When the precipitation map is examined, it is seen that the amount of precipitation increases from south to north direction and the annual average precipitation varies from 680 mm to 1540 mm. When looking at the flora map, it has been determined that the presence of forests, natural plant areas and meadows is high due to rainfall and the distance to the stream.

After the thematic map of each criterion classified according to their importance was created, their weights were entered into the established weighted overlay model. As a result of this process, the suitability map for determining the suitable beekeeping places for Sinop province is given in Figure 3.

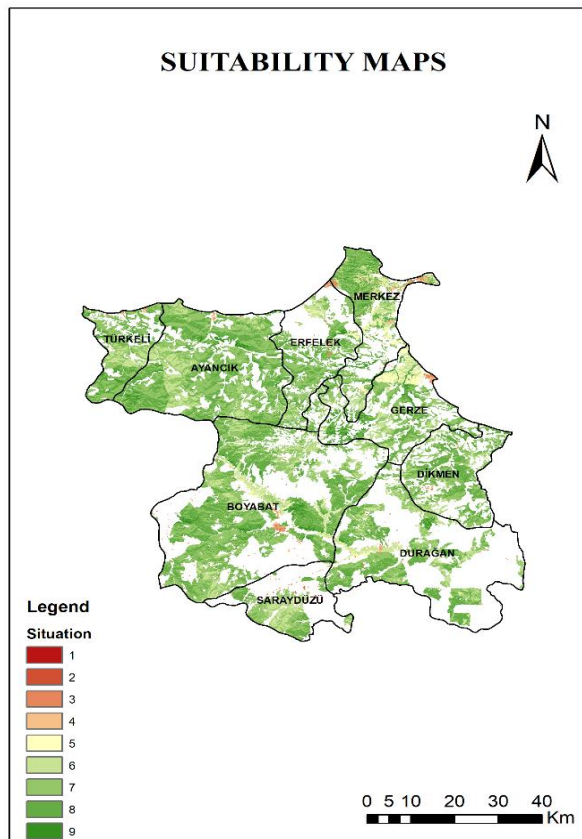


Figure 3. Map of suitable beekeeping places in Sinop province.

After the weighted overlay analysis, the appropriate places in the resulting map were classified to be evaluated from 1 to 9. Based on the 6, 7, 8, and 9 classes

of values suitable for beekeeping, it was determined that 96.38% of the region is suitable for beekeeping activities. On the map, the red color corresponding to the value 1 represents the places unsuitable for beekeeping activities, the cream color corresponding to the 5 value represents the medium suitable places, and the green color corresponding to the 9 value represents the suitable places. Considering the weight values of the criteria, the fact that the most significant contribution is in the flora criterion, with a weight value of 44%, shows that it plays a significant role in determining suitable places, so when looking at the flora of suitable and unsuitable places, it is seen that suitable places are forest and meadow areas, and unsuitable places are areas such as cemeteries and bushes.

After the suitable places were determined, it was a matter of curiosity whether the 12 beekeepers reached were in the suitable places, and the current positions of the beekeepers were matched with the suitability map. The location is shown in Figure 4.

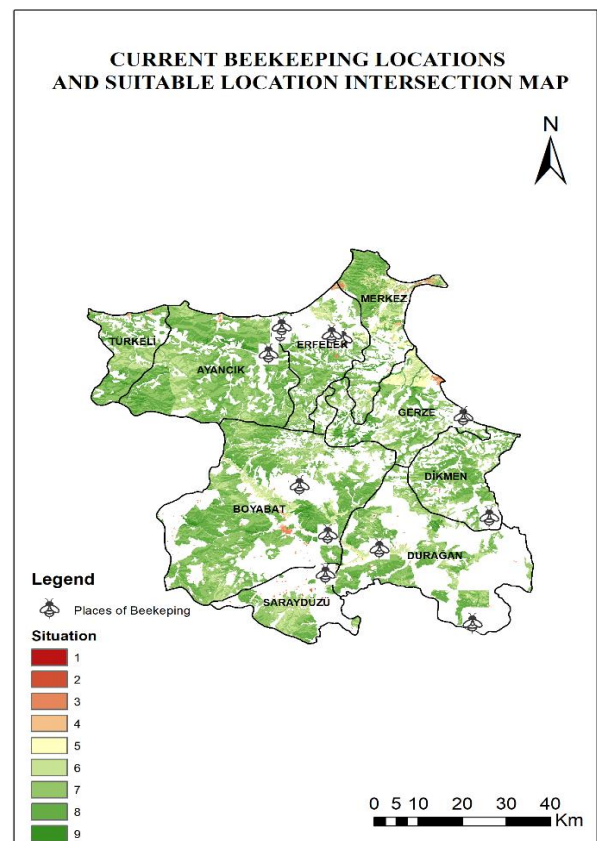


Figure 4. Existing beekeeping locations and intersection map of available locations.

In a recent study carried out by Yılmaz et al. (2021), the most suitable places for beekeeping in Şavşat district of Artvin province was determined by using weighted overlay analysis. The analysis in that study was carried out according to 8 criteria, and as a result of the study, suitable places for beekeeping were determined by dividing the study area into 5 classes such as very low, low, medium, high and very high suitability. Similarly,

suitable places for beekeeping in the Karaburun, Çeşme and Urla districts of İzmir were determined by using multi-criteria decision analysis and weighted overlay analysis (Yalçın et al., 2019). The applications of Geographic Information System (GIS) and Multi-Criteria Decision

Analysis to determine beekeeping locations were discussed in detail in Selangor (Maris, 2008). In the most recent study, suitable beekeeping locations for Bolu province were determined by using weighted overlay analysis. As a result of the study, it was determined that 90.95% of Bolu province was suitable for beekeeping (Yaman and Yaman, 2023).

Our results show similarities with the literatures mentioned above. However, appropriate beekeeping locations determined by weighted overlay analysis were verified with actual data from existing beehives. A reasonable consistency was determined as a result of the study.

4. Conclusion

In this study, suitable beekeeping sites for Sinop province were determined by weighted overlay analysis for the first time. The results in this study will contribute to beekeepers finding suitable places. Furthermore, our study will lead to other studies in this field. On the other hand, the resulting map in this study is only in the context of Sinop province. Increasing the number of criteria used in the study, keeping more detailed records, and opening source data will increase the efficiency of the study.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is presented below. All authors reviewed and approved the final version of the manuscript.

	Ş.Y.	M.Y.
C	50	50
D	50	50
S	50	50
DCP	50	50
DAI	50	50
L	50	50
W	50	50
CR	50	50
SR	50	50
PM	50	50
FA	50	50

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

Conflict of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

Ethical Consideration

Ethics committee approval was not required for this study because of there was no study on animals or humans.

References

- Abou-Shaara HF, Al-Ghamdi AA, Mohamed AA. 2013. Identifying possible regions for using modified beehives in Saudi Arabia using a geographical information system (GIS). *Int J Agri Technol*, 9: 1937-1945.
- Abou-Shaara HF. 2013. Using geographical information system (GIS) and satellite remote sensing for understanding the impacts of land cover on apiculture over time. *Int J Remote Sens Appl*, 3: 171.
- Abou-Shaara HF. 2016. Expectations about the potential impacts of climate change on honey bee colonies in Egypt. *J Apicult*, 31: 157-164.
- Adgaba N, Alghamdi AA, Sammoud R, Shenkute AG, Tadesse Y, Ansari MJ, Sharma D, Hepburn C. 2017. Determining spatio-temporal distribution of bee forage species of Al-Baha region based on ground inventorying supported with GIS applications and Remote Sensed Satellite Image analysis. *Saudi J Biol Sci*, 24: 1038-1044.
- Albayrak T. 2019. Research on the economic structure of the building sector in Sinop. MSc Thesis, Maltepe University. Institute of Social Sciences, İstanbul, Türkiye, pp: 104.
- Anonymous. 2023. Arıcılık yönetmeliği. Resmî Gazete Tarihi: 30.11.2011, Resmî Gazete Sayısı: 28128. URL: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=15529&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> (accessed date: May 19, 2023).
- Ausseil AG, Dymond JR, Newstrom L. 2018. Mapping floral resources for honey bees in New Zealand at the catchment scale. *Ecol Appl*, 28(5): 1182-1196. <https://doi.org/10.1002/eap.1717>
- Ayan S, Ayan Ö, Altunel T, Yer EN. 2014. Honey forests as an example of agroforestry practices in Türkiye. *Forestry Ideas*, 48: 141-150.
- Ceylan DA, Sarı F. 2017. Konya ili için çok ölçütlü karar analizleri ile en uygun arıcılık yerlerinin belirlenmesi. *Uludağ Arıcılık Derg*, 17(2): 59-71. <https://doi.org/10.31467/uluaricilik.373637>
- Erkan Alkan P. 2020. Pollen analysis of chestnut honey in some provinces of the Black Sea Region, Türkiye. *Mellifera*, 20(2): 18-31.
- Kapluhan E. 2014. Coğrafi bilgi sistemleri'nin (CBS) coğrafya öğretiminde kullanımının önemi ve gerekliliği. *Marmara Coğrafya Derg*, 29: 34-59. <https://doi.org/10.14781/mcd.85148>
- Kotovs D, Zacepins A. 2023. Importance of GIS solutions for beekeepers: a review. *Agron Res* 21(2): 799-813. <https://doi.org/10.15159/ar.23.049>
- Kouchner C. 2019. Bee farming system sustainability: An assessment framework in metropolitan France. *Agri Syst*, 176: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.006>
- Maris N, Mansor S, Shafri H. 2008. Apicultural site zonation using GIS and multi-criteria decision analysis. *Pertanika J Trop Agri Sci*, 31(2): 147-162.
- Radovic DI, Lazarević KB, Trifković J, Andrić F, Tešić ŽL, Anđelković I, Nedić NM, Stanimirović Z, Stevanović J, Curčić BPM. 2014. GIS technology in regional recognition of the distribution pattern of multifloral honey: The chemical traits in Serbia. *Arch Biol Sci*, 66: 935-946.
- Rogers SR, Staub B. 2013. Standard use of geographic

- information system (GIS) techniques in honey bee research. J Apicult Res, 52(4): <http://dx.doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.08>
- TOB. 2023. Tarım ve Orman Bakanlığı Türkiye arıcılık İstatistikleri (1991-2023). URL: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/aricilik/Link/2/Aricilik-Istatistikleri> (accessed date: July 01, 2024).
- Yalçın H, Ağaçsapan B, Çabuk A. 2019. Coğrafi bilgi sistemleri ile uygun arıcılık yerlerinin belirlenmesi. GSI J Series C: Adv Info Sci Technol, 1(2): 1-15.
- Yaman Ş, Yaman M. 2023. Determination of suitable beekeeping places by weighted overlay analysis: A case study of Bolu, Türkiye. U Bee J, 23(2): 239-251.
- Yılmaz E, Sesli FA, Uzun ÖF. 2021. Arıcılık faaliyetleri için uygun yerlerin coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi: Şavşat ilçesi örneği. BSJ Eng Sci, 4(3): 111-116. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.948181>.



PARAMETER IDENTIFICATION OF PHOTOVOLTAIC MODELS USING ENHANCED CRAYFISH OPTIMIZATION ALGORITHM WITH OPPOSITION-BASED LEARNING STRATEGIES

Burçin ÖZKAYA^{1*}


¹Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Electrical Engineering, 10200, Bandırma, Türkiye

Abstract: Recently, solar energy has become an attractive topic for researchers as it has been preferred among renewable energy sources due to its advantages such as unlimited energy supply and low maintenance expenses. The precise modeling of the solar cells and the model's parameter estimate are two of the most important and difficult topics in photovoltaic systems. A solar cell's behavior can be predicted based on its current-voltage characteristics and unknown model parameters. Therefore, many meta-heuristic search algorithms have been proposed in the literature to solve the PV parameter estimation problem. In this study, the enhanced crayfish optimization algorithm (ECO) with opposition-based learning (OBL) strategies was proposed to estimate the parameters of the three different PV modules. A thorough simulation study was conducted to demonstrate the performance of the ECO algorithm in tackling benchmark challenges and PV parameter estimate problems. In the first simulation study, using three OBL strategies, six variations of the COA were created. The performances of these variations and the classic COA have been tested on CEC2020 benchmark problems. To determine the best COA variation, the results were analyzed using Friedman and Wilcoxon tests. In the second simulation study, the best variation, called ECO, and the base COA were applied to estimate the parameters of three PV modules. According to the simulation results, the ECO algorithm achieved 1.0880%, 37.8378%, and 0.8106% lower error values against the base COA for the parameter estimation of the STP6-120/36, Photowatt-PWP201, and STM6-40/36 PV modules. Moreover, the sensitivity analysis was performed in order to determine the parameters influencing the PV module's performance. Accordingly, the change in the photo-generated current and diode ideality factor in the single-diode model affects the performance of PV modules the most. The comprehensive analysis and results showed the ECO's superior performance in parameter estimation of three PV modules compared to other algorithms found in the literature.

Keywords: PV parameter estimation, Single-diode model, Enhanced crayfish optimization algorithm, Opposition-based learning strategy

*Corresponding author: Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Electrical Engineering, 10200, Bandırma, Türkiye

E mail: bozkaya@bandirma.edu.tr (B. ÖZKAYA)

Burçin ÖZKAYA  <https://orcid.org/0000-0002-9858-3982>

Received: May 27, 2024

Accepted: July 12, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Özkaya B. 2024. Parameter identification of photovoltaic models using enhanced crayfish optimization algorithm with opposition-based learning strategies. BSJ Eng Sci, 7(4): 771-784.

1. Introduction

Recently, the development and application of renewable energy have become more important due to the rising consumption of non-renewable energy sources and their associated environmental pollution. The abundance and low pollution of solar energy, especially, make it stand out (Wang et al., 2022). The utilization of solar energy is crucial for improving the ecological environment since it may be used to generate electricity or thermal energy without the need for fuel or water, nor does it produce pollution (Yang et al., 2020). Many researchers have undertaken various studies in order to address and overcome the problems in PV systems, where the aim is to decrease the total costs while increasing efficiency. PV systems must be thoroughly investigated and analyzed from a variety of perspectives as their popularity develops (Naeijian et al., 2021). The precise and effective modeling of solar cells is one of the most important and

difficult aspects of PV systems. The main cause of this problem is the nonlinear properties of the solar cells and the lack of complete parameter availability. Therefore, a precise model needs to be developed to accurately study and assess the real behavior of PV systems (Yang et al., 2020).

In the literature, a number of mathematical models, the most prominent of which is the diode-based model, have been developed to characterize PV properties under various operating conditions. The most well-known PV models presented in the literature are the PV module model, single diode, double diode, and triple diode models (Naeijian et al., 2021). The modeling of the solar PV system includes parameter identification and mathematical formulations. Unfortunately, the lack of easy access to these parameter values restricts the usefulness of these models. This problem, which is inaccurate parameter identification, can lead to



significant errors in performance evaluation, quality control, and maximum power point tracking of PV systems. Therefore, the accurate model parameters, such as the number of diodes, ideality factor, series resistances, and shunt resistances, are necessary for correct results. Thus, the accurate parameter extraction of the solar cells is a growingly significant issue for researchers (Wang et al., 2022).

Many methods have been presented in the literature to determine the parameters of PV cells, which are classified as analytical, iterative, and meta-heuristic algorithms (Wang et al., 2022). Analytical methods use complicated mathematical equations to calculate these values and can be easily implemented (Cárdenas et al., 2016). However, they have significant drawbacks, such as the requirement for particular mathematical features and assumptions. These assumptions can occasionally cause significant errors or affect the accuracy of the solutions (Chenche et al., 2018). Iterative algorithms, such as Newton-Raphson and Lambert W-functions, rely heavily on initial guesses and gradient information. These methods require the equations of the system to be continuous, convex, and differentiable, which limits their usefulness (Ortiz-Conde et al., 2006; Ayang et al., 2019). To solve the drawbacks of the first two methods, meta-heuristic search (MHS) algorithms have gained popularity for determining PV cell parameters due to their improved performance in nonlinear and complex optimizations.

In the literature, many studies have been carried out to identify the parameters of the PV cell. A hybrid algorithm incorporating the trust-region reflective algorithm and the artificial bee colony algorithm was introduced to estimate the PV model (Wu et al., 2018). The authors used the slime mould optimization algorithm to estimate the PV cell parameters, where three diode model were considered (Kumar et al., 2020). An improved version of the whale optimization algorithm using the refraction-learning strategy was presented for parameter estimation of the PV model, where only the single-diode PV model was considered (Long et al., 2020). The authors used the transient search algorithm to solve the PV parameter estimation problem. Here, only the parameters of the triple-diode model were determined under changing temperatures and solar irradiance (Qais et al., 2020). An improved version of the Harris Hawks optimization algorithm was introduced to extract the model parameters of PV, where four diode model and two different commercial PV cells (Naeijian et al., 2021). An improved equilibrium optimizer was proposed to determine the unknown parameters of the PV models. In this study, the simulations were carried out under constant conditions, and under partial shading and changing weather conditions (Wang et al., 2021). An improved JAYA algorithm based on chaotic learning methods was proposed for parameter identification of PV cells (Premkumar et al., 2021). The authors proposed a heterogeneous differential evolution algorithm to

identify the parameters of PV cells, where six different PV modules were considered (Wang et al., 2022). An improved moth flame optimization algorithm based on opposition-based learning method was proposed to estimate the parameters of the PV cell. The parameters of the three commercial PV cell were extracted using the reported algorithm (Sharma et al., 2022). To extract the PV cell/module parameters, an improved version of the teaching-learning-based artificial bee colony algorithm using fitness-distance balance method was proposed (Duman et al., 2022). A hybrid seagull optimization algorithm was presented to identify the parameters of PV models for the SD, DD, and PV module models (Long et al., 2022). An enhanced gradient-based optimization algorithm by using the orthogonal learning mechanism was proposed to estimate the PV model parameters. Here, the experiments were carried out using the four PV models and two commercial PV modules (Yu et al., 2022). To specify the parameters of the two types of PV cell, the atomic orbital search algorithm was used (Ali et al., 2023). The authors presented a comprehensive analysis on the PV parameter estimation using eight MHS algorithms for three types of PV models (Navarro et al., 2023). In another study, an improved version of Harris Hawks optimization algorithm was introduced for determining the unknown parameters of the three diode model. In the study, the parameters of the most commonly used commercial PV cell and PV module were estimated using the proposed algorithm (Garip, 2023). To estimate the parameters of the three types of PV models, the chimp optimization algorithm was used (Yang et al., 2023). The authors used the northern goshawk optimization algorithm for identifying the PV model parameters, where only the three diode model was considered (El-Dabah et al., 2023). An improved moth flame algorithm including the local escape operators was proposed to estimate the PV model parameters (Qaraad et al., 2023). The ranking teaching-learning-based optimization to solve the PV parameter estimation problem. In the study, three types of commercial PV modules were used to show the efficiency of the proposed algorithm (Yu et al., 2023). The authors used a squirrel search algorithm for the estimation of PV parameters. Here, the simulation study was performed under two case study, where R.T.C. France silicon solar cell and polycrystalline CS6P-220P solar module (Maden et al., 2023). The artificial hummingbird algorithm was used to estimate the electrical parameters of the single- and double-diode PV cell (El-Sehiemy et al., 2023). A hybrid optimization algorithm including white shark optimizer and artificial rabbit optimization was proposed to extract two PV cells and six PV modules (Çetinbaş et al., 2023). The authors proposed an enhanced version of the artificial gorilla troops optimizer to estimate the parameters of two PV module (Shaheen et al. 2023). The artificial humming bird algorithm for solving the parameter estimation of the PV models was presented, where two different PV module were carried out

(Ayyarao and Kishore, 2024). A multi-strategy gaining-sharing knowledge-based algorithm was introduced to identify the unknown parameters of the PV modules (Xiong et al. 2024). The author used the weighted leader search algorithm for estimating the parameters of the PV cells and modules (Çetinbaş, 2024). An enhanced prairie dog optimization algorithm was proposed to determine the parameters of the PV model (Izci et al., 2024).

In this study, an enhanced crayfish optimization algorithm (ECO) based on opposition-based learning (OBL) strategies was proposed to solve the PV parameter estimation problem and benchmark problems. Three OBL strategies were applied to improve the exploration ability of the COA. Using these OBL strategies, six variations of the COA using these OBL strategies were created. To validate the ECO's performance, a complete simulation study was conducted using the benchmark problems and PV parameter estimation problems. In the first simulation study, all variations and the base COA were implemented for solving the CEC2020 (Yue et al., 2019) benchmark problems for five different dimensional search spaces (10/20/30/50/100). The performance of them was compared using the statistical analysis methods, and the best COA variation was selected. In the second experimental study, the ECO and the base COA were applied to solve the PV parameter estimation problem. Here, only single-diode PV cell model was used. Three case studies using the PV module, including Photowatt-PWP201, STP6-120/36, and STM6-40/36, were considered. Their results were compared with the reported results in the literature.

The contributions of this paper to the literature are as follows:

- An improved crayfish optimization algorithm based on opposition-based learning strategies was proposed to the literature as a strong MHS algorithm.
- A comprehensive experimental study was performed to validate the performance of the proposed ECO for solving both benchmark problems and PV parameter estimation problems.
- The proposed ECO presented the best optimal solutions in the literature for solving the PV parameter estimation problem.
- The sensitivity analysis was carried out to determine the effect of the unknown parameters on the objective function.

This study includes four sections after the introduction, and these are summarized accordingly. Section 2 includes two sub-sections. In the first sub-section, the mathematical model of the PV cell or module and the formulation of the PV parameter extraction problem are presented. In the second sub-section, the proposed ECO is explained. Section 3 analyzes and presents the simulation results of the benchmark problems and PV models of the three PV modules. Section 4 presents the conclusions.

2. Materials and Methods

This section consists of two sub-sections. In the first sub-section, the mathematical model of the PV module and the formulation of the objective function considered in the PV parameter estimation problem are described. In the second sub-section, the proposed ECO is presented.

2.1. Mathematical Model of the PV cell and Problem Formulation

The behavior of photovoltaic (PV) cells and modules has been modeled by many mathematical formulas and the most popular of which is the diode model. This is due to the fact that PV cells, which are made up of semiconductor components, have an I-V curve that is exponential and resembles a diode. There are multiple parameters in every diode-based model that need to be calculated with accuracy, and the precise estimation of these parameters is essential (Wang et al., 2022).

The single-diode (SD) model is a generally used mathematical expression of a photovoltaic (PV) cell that simplifies its complex physical behavior into an equivalent electrical circuit as in Figure 1 (Wang et al., 2022). This model consists of a current source (I_{pv}) for the photocurrent produced by sunlight, a diode for the p-n junction, a series resistance (R_s) for resistive losses within the cell, and a shunt resistance (R_{sh}) for leakage currents. Accordingly, the output current (I_L) is mathematically expressed as in Equation (1) (Isen and Duman, 2024).

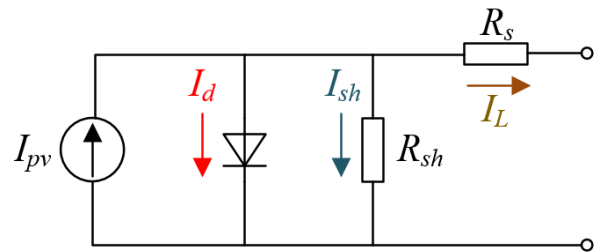


Figure 1. The equivalent circuit model of the single-diode.

$$I_L = I_{pv} - I_{sh} - I_d = I_{pv} - \frac{R_s I_L + V_L}{R_{sh}} - I_{o1} \left[\exp\left(\frac{(R_s I_L + V_L)q}{T \cdot k \cdot a}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

Here, V_L , I_{sh} , I_d , and I_{o1} represent the terminal voltage, the current passing through R_{sh} , the current passing through the diode, and the reverse saturation current of the diode, respectively. a , q , T , and k denote the ideality factor of the diode, the electron charge ($1.60217646 \times 10^{-19}$ C), the temperature in Kelvin, and the Boltzmann constant ($1.3806503 \times 10^{-23}$ J/K), respectively.

The models that are most frequently used in PV have been described above. These equations are converted into corresponding optimization problems so that an optimization algorithm can determine the parameter values with accuracy. By employing the ideal parameter values, the objective function seeks to minimize the difference between the measured and experimental data. The error function for the SD model is expressed as in Equation (2), where x is the decision variables (Wang et

al., 2022).

$$\begin{cases} f(V_L, I_L, x) = I_{pv} - \frac{R_s I_L + V_L}{R_{sh}} - I_{o1} \left[\exp\left(\frac{(R_s I_L + V_L)q}{T \cdot k \cdot a}\right) - 1 \right] - I_L, \\ x = \{a, R_s, R_{sh}, I_{pv}, I_{o1}\} \end{cases} \quad (2)$$

The objective function used in this study is the total root mean square error (RMSE), which serves to quantify the difference between the observed and simulated results. The mathematical expression of the objective function considered in this study is evaluated by Equation (3), where m is the experimental I - V data and f_{obj} represents the objective function (Wang et al., 2022).

$$\text{Minimize } f_{obj}(x) = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m f(V_L, I_L, x)^2} \quad (3)$$

2.2. Method

2.2.1. Overview of the Crayfish Optimization Algorithm

The Crayfish Optimization Algorithm (COA) proposed in the literature draws inspiration from the foraging, summer vacationing, and competitive behaviors of the crayfish. It includes two stages focused on exploitation (foraging and competition) and one stage dedicated to exploration (a summer resort). The equilibrium between these stages is managed by a temperature variable (Jia et al., 2023).

The initial population for the COA involves randomly creating a set of candidate solutions (x) in the search space, where $x_{i,j}$ is the position of the i th individual in the j th dimension and is created using Equation (4). Also, LB and UB denote the lower and upper bounds of the search space, respectively (Jia et al., 2023).

$$x_{i,j} = rand \cdot (UB_j - LB_j) + LB_j \quad (4)$$

Temperature changes influence crayfish behavior, prompting them to enter various stages. When the temperature ($temp$) value is greater than 30° , the COA moves into either the competition or the summer resort stage. In the summer resort stage, the crayfish aim to get closer to the cave, representing the optimal solution. This movement towards the cave strengthens the exploitation ability of the COA. During this stage, new solutions are updated based on the positions of individual crayfish (x_i) and the cave (x_{shade}), where x_{shade} is the average of the x_G and x_L . Here, x_G and x_L represent the best solution obtained so far and the best position of the current population, respectively. The competition among crayfish for caves occurs randomly. If $rand < 0.5$, it indicates no other crayfish are vying for the caves, allowing a crayfish to directly enter the cave for its summer vacation. At this point, the crayfish will move into the cave for the summer resort stage according to Equation (5), where c_2 is a decreasing curve (Jia et al., 2023).

$$x_{i,j}^t = rand \cdot c_2 \cdot (x_{shade} - x_{i,j}^{t-1}) + x_{i,j}^{t-1} \quad (5)$$

indicates that other crayfish are also interested in the cave, leading to competition for it. The crayfish competes for the cave using Equation (6) (Jia et al., 2023).

$$x_{i,j}^t = x_{shade} + x_{i,j}^{t-1} - x_{z,j}^{t-1} \quad (6)$$

When the $temp$ is equal to or less than 30° , the crayfish will move towards the food source. Upon finding the food, they assess its size. The crayfish adjust their feeding behavior based on the size of the food, which is determined by the current solution ($fitness_{food}$) and the fitness value of it ($fitness_i$). They generate new solutions when food is suitable, considering their position, a food intake constant (p), and the food's position (x_{food}). If the food is too large, the crayfish will use their claws to tear it apart and eat it using their second and third walking legs alternately. The crayfish control the food intake, influenced by temperature and following a positive distribution. The mathematical expression of the alternating feeding of the crayfish is defined as follows in Equation 7 (Jia et al., 2023):

$$x_{i,j}^t = p \cdot (\cos(2 \cdot \pi \cdot rand) - \sin(2 \cdot \pi \cdot rand)) \cdot x_{food} + x_{i,j}^{t-1} \quad (7)$$

When the food size is deemed suitable for direct consumption by the crayfish, they move directly to the food location and start eating. The formula for this direct feeding behavior is as follows in Equation 8 (Jia et al., 2023):

$$x_{i,j}^t = x_{i,j}^{t-1} \cdot rand \cdot p + p \cdot (x_{i,j}^{t-1} - x_{food}) \quad (8)$$

During the foraging stage, crayfish employ varying feeding techniques depending on the size of their food, with food location x_{food} symbolizing the optimal solution. Progressing through this stage, the COA moves closer to the optimal solution, improving its exploitation capacity and demonstrating strong convergence capabilities.

2.2.2. Overview of the Opposition-Based Learning Strategies

Opposition-based learning (OBL) strategies in MHS algorithms aim to improve the search process by considering both the present candidate solutions and their opposites. This dual consideration increases the exploration ability, helps avoid local optima, and accelerates the convergence of optimal solutions. The algorithm can be made more effective and efficient by analyzing opposing solutions, which will produce higher-quality solutions and preserve population diversity. Ultimately, OBL enhances the overall performance of meta-heuristic algorithms by facilitating a more thorough and balanced search for optimal results (Mahdavi et al., 2018).

In the literature, different OBL strategies have been presented for improving the performance of the MHS algorithms. In this paper, three OBL strategies have been considered and are explained below:

(i) *Strategy-1*: It is the classical OBL strategy proposed in the literature and can be mathematically described in Equation (9) (Tizhoosh, 2005). Here x_j is a point in D -

dimensional search space and $\overline{x_j^o}$ is the opposite of x_j .

$$\overline{x_j^o} = ub_j - x_j + lb_j, x_j \in [lb_j, ub_j], j = 1, 2, \dots, D \quad (9)$$

(ii) *Strategy-2*: It is the quasi-opposition based learning (QOBL) strategy introduced (Rahnamayan et al., 2007). It is described as in Equation (10), where $\overline{x_j^q}$ is the quasi-opposite point of x_j and M_j is the mean value of the ub_j and lb_j . r is a random number between 0 and 1.

$$\overline{x_j^q} = \begin{cases} M_j + r \cdot (\overline{x_j^o} - M_j), & \text{if } x_j < M_j \\ \overline{x_j^o} + r \cdot (M_j - \overline{x_j^o}), & \text{otherwise} \end{cases}, j = 1, 2, \dots, D \quad (10)$$

(iii) *Strategy-3*: It is the quasi-reflection opposition based learning (QROBL) strategy proposed in the literature. It can be modeled as in Equation (11), where x_j^{qr} is the quasi-reflected point of x_j and r is a random

number between 0 and 1 (Ergezer et al., 2009).

$$\overline{x_j^{qr}} = \begin{cases} x_j + r \cdot (x_j - M_j), & \text{if } x_j < M_j \\ M_j + r \cdot (M_j - \overline{x_j^o}), & \text{otherwise} \end{cases}, j = 1, 2, \dots, D \quad (11)$$

2.2.3. Proposed Enhanced Crayfish Optimization Algorithm

Similar to the other MHS algorithms, COA might experience sluggish convergence and become stuck in a local optimum. For this reason, three OBL strategies explained in section 2.2.2 were used in the COA. These strategies were implemented in two stages in the COA. Firstly, they were applied in population initialization to increase the variety and quality of the initial population. Secondly, it was applied in the population update phase to improve the convergence performance of the algorithm.

Inputs: $N, maxFEs, D$	
Output: Best solution	
1.	Generate the initial population randomly using Equation (4).
	// Apply the OBL strategies for Case-1, Case-2, and Case-3 //
2.	Select OBL strategy.
3.	Create the oppositional population using Equation (9) for Case-1, Equation (10) for Case-2, and Equation (11) for Case-3.
4.	Compute the fitness value of the population and obtain x_G and x_L .
5.	while $FEs < maxFEs$
6.	Calculate the <i>temp</i> value.
7.	if $temp > 30^\circ$
8.	Determine the x_{shade}
9.	if $rand < 0.5$
10.	The crayfish performs the summer resort stage using Equation (5).
11.	else
12.	The crayfish competes for the cave using Equation (6).
13.	end if
14.	else
15.	The food size (Q) and food intake are determined.
16.	if $Q > 2$
17.	The crayfish rends the food and foraging according to Equation (7).
18.	else
19.	The crayfish foraging according to Equation (8).
20.	end if
21.	end if
	// Apply the OBL strategies for Case-4, Case-5, and Case-6 //
22.	Select OBL strategy.
23.	Create the oppositional population using Equation (9) for Case-4, Equation (10) for Case-5, and Equation (11) for Case-6.
24.	Compute the fitness value of the population and obtain x_G and x_L .
25.	end while

Figure 2. Algorithm-1: The pseudocode of the ECOA algorithm.

The pseudocode of the ECOA is presented in Algorithm-1 in Figure 2. According to Algorithm-1, the population initializes in line 1. Then, the OBL strategy is selected in line 2. In line 3, the oppositional population is created based on the selected OBL strategy. Accordingly, for Case-1, the oppositional population is created using the Strategy-1, where Equation (9) is used. On the other hand, for Case-2, the oppositional population of the initial population is created using the Strategy-2, where Equation (10) is used. For Case-3, the Strategy-3 is considered and Equation (11) is used to obtain the oppositional population. The oppositional population is created according to the Case-1, Case-2, or Case-3 based on the selected strategy in line 3. The fitness values of the population are computed, and x_G and x_L are determined in line 4. In lines 5 to 25, the search process life cycle of the algorithm is carried out. The *temp* value is calculated in line 6. If *temp* value is higher than 30°, the summer resort stage or competition stage is applied according to the *rand* value; otherwise, the foraging stage is performed in lines 14 to 21. In line 22, the OBL strategy is selected, and the oppositional population is generated according to Case-4, Case-5 or Case-6 based on the selected strategy in line 22. For Case-4, Case-5, and Case-6, Strategy-1, Strategy-2, and Strategy-3 are considered, respectively. Lastly, the fitness values of the population are calculated, and x_G and x_L are obtained in line 24. This process continues until the stopping criterion is met.

3. Results and Discussion

In this study, to prove the performance of the ECOA, a comprehensive experimental study was performed. This section consists of two sub-sections. In the first sub-section, the six variations of and base COA were implemented to solve the CEC2020 benchmark problems in 10/20/30/50/100 dimensional search space. Using the Friedman test and convergence analysis, the best COA variation was determined. In the second sub-section, the best COA variation, called ECOA, was implemented on the PV parameter estimation problem.

3.1. Determining the Best COA Variation on Solving Benchmark Problems

In this section, the performance of the base COA and six variations of it were applied to solve the CEC2020 benchmark suite. The CEC2020 benchmark suite includes 10 benchmark problems (Yue et al., 2019). In order to ensure a fair comparison between the algorithms, the maximum number of fitness function evaluations (*maxFEs*) was set as the stopping criteria for the algorithms, which was taken as $10000 \cdot D$. Moreover, each algorithm was run 51 times for each problem. The parameter settings of the algorithm are taken as given in its original paper, and the parameters for COA variations are the same as the base COA algorithm.

In order to evaluate the results of all algorithms, the Friedman test and Wilcoxon pairwise test were carried out. The Friedman test results are presented in Table 1. In Table 1, the algorithm with the best Friedman score

for each experiment is in bold. Besides, in the last column of Table 1, the mean Friedman score value obtained from the experiments carried out in five different dimensions for each algorithm is presented. Moreover, the mean Friedman score values obtained by each algorithm in five different experiments are given in the last column of Table 1. Accordingly, Case-3 achieved the best Friedman score value among all algorithms in all experiments. Other variations were not able to exhibit as stable search performance as Case-3 against the base COA. Case-6 ranked second according to the mean score value, achieved better score values than the base COA in the 10, 30, 50, and 100 dimensions, but fell behind the COA in the 20 dimensions. On the other hand, Case-4 ranked third according to the mean score value obtained better score values than the base COA in 3 of 5 experiments.

In addition to the Friedman test, the Wilcoxon test was performed to assess the performance of the variations pairwise with the base algorithm. The results of the Wilcoxon pairwise results of the COA and its variations are presented in Table 2. To explain how to interpret the data in the table, for example, the expression "Case-1 vs. COA" indicates that a pairwise comparison is made between Case-1 and the COA. The "+" sign indicates that Case-1 is superior to the COA, the "-" sign indicates that the COA is superior to Case-1, and the "=" sign indicates that the two algorithms are equal. When the results given in Table 2 were examined, it was clearly seen that Case-3 was superior to COA in all experiments.

The convergence analysis as well as the statistical analysis methods are performed to evaluate the performance of the algorithms. The CEC2020 benchmark suite includes four problem types: unimodal, multimodal, hybrid, and composition. To evaluate the performance of the algorithms in these four different problem types, F1 (unimodal), F3 (multimodal), F6 (hybrid), and F10 (composition) were selected. The convergence curves of the six COA variations and the base COA in 20-dimensional search space are presented in Figure 3. According to the convergence graph given in Figure 3 (a), it was seen that Case-3 achieved an error value below 500 for the F1 problem compared to other algorithms. For problems F3 and F6, Case-3 achieved significantly smaller error values than its competitors. Lastly, for the F10 problem, Case-3 achieved better results than its competitors by a slight margin. To sum up, when the convergence curves for all problem types given in Figure 3 were examined, it was seen that Case-3 obtained the lowest error values among all algorithms.

The convergence graphs alone are not sufficient to evaluate the search performance of an algorithm because they are drawn based on the run in which each algorithm achieved the lowest objective function value among 51 runs. Therefore, the box-plot graphs were drawn based on the results of 51 runs of the algorithms given in Figure 4. For this, four different problem types, F1 (unimodal), F2 (multimodal), F5 (hybrid), and F9 (composition) were selected. According to box-plots of all problems given in

Figure 4, Case-3 obtained the lowest min, max, and median values among all algorithms. These results showed that Case-3 had a more stable search performance than its competitors. To sum up, when overall analysis results based on the

Friedman test, Wilcoxon test, and convergence analysis were evaluated, Case-3 outperformed its competitors in the simulation study where CEC2020 benchmark problems were solved in five different dimensions. In the remainder of the study, Case-3 was referred to as ECOA.

Table 1. Friedman score of the COA and its variations

Method	$D = 10$	$D = 20$	$D = 30$	$D = 50$	$D = 100$	Mean Score
Case-3	3.4588	3.7176	3.5784	3.4098	3.4314	3.5192
Case-6	4.0569	4.1725	3.9039	3.9706	3.8922	3.9992
Case-4	3.9510	4.1039	4.1157	4.1588	3.8941	4.0447
COA	4.0667	3.9706	4.0843	4.2039	4.0627	4.0776
Case-2	4.2745	3.9471	3.8961	4.1745	4.2333	4.1051
Case-1	4.0608	3.9608	4.2294	4.1451	4.2039	4.1200
Case-5	4.1314	4.1275	4.1922	3.9373	4.2824	4.1341

Table 2. Wilcoxon pairwise results of the COA and its variations

vs. COA (+ / = / -)	$D = 10$	$D = 20$	$D = 30$	$D = 50$	$D = 100$
Case-1	5/4/1	5/5/0	4/2/4	5/4/1	5/3/2
Case-2	3/3/4	6/4/0	6/2/2	4/4/2	4/3/3
Case-3	8/2/0	7/3/0	7/2/1	7/2/1	6/3/1
Case-4	7/3/0	4/5/1	5/3/2	5/3/2	5/3/2
Case-5	3/4/3	4/5/1	4/3/3	6/2/2	4/2/4
Case-6	6/4/0	3/4/3	5/4/1	6/2/2	6/2/2

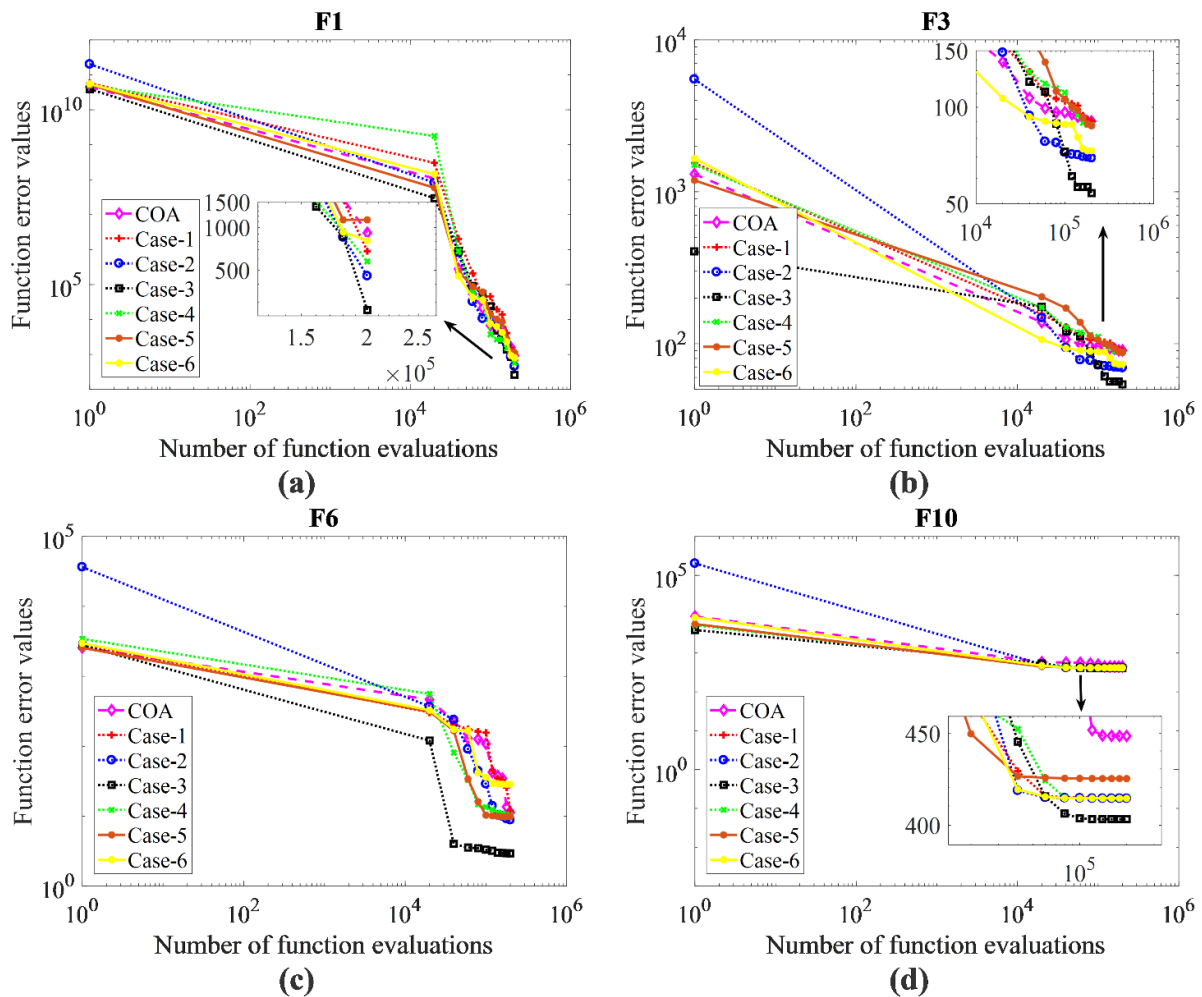


Figure 3. Convergence curves of the COA algorithm and six variations for 20 dimension.

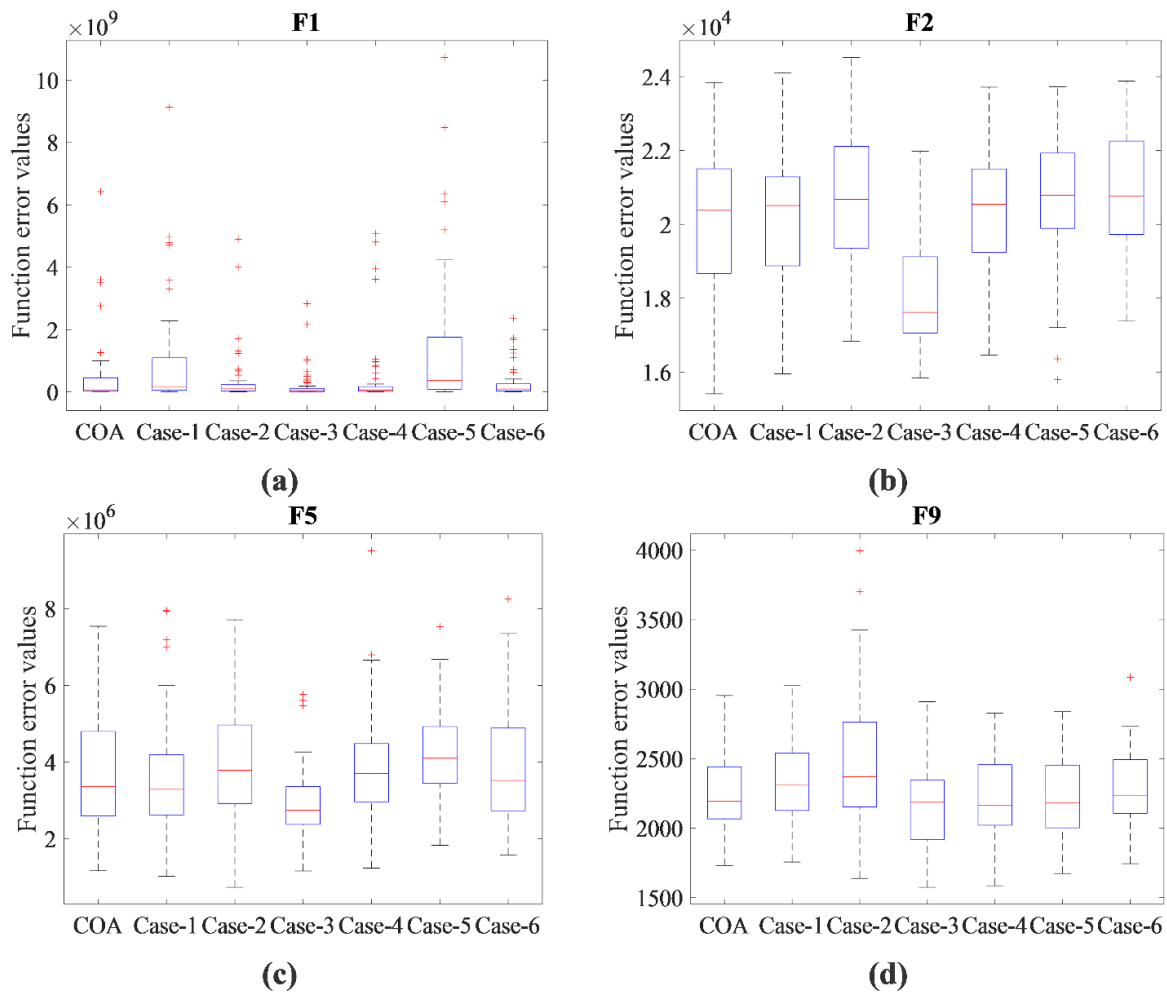


Figure 4. Box-plot graphs of the COA algorithm and six variations for 100 dimension.

Table 3. Parameter range for STP6-120/36, Photowatt-PWP201, and STM6-40/36 PV modules

Parameter	Photowatt-PWP201		STP6-120/36		STM6-40/36	
	<i>lb</i>	<i>ub</i>	<i>lb</i>	<i>ub</i>	<i>lb</i>	<i>ub</i>
<i>a</i>	1	50	1	50	1	60
<i>R_s</i> (Ω)	0	2	0	0.4	0	0.4
<i>R_{sh}</i> (Ω)	0	2000	0	1500	0	1000
<i>I_{pv}</i> (A)	0	2	0	8	0	2
<i>I_{o1}</i> (μA)	0	50	0	50	1	50

3.2. Implementation of the ECOA Algorithm for the PV Parameter Estimation Problem

In this sub-section, the performance of the proposed ECOA is tested in detail for the PV parameter estimation problem. Here, three test cases are considered using three different PV modules including STP6-120/36, Photowatt-PWP201, and STM6-40/36. They have 36 series connected solar cells and operate at 1000 W/m² and the temperatures of 45°, 55°, and 51°, respectively. While the current (I) / voltage (V) data of the Photowatt-PWP201 can be extracted from (Wu et al., 2018), the I/V data of STP6-120/36 and STM6-40/36 can be obtained from (Premkumar et al., 2021). Moreover, the lower and upper bounds of the PV parameters are set to be the same as in the literature and are given in Table 3.

3.2.1. Results of the Photowatt-PWP201 module

The Photowatt-PWP201 module has five unknown

parameters for the single-diode model. To estimate these parameters, the proposed ECOA and the base COA were applied. The optimal parameters obtained from them are listed in Table 4. Accordingly, the ECOA and COA obtained the 0.00238035 and 0.00382927 objective function values, respectively, where the result of the ECOA was 37.8378% lower than the COA. In Table 5, the mean, minimum (min), standard deviation (std), and maximum (max) of the ECOA, COA, and the optimization algorithms reported in the literature are tabulated. From Table 5, the ECOA achieved the best min, mean, and max values among the rivals. Besides, the objective function value of the ECOA was lower by 1.8441%, 15.3275%, 1.8441%, 1.8410%, 1.8451%, and 1.8439% than the ABCTRR (Wu et al., 2018), SMA (Kumar et al., 2020), HDE (Wang et al., 2022), WHHO (Naeijian et al., 2021), RTLBO (Yu et al., 2023), and TLABC (Chen et al., 2018),

respectively. Figure 5 (a) presents the convergence graphs of the proposed ECOA and COA. Accordingly, the ECOA converged faster than the COA. Figure 6 (a) presents the box-plot graphs for the ECOA and COA algorithms, where it was clearly seen that the ECOA

algorithm had a more stable performance than COA. In Figure 7, the I-V and P-V curves of the experimental and calculated data by ECOA are given. These curves clearly show that the proposed algorithm obtained the module parameters with high accuracy.

Table 4. Optimal parameters obtained from ECOA and COA for Photowatt-PWP201 module

Method	a	$R_s (\Omega)$	$R_{sh} (\Omega)$	$I_{pv} (A)$	$I_{o1} (\mu A)$	RMSE
ECOA	48.55280659	1.21074419	996.27014927	1.03047082	3.39999999	0.00238035
COA	50.13811413	1.14691709	777.56118051	1.03591932	5.06086952	0.00382927

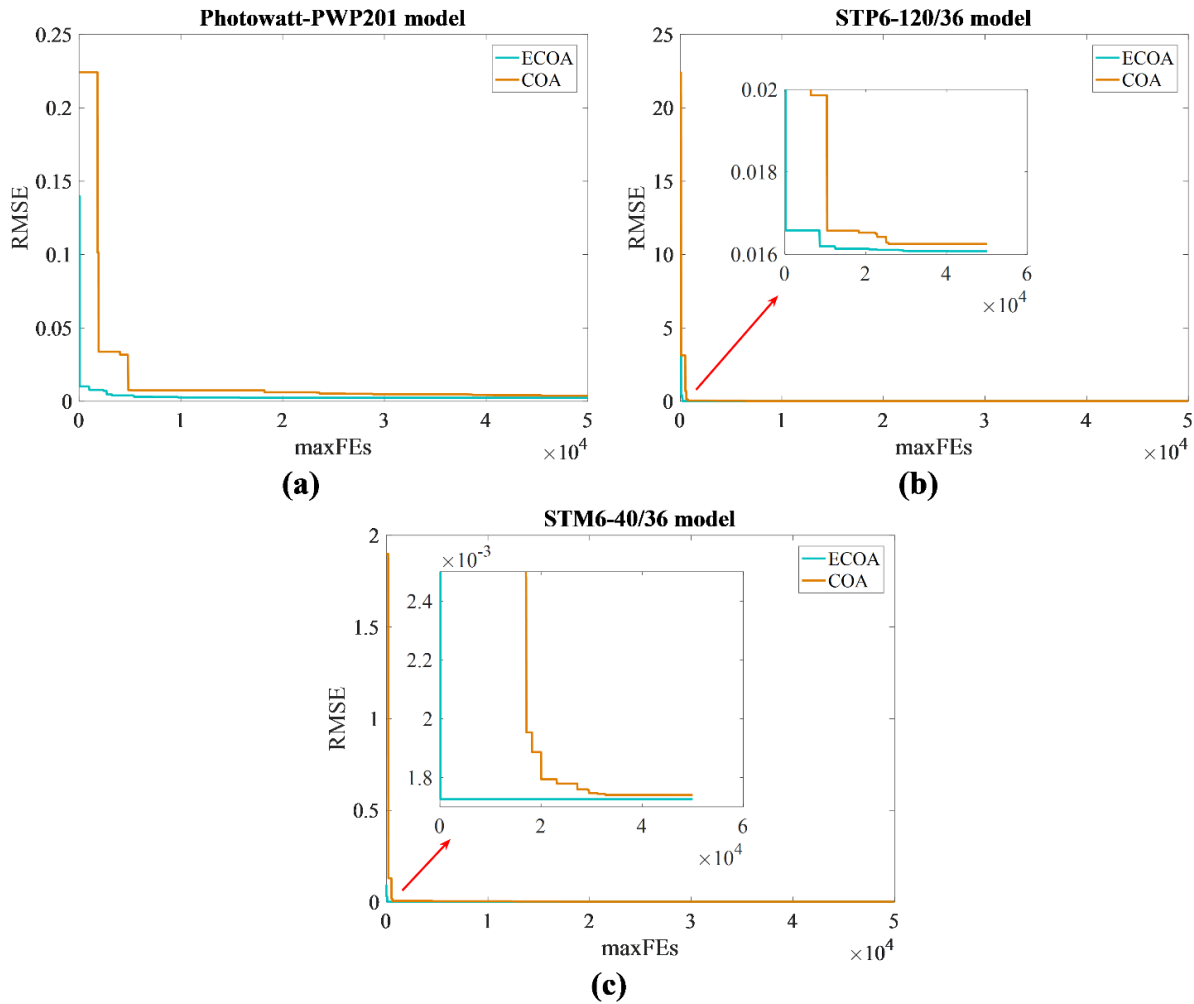


Figure 5. Convergence graphs of the ECOA and COA for (a) Photowatt-PWP201, (b) STP6-120/36, (c) STM6-40/36.

Table 5. Comparison of the results of ECOA with the results of the literature studies for Photowatt-PWP201 module

Method	Min	Mean	Max	Std
ECOA	0.00238035	0.00238637	0.00239472	4.13E-06
COA	0.00382927	0.00842824	0.01223100	1.79E-03
ABCTRR	0.00242508	0.00242508	0.00242508	9.68E-17
SMA	0.00281125	0.00335278	0.10799200	1.08E-02
HDE	0.00242507	0.00242507	0.00242507	3.15E-17
WHHO	0.00242500	0.00242500	0.00242500	N/A
RTLBO	0.00242510	0.00242510	0.00242510	1.80E-17
TLABC	0.00242507	0.00242647	0.00244584	4.00E-06

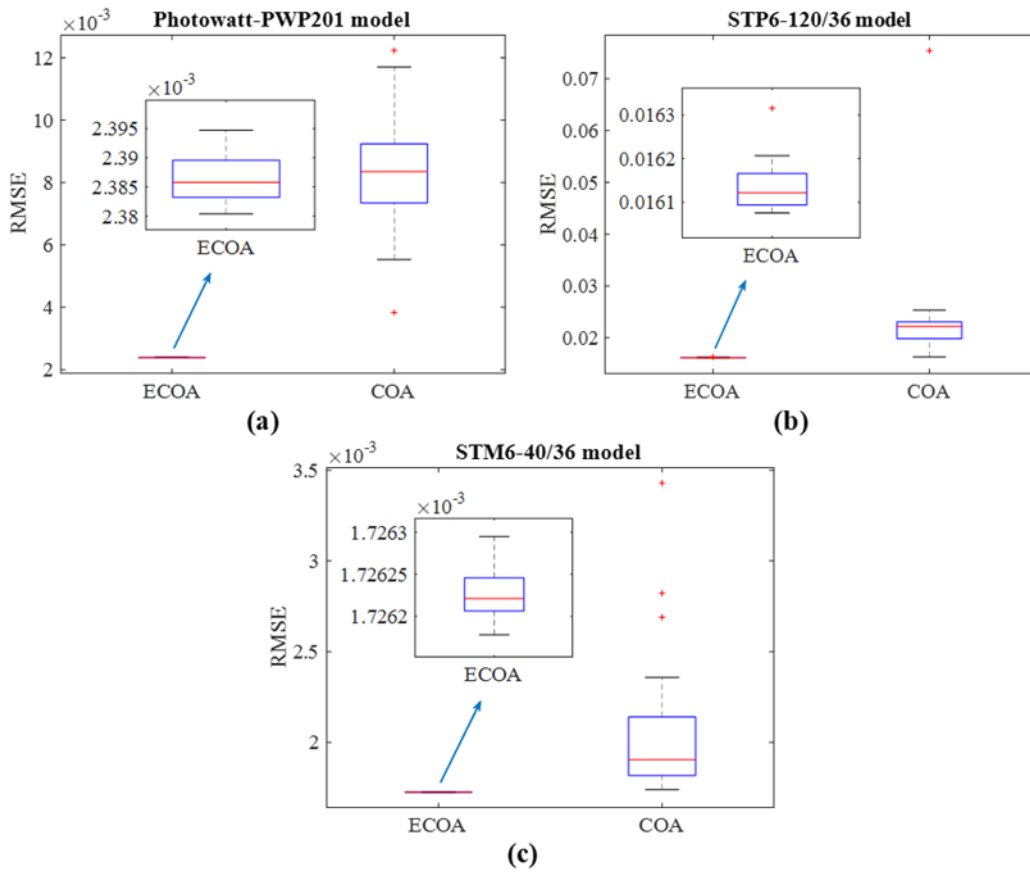


Figure 6. Box-plot graphs of the ECOA and COA for (a) Photowatt-PWP201, (b) STP6-120/36, (c) STM6-40/36.

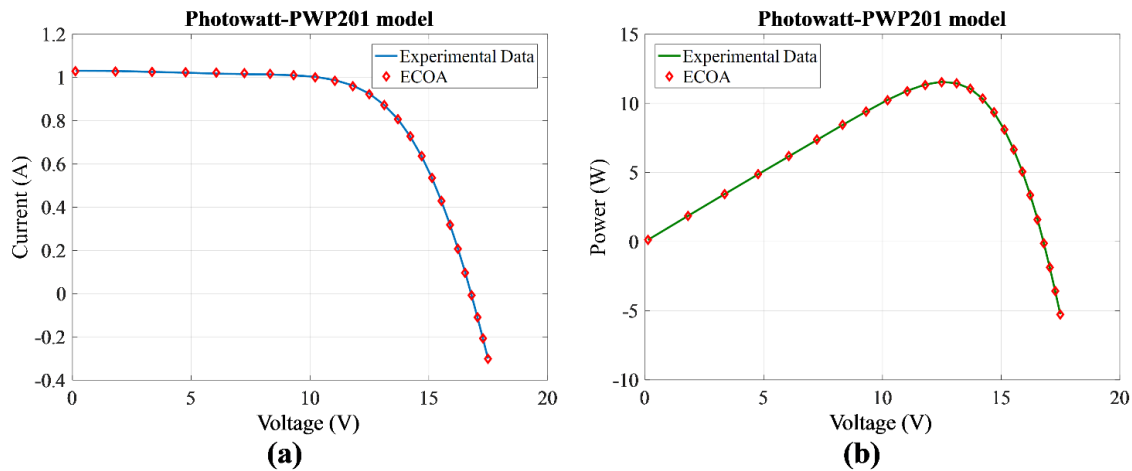


Figure 7. (a) I-V, (b) P-V curves of the experimental and calculated data by ECOA for Photowatt-PWP201.

3.2.2. Results of the STP6-120/36 Module

In order to estimate the parameters of the STP6-120/36 module, the proposed ECOA and base COA were implemented. The optimal parameters obtained from both ECOA and COA are presented in Table 6. From Table 6, the ECOA and COA achieved the 0.01607573 and 0.01625257 objective function values, respectively. In Table 7, the mean, min, std, and max of the ECOA, COA, and the optimization algorithms reported in the literature are listed. From Table 7, the minimum objective value obtained by the ECOA was lower by 1.0880%, 3.1618%, 3.1641%, 3.1618%, and 3.1618%

than the HDE (Wang et al., 2022), RTLBO (Yu et al., 2023), IMFOL (Qaraad et al., 2023), DPDE (Wang et al., 2022), and RLDE (Wang et al., 2022), respectively. Figure 5 (b) shows the convergence curves of the ECOA and COA algorithms. It is seen that the convergence performance of the proposed algorithm was better than its rival. According to Figure 6 (b), the ECOA obtained the lowest minimum, mean, and median objective function values than the COA algorithm. Figure 8 presents the I-V and P-V curves of the experimental and calculated data by ECOA. It shows that the proposed algorithm found the parameters of the STP6-120/36 module most accurately.

Table 6. Optimal parameters obtained from ECOA and COA for STP6-120/36 module

Method	a	$R_s (\Omega)$	$R_{sh} (\Omega)$	$I_{pv} (A)$	$I_{o1} (\mu A)$	RMSE
ECOA	44.19052491	0.18426534	1401.42330369	7.46334747	1.50240004	0.01607573
COA	44.67749123	0.17788827	1020.92793143	7.46882458	1.80016445	0.01625257

Table 7. Comparison of the results of ECOA with the results of the literature studies for STP6-120/36 module

Method	Min	Mean	Max	Std
ECOA	0.01607573	0.01613596	0.01631576	5.34E-05
COA	0.01625257	0.02315716	0.07545616	1.01E-02
HDE	0.01660060	0.01660060	0.01660060	1.86E-16
RTLBO	0.01660100	0.01660100	0.01660100	1.10E-11
DPDE	0.01660060	0.01660060	0.01660060	7.67E-17
RLDE	0.01660060	0.01660060	0.01660060	1.98E-16

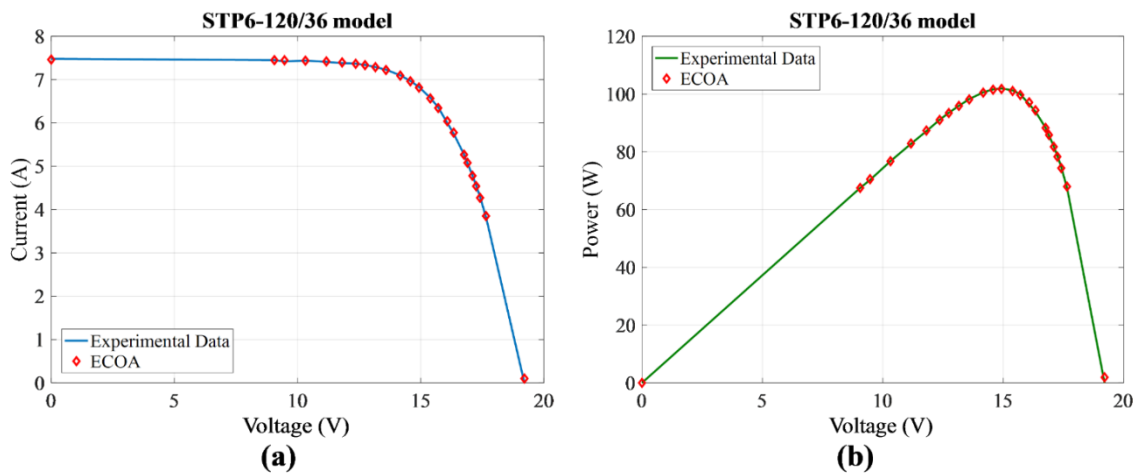


Figure 8. (a) I-V, (b) P-V curves of the experimental and calculated data by ECOA for STP6-120/36.

Table 8. Optimal parameters obtained from ECOA and COA for STM6-40/36 module

Method	a	$R_s (\Omega)$	$R_{sh} (\Omega)$	$I_{pv} (A)$	$I_{o1} (\mu A)$	RMSE
ECOA	56.53886354	0.00000010	603.02089356	1.66323522	2.91000000	0.00172618
COA	55.71193861	0.06329994	578.11228241	1.66374528	2.31970890	0.00174028

Table 9. Comparison of the results of ECOA with the results of the literature studies for STM6-40/36 module

Method	Min	Mean	Max	Std
ECOA	0.00172618	0.00172623	0.00172629	2.85E-08
COA	0.00174028	0.00204472	0.00342965	3.71E-04
HDE	0.00172981	0.00172981	0.00172981	7.89E-18
RTLBO	0.00172980	0.00172980	0.00172980	3.40E-15
IMFOL	0.00188700	0.00303350	0.00467490	8.55E-04
DPDE	0.00172981	0.00172981	0.00172981	1.10E-17
RLDE	0.00172981	0.00172981	0.00172981	1.58E-17

3.2.3. Results of the STM6-40/36 Module

The STM6-40/36 module has five unknown parameters, and the proposed ECOA and base COA were implemented to determine them. The optimal parameters obtained from both ECOA and COA are presented in Table 8. According to Table 8, the ECOA and COA obtained the 0.00172618 and 0.00174028 objective function values, respectively. In Table 9, the mean, min, std, and max of the ECOA, COA, and the optimization algorithms reported in the literature are given. When evaluating the values

given in Table 9, the minimum objective value achieved by the ECOA, was lower by 0.8106%, 0.2102%, 0.2094%, 8.5226%, 0.2102%, and 0.2102% than the COA, HDE (Wang et al., 2022), RTLBO (Yu et al., 2023), IMFOL (Qaraad et al., 2023), DPDE (Wang et al., 2022), and RLDE (Wang et al., 2022), respectively. Figure 5 (c) presents the convergence curves of the ECOA and COA algorithms, where the convergence performance of the ECOA was better than the COA. According to Figure 6 (c), the ECOA showed superior performance than the COA

algorithm, where it achieved the lowest minimum, and mean, and median objective function values than the COA. The I-V and P-V curves of the experimental and calculated data by ECOA are presented in Figure 9. It is seen that the ECOA estimated the unknown parameters of the STM6-40/36 module most accurately.

3.2.4 Sensitivity Analysis

In this study, the aim of the PV parameter estimation problem is to identify the five unknown parameters (a , R_s , R_{sh} , I_{pv} , and I_{o1}) of the STP6-120/36, Photowatt-PWP201, and STM6-40/36 modules. In this section, the sensitivity analysis is performed to identify the most important parameters influencing the PV module's performance. Therefore, the sensitivity analysis was carried out to identify the effect of five unknown parameters (a , R_s , R_{sh} , I_{pv} , and I_{o1}) on the objective function. Within the range of -10%, -5%, +5%, and +10%

of the base case values, the objective function values obtained by varying the determined parameters were recorded. The results of sensitivity analysis using the ECOA algorithm for the Photowatt-PWP201, STP6-120/36, and STM6-40/36 modules are presented in Table 10. Here, the objective function values were calculated in line with the change rates of all parameters given one by one. According to Table 10, it is seen that the change in the a parameter seriously affects the objective function value. While the second parameter that most seriously affects the objective function value is I_{pv} , the third parameter is the I_{o1} affecting the objective function significantly. On the other hand, the parameter that has the least impact on the objective function value is R_{sh} . Thus, the parameters affecting the performance of PV modules were determined.

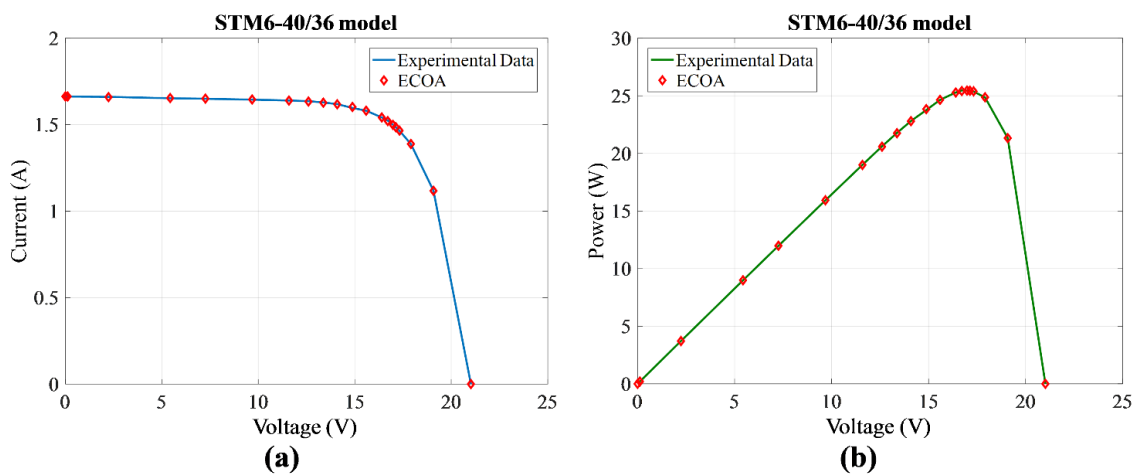


Figure 9. (a) I-V, (b) P-V curves of the experimental and calculated data by ECOA for STM6-40/36.

Table 10. The results of sensitivity analysis using ECOA algorithm for Photowatt-PWP201, STP6-120/36, and STM6-40/36 modules

Type		a	R_s (Ω)	R_{sh} (Ω)	I_{pv} (A)	I_{o1} (μ A)
Photowatt t- PWP201	-10%	1.76417217	0.01424594	0.00283344	0.10312068	0.05788966
	Base	0.00238035	0.00238035	0.00238035	0.00238035	0.00238035
	+10%	1.76417217	0.01424594	0.00283344	0.10312068	0.05788966
STP6- 120/36	-10%	6.19388096	0.10764357	0.01608878	0.74638378	0.15803240
	Base	0.01607573	0.01607573	0.01607573	0.01607573	0.01607573
	+10%	6.19388096	0.10764357	0.01608878	0.74638378	0.15803240
STM6- 40/36	-10%	0.39742699	0.00172618	0.00301994	0.16633338	0.01497132
	Base	0.00172618	0.00172618	0.00172618	0.00172618	0.00172618
	+10%	0.39742699	0.00172618	0.00301994	0.16633338	0.01497132

4. Conclusion

In this paper an enhanced version of the crayfish optimization algorithm including OBL strategies was proposed to determine the parameters of the three PV modules. In this study, three OBL strategies were considered and were applied in different phases of the COA. Accordingly, six COA variations were created, and their performances were compared on solving the CEC2020 benchmark problems in five dimensional search space against the base COA. To evaluate their

results, the statistical analysis methods and the convergence analysis were performed. According to all results obtained from the Friedman and Wilcoxon tests, and the convergence analyzes, the best COA variation was determined and it was called ECOA. On the other hand, to prove the proposed ECOA algorithm on solving the PV parameter estimation problem, the parameters of three PV modules including STP6-120/36, Photowatt-PWP201, and STM6-40/36 were determined using the ECOA and base COA. According to the simulation results,

the proposed ECOA achieved the 37.8378%, 1.0880%, and 0.8106% lower fitness value than the base COA for Photowatt-PWP201, STP6-120/36, and STM6-40/36, respectively. Besides, the results of the ECOA were compared with the results reported in the literature. It shows that the proposed ECOA algorithm achieved more accurate results in estimating model parameters for three PV modules than the results presented in the literature. On the other hand, the sensitivity analysis was conducted to show the effect of the PV model parameters on the objective function. According to the results of the sensitivity analysis, while I_{pv} and a parameters were the most effective parameters on the objective function, the change of R_{sh} has very little effect on the objective function. To sum up, the proposed ECOA is a viable solution to the PV parameter estimation problem since it extracts more accurate and stable parameters with greater efficiency. In future studies, it is considered to apply the ECOA for the estimation of double-diode and triple-diode PV module parameters.

Author Contributions

The percentage of the author contributions is presented below. The author reviewed and approved the final version of the manuscript.

	B.Ö.
C	100
D	100
S	100
DCP	100
DAI	100
L	100
W	100
CR	100
SR	100
PM	100
FA	100

C=Concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, DAI= data analysis and/or interpretation, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision, PM= project management, FA= funding acquisition.

Conflict of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

Ethical Consideration

Ethics committee approval was not required for this study because of there was no study on animals or humans.

References

Ali F, Sarwar, A, Bakhsh, FI, Ahmad, S, Shah, AA, Ahmed, H. 2023. Parameter extraction of photovoltaic models using atomic orbital search algorithm on a decent basis for novel accurate RMSE calculation. *Energy Convers Manag*, 277: 116613.
 Ayang A, Wamkeue R, Ouhrouche M, Djongyang N, Salomé NE,

Pombe JK, Ekemb G. 2019. Maximum likelihood parameters estimation of single-diode model of photovoltaic generator. *Renew Energy*, 130: 111-121.
 Ayyarao TS, Kishore GI. 2024. Parameter estimation of solar PV models with artificial humming bird optimization algorithm using various objective functions. *Soft Comput*, 28(4): 3371-3392.
 Cárdenas AA, Carrasco M, Mancilla-David F, Street A, Cardenas R. 2016. Experimental parameter extraction in the single-diode photovoltaic model via a reduced-space search. *IEEE Trans Ind Electron*, 64(2): 1468-1476.
 Çetinbaş İ, Tamyurek B, Demirtaş M. 2023. Parameter extraction of photovoltaic cells and modules by hybrid white shark optimizer and artificial rabbits optimization. *Energy Convers Manag*, 296: 117621.
 Çetinbaş İ. 2024. Parameter Extraction of Single, Double, and Triple-Diode Photovoltaic Models Using the Weighted Leader Search Algorithm. *Glob Chall*, 8(5): 2300355.
 Chen X, Xu B, Mei C, Ding Y, Li K. 2018. Teaching-learning-based artificial bee colony for solar photovoltaic parameter estimation. *Appl Energy*, 212: 1578-1588.
 Chenche LEP, Mendoza OSH, Bandarra Filho EP. 2018. Comparison of four methods for parameter estimation of mono-and multi-junction photovoltaic devices using experimental data. *Renew Sustain Energy Rev*, 81: 2823-2838.
 Duman S, Kahraman H.T, Sonmez Y, Guvenc U, Kati M, Aras S. 2022. A powerful meta-heuristic search algorithm for solving global optimization and real-world solar photovoltaic parameter estimation problems. *Eng Appl Artif Intell*, 111: 104763.
 El-Dabah MA, El-Sehiemy RA, Hasanien HM, Saad B. 2023. Photovoltaic model parameters identification using Northern Goshawk Optimization algorithm. *Energy*, 262: 125522.
 El-Sehiemy R, Shaheen A, El-Fergany A, Ginidi A. 2023. Electrical parameters extraction of PV modules using artificial hummingbird optimizer. *Sci Rep*, 13(1): 9240.
 Ergezer M, Simon D, Du D. 2009. Oppositional biogeography-based optimization. In: *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, October 11-14, San Antonio, TX, US, pp: 1009-1014.
 Garip Z. 2023. Parameters estimation of three-diode photovoltaic model using fractional-order Harris Hawks optimization algorithm. *Optik*, 272: 170391.
 Isen E, Duman S. 2024. Improved stochastic fractal search algorithm involving design operators for solving parameter extraction problems in real-world engineering optimization problems. *Appl Energy*, 365: 123297.
 Izci D, Ekinci S, Hussien AG. 2024. Efficient parameter extraction of photovoltaic models with a novel enhanced prairie dog optimization algorithm. *Sci Rep*, 14(1): 7945.
 Jia H, Rao H, Wen C, Mirjalili S. 2023. Crayfish optimization algorithm. *Artif Intell Rev*, 56(2): 1919-1979.
 Kumar C, Raj TD, Premkumar M, Raj TD. 2020. A new stochastic slime mould optimization algorithm for the estimation of solar photovoltaic cell parameters. *Optik*, 223: 165277.
 Long W, Jiao J, Liang X, Xu M, Tang M, Cai S. 2022. Parameters estimation of photovoltaic models using a novel hybrid seagull optimization algorithm. *Energy*, 249: 123760.
 Long W, Wu T, Jiao J, Tang M, Xu M. 2020. Refraction-learning-based whale optimization algorithm for high-dimensional problems and parameter estimation of PV model. *Eng Appl Artif Intell*, 89: 103457.
 Maden D, Çelik E, Houssein EH, Sharma G. 2023. Squirrel search algorithm applied to effective estimation of solar PV model

- parameters: a real-world practice. *Neural Comput Appl*, 35(18): 13529-13546.
- Mahdavi S, Rahnamayan S, Deb K. 2018. Opposition based learning: A literature review. *Swarm Evol Comput*, 39: 1-23.
- Naeijian M, Rahimnejad A, Ebrahimi SM, Pourmousa N, Gadsden SA. 2021. Parameter estimation of PV solar cells and modules using Whippy Harris Hawks Optimization Algorithm. *Energy Rep*, 7: 4047-4063.
- Navarro MA, Oliva D, Ramos-Michel A, Haro EH. 2023. An analysis on the performance of metaheuristic algorithms for the estimation of parameters in solar cell models. *Energy Convers Manag*, 276: 116523.
- Ortiz-Conde A, Sánchez FJG, Muci J. 2006. New method to extract the model parameters of solar cells from the explicit analytic solutions of their illuminated I-V characteristics. *Sol Energy Mater Sol Cells*, 90(3): 352-361.
- Premkumar M, Jangir P, Sowmya R, Elavarasan RM, Kumar BS. 2021. Enhanced chaotic JAYA algorithm for parameter estimation of photovoltaic cell/modules. *ISA Trans*, 116: 139-166.
- Qais MH, Hasanien HM, Alghuwainem S. 2020. Transient search optimization for electrical parameters estimation of photovoltaic module based on datasheet values. *Energy Convers Manag*, 214: 112904.
- Qaraad M, Amjad S, Hussein NK, Badawy M, Mirjalili S, Elhosseini MA. 2023. Photovoltaic parameter estimation using improved moth flame algorithms with local escape operators. *Comput Electr Eng*, 106: 108603.
- Rahnamayan S, Tizhoosh HR, Salama MM. 2007. Quasi-oppositional differential evolution. In: *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, September 25-28, Singapore, pp: 2229-2236.
- Shaheen AM, Ginidi AR, El-Sehiemy RA, El-Fergany A, Elsayed AM. 2023. Optimal parameters extraction of photovoltaic triple diode model using an enhanced artificial gorilla troops optimizer. *Energy*, 283: 129034.
- Sharma A, Sharma A, Averbukh M, Rajput S, Jatly V, Choudhury S, Azzopardi B. 2022. Improved moth flame optimization algorithm based on opposition-based learning and Lévy flight distribution for parameter estimation of solar module. *Energy Rep*, 8: 6576-6592.
- Tizhoosh HR. 2005. Opposition-based learning: a new scheme for machine intelligence. In: *International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce*, November 28-30, Vienna, Austria, pp: 695-701.
- Wang D, Sun X, Kang H, Shen Y, Chen Q. 2022. Heterogeneous differential evolution algorithm for parameter estimation of solar photovoltaic models. *Energy Rep*, 8: 4724-4746.
- Wang J, Yang B, Li D, Zeng C, Chen Y, Guo Z, Yu T. 2021. Photovoltaic cell parameter estimation based on improved equilibrium optimizer algorithm. *Energy Convers Manag*, 236: 114051.
- Wu L, Chen Z, Long C, Cheng S, Lin P, Chen Y, Chen H. 2018. Parameter extraction of photovoltaic models from measured IV characteristics curves using a hybrid trust-region reflective algorithm. *Appl Energy*, 232: 36-53.
- Xiong G, Gu Z, Mohamed AW, Bouchekara HR, Suganthan PN. 2024. Accurate parameters extraction of photovoltaic models with multi-strategy gaining-sharing knowledge-based algorithm. *Inf Sci*, 670, 120627.
- Yang B, Wang J, Zhang X, Yu T, Yao W, Shu H, Sun L. 2020. Comprehensive overview of meta-heuristic algorithm applications on PV cell parameter identification. *Energy Convers Manag*, 208:112595.
- Yang C, Su C, Hu H, Habibi M, Safarpour H, Khadimallah MA. 2023. Performance optimization of photovoltaic and solar cells via a hybrid and efficient chimp algorithm. *Sol Energy*, 253: 343-359.
- Yu S, Heidari AA, Liang G, Chen C, Chen H, Shao Q. 2022. Solar photovoltaic model parameter estimation based on orthogonally-adapted gradient-based optimization. *Optik*, 252: 168513.
- Yu X, Hu Z, Wang X, Luo W. 2023. Ranking teaching-learning-based optimization algorithm to estimate the parameters of solar models. *Eng Appl Artif Intell*, 123: 106225.
- Yue CT, Price KV, Suganthan PN, Liang JJ, Ali MZ, Qu BY, Biswas PP. 2019. Problem definitions and evaluation criteria for the CEC 2020 special session and competition on single objective bound constrained numerical optimization. *Comput. Intell. Lab., Zhengzhou Univ., Technical Report*, 201911, Henan, China, pp: 65.



BARKHAUSEN NOISE AS A MAGNETIC NONDESTRUCTIVE TESTING TECHNIQUE

Ömer ADANUR¹, Oğuz KOÇAR², Ahmet Serdar GÜLDİBİ^{3*}, Engin KOCAMAN⁴, Erhan BAYSAL⁵

¹Sakarya University of Applied Sciences, Faculty of Engineering, Department of Manufacturing Engineering, 54100, Sakarya, Türkiye

²Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 67980, Zonguldak, Türkiye

³Karabük University, Faculty of Technology, Department of Manufacturing Engineering, 78000, Karabük, Türkiye

⁴Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Aerospace Engineering, 67980, Zonguldak, Türkiye


⁵Zonguldak Bülent Ecevit University, Alaplı Vocational School, 67980, Zonguldak, Türkiye


Abstract: Magnetic Barkhausen Noise (MBN) is a magnetic-based non-destructive electromagnetic testing method. Due to the electromagnetic working principle of MBN, it can be used for ferromagnetic materials, which consist of small magnetic fields discredited by domain walls and oriented in various directions. In an external magnetic field application, the fields turn to the magnetic direction, and the domain walls move and cause magnetic flux jumps. The jumps are named Barkhausen Noise (BN). The domain wall movements are sometimes pushed down by microstructure, composition, and defects. As the magnetic domain walls break away from the pinning sites produce MBN signal. MBN can be used for different material properties such as microstructure, composition, residual stress, and hardness. The paper's purpose is to analyze MBN as an improved NDT, clarify the relationship between material properties and MBN profile, and introduce MBN's applications and test equipment of MBN.


Keywords: Magnetic barkhausen noise, Material properties, MBN applications, MBN experimental setup, MBN signal, Non-Destructive testing


*Corresponding author: Karabük University, Faculty of Technology, Department of Manufacturing Engineering, 78000, Karabük, Türkiye


E mail: serdarguldibi@karabuk.edu.tr (A.S. GÜLDİBİ)

Ömer ADANUR  <https://orcid.org/0000-0001-5591-9661>

Oğuz KOÇAR  <https://orcid.org/0000-0002-1928-4301>

Ahmet Serdar GÜLDİBİ  <https://orcid.org/0000-0001-7021-060X>

Engin KOCAMAN  <https://orcid.org/0000-0001-5617-3064>

Erhan BAYSAL  <https://orcid.org/0000-0002-2767-8722>

Received: December 01, 2023

Accepted: May 15, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Adanur Ö, Koçar O, Güldibi AS, Kocaman E, Baysal E. 2024. Barkhausen noise as a magnetic nondestructive testing technique. BSJ Eng Sci, 7(4): 785-796.

1. Introduction

Materials and manufactured/products often need to be tested before distribution to ensure they meet expectations and ensure quality during a specified period of service (Blitz, 2012). The industry has two kinds of test methods: destructive test methods (DT) and non-destructive test methods (NDT).

In destructive testing, tests usually contain the deformation or failure of samples/material (called test samples or pieces) to determine mechanical properties, such as strength, toughness, and hardness. DT can be used to predict the performance of products during their service life. However, for the predictions to be reliable, the test conditions must be very similar to the environment in which the product operates. However, there are certain limitations in the test conditions and, therefore, cannot be applied to the products in service (McMaster, 1959). In NDT, these tests are performed without any damage to the product. Thus, the product can continue to be used. Hence, it is called "non-destructive testing". NDTs can be used for semi-products, materials, assemblies, or constructions. NDTs are often required to verify the quality and estimate a product's or

system's strength and serviceability. There are many NDT methods. Each of these is based on various physical features. NDT methods can be listed as visual, penetrant, pressure and leak, acoustic, thermal, radiography, magnetic, electrical and electrostatic, and electromagnetic induction (Ping et al., 2010). One of the non-destructive methods is MBN measurement, which is advisable for ferromagnetic materials and is an electromagnetic testing method (Cullity and Graham, 2011) used mainly in the aviation and automotive industry. The method of BN has been quite common due to its compliance with automation, being fast, and enabling characterization with the measurement of parameters (Yelbay, 2008). In 1907, the domain theory of ferromagnetism was first introduced by the French physicist Pierre-Ernest Weiss (Fischer, 2013). In 1919, Barkhausen found "noise" in an earphone during a piece of iron-induced voltage in a pick-up coil. He found the sound of magnetization changes during induction and was called "Magnetic Barkhausen Noise." This experiment is the first evidence of the presence of magnetic domains in a ferromagnetic material (Clapham et al., 2000). A ferromagnetic material is comprised of



magnetic domains (magnetic areas in microscopic dimensions). Magnetic domains are separated from each other by domain walls. Magnetization in domain limits is dispersed in a homogenized way, and there are 1012-1018 dipoles oriented in the same direction in magnetic domains (Yelbay, 2008). Though the domains are oriented the same within themselves, they are oriented randomly according to other domains. Thus, the average effect of magnetism is set to zero, and metal does not have any specific magnetic characteristics (Cullity and Graham, 2011). When an external magnetic field is applied to the material, domain walls start to move. When the magnitude of the applied magnetic field reaches a sufficient level, domains create a single field, moving the domain walls away (Figure 1), and dipoles are oriented in the same direction. Thus, the metal will have a powerful magnetism (Lo et al., 2000; Durin and Zapperi, 2004).

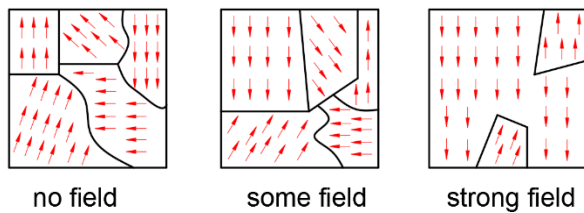


Figure 1. Movement of domain walls.

Even if the magnetic field changes correctly during the movements of the domain walls, jumps occur over the hysteresis curve. These abrupt jumps cause rapid changes in the magnetization of the material. Due to these changes, a signal like a noise called MBN arises. This signal gives information on many characteristics of the material, such as its particle size (Yelbay, 2008), residual stress (Cullity and Graham, 2011), or phase ratios.

This article introduces the necessary equipment for MBN measurements giving explanations of basic concepts of MBN. Moreover, its areas of usage and the relation of the BN signal with the characteristics of the material are clarified.

2. Magnetic Barkhausen Noise Methods

2.1. Basis of MBN

When ferromagnetic materials are exposed to an external magnetic field, atoms comprising the material line up with their poles in the same direction. This causes the material to demonstrate the characteristics of the magnet. With these materials, the relation between magnetic field strength "H" and magnetization "M" is not linear. The material forms following the first magnetization curve during "M" (magnetization). This curve has a high slope at first, but later, as the material gets closer to the point of magnetic saturation, the slope of the curve declines. After the material reaches saturation, even if we raise the strength of the magnetic field, the material cannot be magnetized anymore. After

this point, if the magnetic field's strength is reduced, the time curve starts to follow a different path. When the magnetic field strength is reduced to zero, magnetization is still on the material called "retentivity" (remanence). When the relation of H-M is observed on magnetic fields that act in two opposite directions, the hysteresis curve appears (Figure 2) (Graham and Chikazumi, 1997). If the hysteresis loops of ferromagnetic material are analyzed in high resolution, discontinuous magnetic flux bounces are observed (Figure 3). The reason is that the domain walls' movements are shaky and discontinuous (Paper et al., 2000).

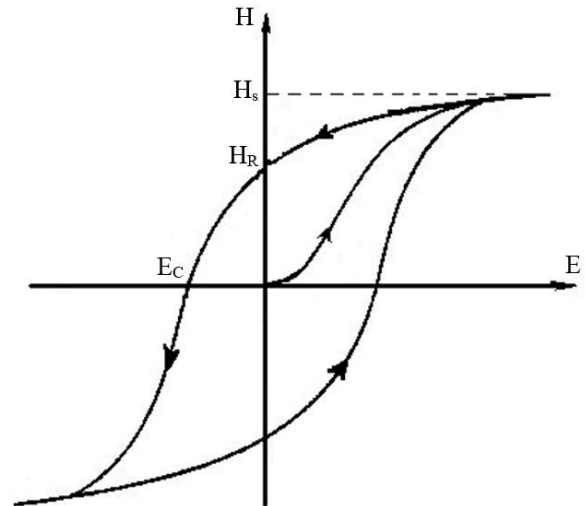


Figure 2. Hysteresis loop (Graham and Chikazumi, 1997).

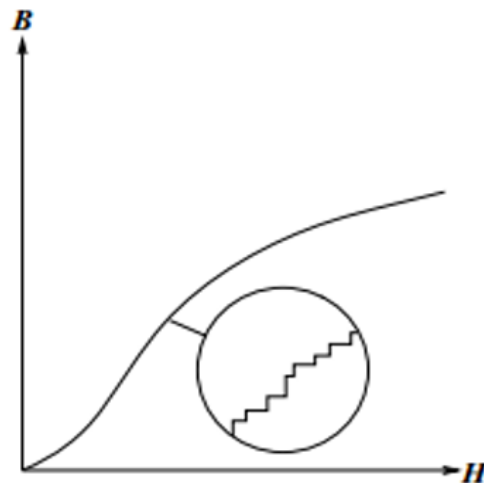


Figure 3. Magnetic flux jumps on hysteresis.

As a result of an applied magnetic field, domain walls start to move. Domain walls run through defects in the internal structure during their movements. The internal structure of the metals is not perfect and consists of defects. These defects can be dislocations, residual micro stresses, and particle boundaries (Kemal and Gür, 2008). These parts in the material's internal structure are called "pinning sites." Domain walls squeeze between these fields, and when the external magnetic field is powerful

enough, they suddenly split away from their coupling points in an irreversible way (Figure 4). Sudden bounces that occurred during the split cause abrupt changes in magnetic flux. With the determination of these changes, a signal like a noise comes out called BN noise. It is the effect of crystal structure defects just as the dislocations on magnetization (Graham and Chikazumi, 1997; Spaldin, 2010; Manh et al. 2020).

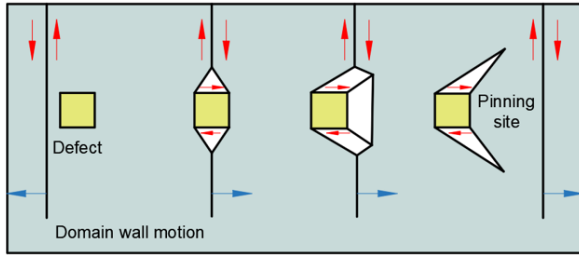


Figure 4. Movement of domain walls.

The MBN experimental setup consists of a signal generator, two amplifiers, a U-shaped core (ferrite yoke), a coil to capture the magnetic flux change (MBN sensor), and a data processing card/oscilloscope (Figure 5). The signal generator is used for getting alternating magnetic fields. Both sinusoidal (Ping et al., 2013; Ghanei et al., 2014) and triangular (Blaow et al., 2004; Hucailuk et al., 2015) waveforms have been used in research. The frequency interval applied to get the magnetic field divides into two parts high frequency (>10 Hz) and low

frequency (<1 Hz). High frequencies cause low measurement depths (Lo et al., 2000; Moorthy et al., 2005; Wilson et al., 2009). Ferrite yoke and MBN sensors are placed on the sample. Ferrite yoke is shaped U and made with Fe-Si alloy to increase the effect of the magnetic field. It can also be produced in different shapes according to the surface on which the measurement is done. The sinusoidal/ triangular wave produced by the signal generator is oriented with the yoke to create the magnetic field. The MBN sensor senses the magnetic flux changes, filtered by boosting with the amplifier. The signals are transferred to the computer using a data processing card or oscilloscope. A typical BN signal obtained by a magnetism circuit is seen in Figure 6. MBN events during the current have small amplitude. Therefore, a much smaller signal is generated on the magnetic hysteresis. This makes it necessary to filter the MBN signal. Filtering is done with a high-pass or band-pass filter in signal processing electronics (Figure 7.a). Typical band-pass filtering can be from 300 Hz to 300 kHz. Alternatively, a ferromagnetic core and a receiver coil are placed vertically on the test specimen. During magnetization, the small magnetic core will be magnetically connected to the core (Figure 7.b). Thus, the small magnetic core will not be affected by voltage induction. Magnetic core should be made of a material which has much lower MBN activity than the main sample (Zurek, 2017).

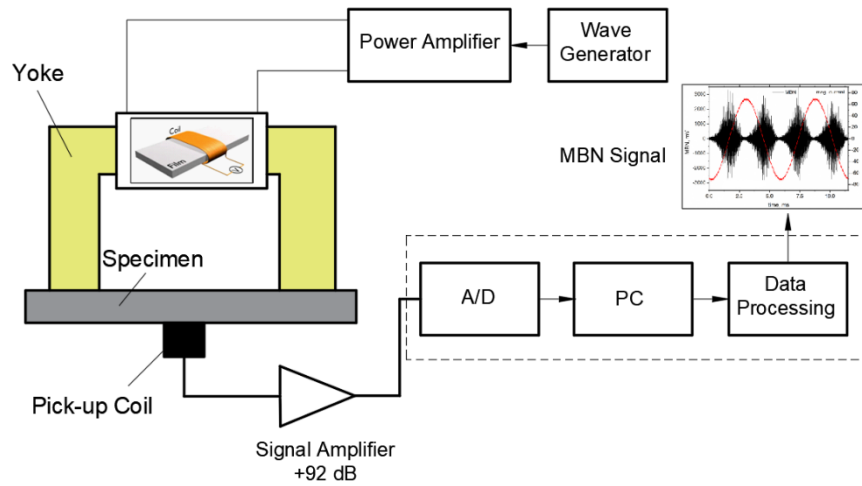


Figure 5. MBN experimental setup.

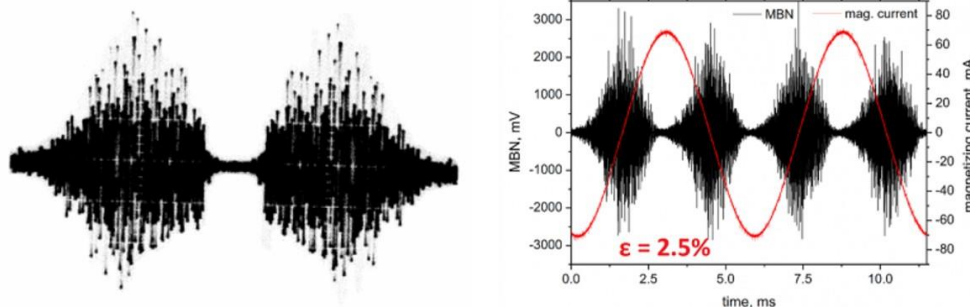


Figure 6. BN signal.

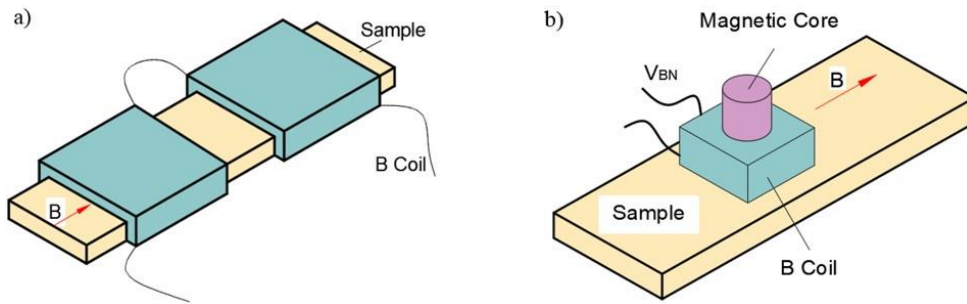


Figure 7. a) Using band-pass filter b) Using magnetic core.

2.2. MBN Signal

As obtained signals are produced as voltage impulses by MBN sensor, they require statistical analysis. A signal obtained with a magnetic circuit consists of two parts. One represents the circuit's positive side, and the other represents the negative side. The average of them is nominally zero (Blaow et al., 2006). Thus, parameters need to explain both the positive and the negative amplitudes of sudden BN incidents (Iordache et al., 2003).

To compare it with previous works, researchers generally use different methods of BN signal analysis. The most common ones of them are the number of the total peak, Total Sum of Amplitudes (TSA), and Root Mean Square (RMS) (Figure 8).

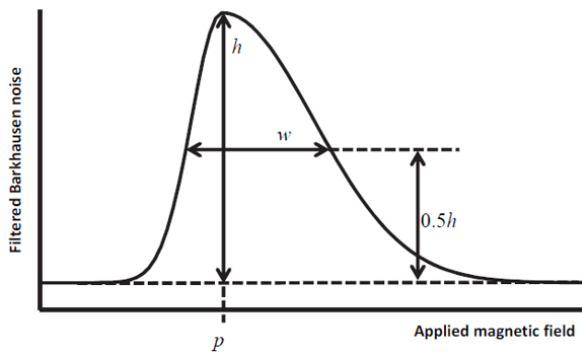


Figure 8. Calculation of peak width.

Data of BN obtained during a magnetization circuit hide in a sequence. The sequence's total amplitude of absolute values is added together in 20 consecutive cycles. To represent the BN events better (equation 1):

$$\text{Sum of Amplitudes} = \sum_{n=1}^{z=20} (\sum_{k=1}^m (|a_k|))_n \quad (1)$$

RMS (equation 2) is the most used parameter of BN and easy to calculate (Spaldin, 2010). where N = number of elements in the input sequence and Xi is the MBN amplitudes.

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_i^2} \quad (2)$$

Another essential feature of MBN energy is derived using the squared signal and one MBN envelope. The two features are integrated into each other (Kim et al. 1992). The envelope consists of measurements from half of one

magnetization loop. Then, BN energy is calculated from all measurement signals (Gauthier et al., 1998). Peak position (p) and height (h) are obtained by fitting a second-order polynomial to the profile top. Figure 8 shows peak height (h) and peak weight (w). Peak width (w) can be calculated using different peak heights (0.25, 0.5 and 0.75) (Sorsa and Leiviskä, 2009).

3. The Relationship between Material Characterization and MBN

The microstructure of the material affects magnetic characteristics of the materials. Many researchers have analyzed the relationship between the BN profile and microstructural properties of the material such as grain size, residual stress, grain segregation (Ranjan et al., 1987; Moorthy et al., 1997; Anglada-Rivera et al., 2001; Yamaura et al., 2001; Kim and Kwon, 2003), phase structure (Saquet et al., 1999; Moorthy et al., 2000; D'Amato et al., 2003; Koo et al., 2003; Kaplan et al., 2007; Kleber et al., 2008), or carbon content (Gatelier-Rothea et al., 1998; Koo et al., 2003; Capó-Sánchez et al., 2004; Pérez-Benitez et al., 2005) in the internal structure.

The number of magnetic domains and domain walls increases with the decrease of grain size in microstructure. The increase in the number of the domain walls leads to more magnetic flux bounces but smaller amplitudes (Anglada-Rivera et al., 2001; Sipahi, 1994). Furthermore, it is determined that increasing carbon content also makes the particle size smaller, so it raises the activities of MBN (Capó-Sánchez et al., 2004; D'Amato et al., 2003). It's established that there is a good correlation between the MBN profile and the ferrite amount (Moorthy et al., 2000; Kleber et al., 2008) of the material together with the contents of martensite (Saquet et al., 1999) and pearlite (Koo et al., 2003).

Because of the increase in the hardness of the material, the movements of the domain walls get complicated, and so it causes a decrease in MBN activity (Sipahi, 1994; Cullity and Graham, 2011). With the increasing hardness, the value of Magnetic Barkhausen Noise RMS and peak altitude are determined to decrease.

MBN is too sensitive for the stress situations on the material (Stefanita et al., 2000b). Truong it can use the assessments of stress situations. It has been found that BN activity increases during tensile stress, while it

decreases during compressive stress (Jagdish et al., 1990; Lindgren and Lepistö, 2002; Santa-aho et al., 2009). The changes in the stress situation can be found by using the characteristics of the BN profile like its RMS value, peak altitude, BN energy, and peak position/amplitude (Gatlier-Rothea et al., 1998; Gauthier et al., 1998; Lindgren and Lepistö, 2002; Iordache et al., 2003; Blaow et al., 2007;). The measuring device should be calibrated for each material while measuring stresses (Gauthier et al., 1998; Lindgren and Lepistö, 2002; Blaow et al., 2007). This is because many factors affect the BN in the internal structure of the material. These make the estimation of residual stress more difficult. It is also reported that measuring direction affects the measurement and should be taken into consideration with the application of MBN noise measurement (Ruikun et al., 2021).

4. Applications of MBN

4.1. Deformation state detection

Materials under stress deform and change shape or fracture/failure may occur. The amount of deformation that occurs because of stress varies according to the material. The change in the shape of material is experienced in two ways: elastic and plastic. Plastic deformation comprises four phases: perfectly elastic, micro-yielding, macro-yielding, and progressive plastic deformation (Moorthy et al., 1999). The deformation starts at stresses lower than the yield strength.

MBN is preferred for NDT determination of elastic and plastic deformation of materials because it has a high sensitivity to stress (Moorthy et al., 1999; Stefanita et al., 2000a; Dhar et al., 2001; Kleber and Vincent, 2004). MBN can be used in different deformation stages (Moorthy et al., 1999; Iordache et al., 2003). One of the advantages of MBN compared with other methods is that different stages of deformation can be determined and differentiated according to the obtained results (Moorthy et al., 1999; Iordache et al., 2003). Accordingly, BN can be used for situation assessment of parts and structures within their service lives. According to the deformation situation, the changes that took place in MBN are shown in Table 1.

Piotrowski (Piotrowski et al., 2009) examined magnetic hysteresis loops B(H), magnetic Barkhausen noise (MBN) and magnetoacoustic emission (MAE) signals in Fe-2%Si samples with up to 8% plastic deformation. They stated that the hysteresis loops properties and the MBN signal intensity changed rapidly from the first stages of plastic deformation. They showed that the MBN signal is very sensitive to the initial stage of deformation and can be used to determine the onset of deformation. In addition, there are studies examining changes in MBN signal below yield point changes in MBN signal in plastic deformation (Stefanita et al., 2000b) and changes caused by cold rolling (Stefanita et al., 2001).

Table 1. Deformation and Bn

Kind of Deformation	Feature of BN	Increase/Decrease
Tensile Elastic Strain	MBN energy and peak height	Increase (Kleber and Vincent, 2004; Ruikung et al., 2021)
Compressive stress	MBN energy and peak height	Decrease (Moorthy et al., 1999)
Initiation of micro yielding	MBN Amplitude	Decrease (Kleber and Vincent, 2004; Piotrowski et al., 2009; Hucauluk et al., 2015)
Early stage of plastic deformation	MBN activity	Increased (Moorthy et al., 1999; Stefanita et al., 2000a; Kleber and Vincent, 2004)
Final stage of plastic deformation	MBN activity	Decrease (Moorthy et al., 1999)
Rolling direction	MBN activity	Increased (Stefanita et al., 2001; Schijve, 2009)

4.2. Fatigue Monitoring

Fatigue essentially describes changes in a material which the initiation and propagation of cracks when it is under a cyclic load. The mechanism of fatigue has three steps. Once: a small amount changes leading to crack initiation, crack growth, and lastly: the fracture of the material (Sagar et al., 2005; Schijve, 2009). The BN method is an alternative method for fatigue monitoring (Vincent et al., 2005). A typical nonlinear relationship is detected between BN and the number of stress cycles (Błachnio et al., 2002) because fatigue at different stages affects BN differently (Table 2). This situation has been confirmed by the microstructure changes caused by dislocation movements (Govindaraju et al., 1993; Lindgren and Lepistö 2003; Sagar et al., 2005).

4.3. Case Depth Evaluation

BN is susceptible to alteration in the surface condition of ferromagnetic material. The frequency bandwidth of the BN signal can be used to analyze the material condition at different depths. Steel's frequency range is between 20-160 kHz. Changes in the material at different depths are evaluated according to the change in the high-frequency components of the BN signal. Jiles and Suominen (Jiles and Suominen, 1994) showed the relationship between BN and the stress on the material surface. Accordingly, the BN envelope signal gradually decreased with the compressive stress. In the study, 5 different frequency values were used to determine the depth of penetration of the BN signal to the surface. In Table 3, the frequency value and the corresponding depth of penetration are given.

Table 2. Fatigue and MBN

Kind of fatigue	Feature of MBN	Increase/ Decrease
First stage	MBN activity	Increase
Second stage	MBN activity	Decrease
Final stage	MBN activity	Further increase

Table 3. Penetration depth of MBN at different detection frequency bandwidths

Bandwidths (kHz)	Penetration Depth (mm)
120-160	95×10^{-3}
100-120	107×10^{-3}
80-100	119×10^{-3}
50-80	140×10^{-3}
20-50	190×10^{-4}

4.4. Grinding Burn Detection

The grinding process is used for the surface finishing of a component/product. But during this process, undesirable conditions may occur on the part's surface. These undesirable situations may be softening or burns, residual stress, and micro-cracking. The reason for this is the increased localized temperatures (Malkin and Guo, 2008). Some studies on BN have shown that grinding burns on the surface can be detected by using the BN method. The peak height (h) and width (w) are sensitive to grinding burns (Gupta et al., 1997; Wilson et al., 2009). Moorthy et. al detected grinding burns using low and high-frequency values (Moorthy et al., 2005). As a result, they obtained a single peak BN profile at high-frequency measurements and a two peak BN profile at low frequencies. They stated that the peak height of the high-frequency profile accorded well with the residual stress changes due to grinding damage. The second peak of the low-frequency profile was indicated to echo the changes in stresses and microstructure near the surface. It is also known to be widely used by the US air force and navy department, SAE, FAA and AST. On the other hand, it is known that this method has been used successfully in the evaluation of coating thicknesses on aircraft landing gear (Jiles et al., 1989).

4.5. Corrosion and surface treatments evaluation

In the modern world, the importance of steel, which is used in many fields from the automotive industry to many machine parts, from the ship industry to the construction industry and steel constructions, increases day by day. Steels are widely used because they are relatively inexpensive, have high strength and hardness, are suitable for manufacturing methods such as welding and casting, and are relatively easy to process. Although steels have specified properties, they have some disadvantages. The most important of these disadvantages is corrosion. The weakening of the material occurs with the narrowing of the cross-section of the steels as a result of the surface oxides formed

especially in the ship and machine parts, vehicles or steel construction structures operating in marine atmospheres (Antunes et al., 2014; Pastorek et al., 2021). Today, material losses caused by steel structures and machine parts damaged because of corrosion constitute an important part of the country's economy. In addition to the direct economic losses that occur as a result of corrosion, the cost of damage increases significantly as a result of indirect losses such as production stoppage, energy losses, accidents, environmental effects and loss of time (Secer and Uzun, 2017). On the other hand, various measures are taken to reduce corrosion damage. Despite these precautions, it is not possible to prevent corrosion damage. The most effective method to minimize the effects of corrosion is the early-stage detection of corrosion. For this reason, it is important that corrosion damage can be detected beforehand (Agarwala et al., 2000; Liu et al., 2022; Zhang and Tian, 2016).

There are various industrially used methods such as ultrasonic method (Zhang et al., 2021), ultrasonic tomography (Martin et al. 2001), gamma rays (Peng and Wang, 2015), magnetics flux leaking method (Christen et al., 2009) for the evaluation of corrosion to which a steel machine part or construction is exposed. On the other hand, another method that can be an alternative to these methods is the BN method (Neslušan et al., 2019; Pastorek et al., 2021).

As a result of corrosion, a new oxide layer is deposited on the surface of the material or material dissolutions such as microcracks may occur (Tullmin and Roberge, 1995). Corrosion causes various changes in the internal structure and surface properties of the material (Manh et al., 2020). For example, in Figure 9, a cross-sectional view of a steel piece exposed to oxidation for 24 hours at 625 °C in open atmosphere conditions and Figure 10, SEM image of the metallic layer formed/deposited on the surface of the corroded steel wire is given.

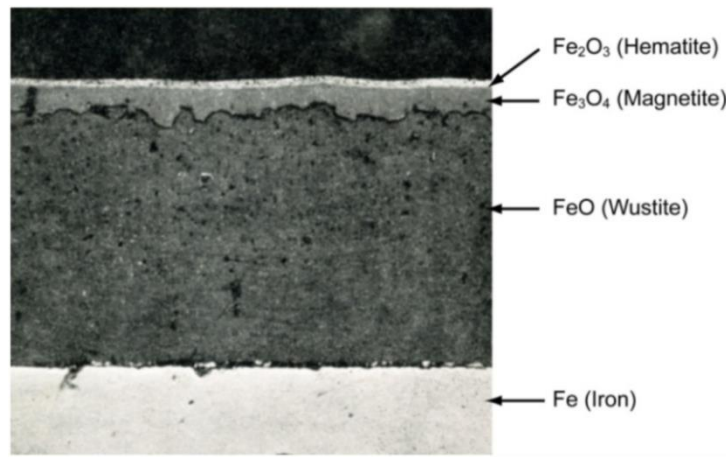


Figure 9. Cross-section of oxide layers formed on iron in air at 625 °C after 24 hours (Mrowec, 1967; Colwell and Babic, 2012).

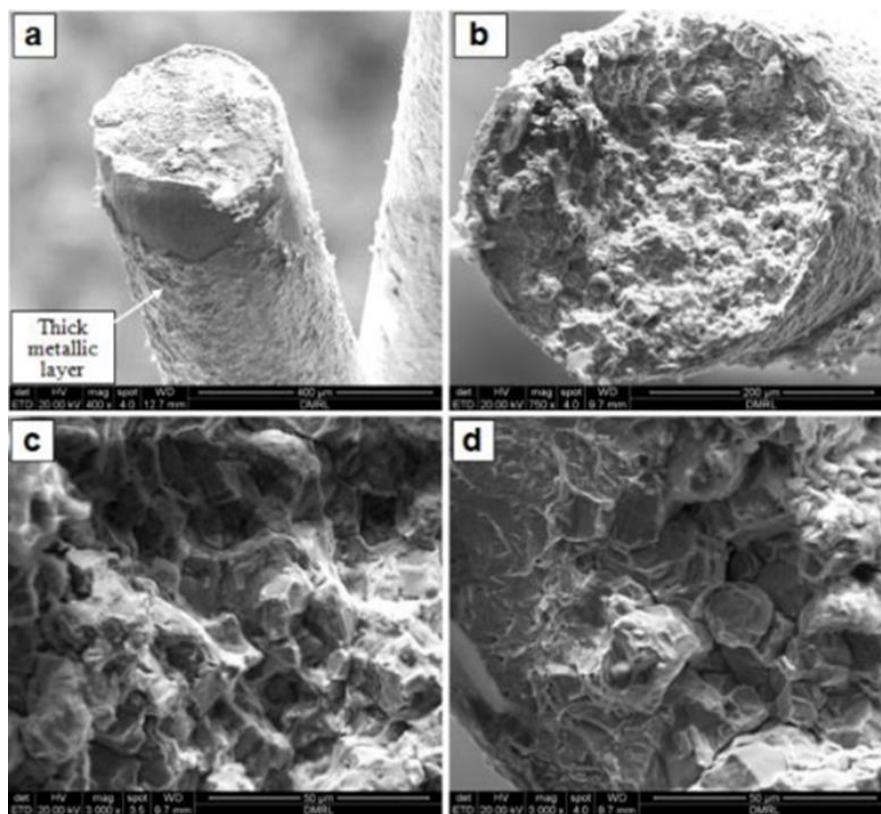


Figure 10. SEM image of steel wire (Li et al., 2017; Rao and Singh, 2019).

Steel materials are affected by acids and gases such as HCl, HCL, SO₂ SO₃, NO, NO₂, H₂SO₄ and NH₃ in their environment and suffer corrosion damage (Colwell and Babic, 2012; Leygraf et al., 2016; So et al., 2020). Such corrosive environments also change the structure of the surface and near-surface areas. As it is known, the BN technique is very sensitive to microstructural changes such as mechanical stresses, chemical composition and grain size, inclusions, precipitates, and dislocations (Tuzun et al., 2023). This situation causes changes in the BN envelope with the section exposed to corrosion. For this reason, the BN method is used as an alternative method for the detection of corrosion damage. Various studies on the MBN method have shown that corrosion

damage can be successfully evaluated. (Neslušan et al., 2019) investigated the detectability of corrosion damage in steel wire rope using the BN Method. At the end of the study, it was reported that using BN Method, corrosion can be detected, and the thickness of the steel rope wire can be determined. Pastorek et al. (2021) used different low alloy steel materials with yield strengths of 235, 700, and 1100 MPa. The prepared samples were subjected to various levels of corrosion using the STN EN ISO 9227 standard in the VSC KWT 1000 chamber. The temperature was maintained at 35°C, with a pH range of 6.5 to 7.2, and a chamber pressure of 120 kPa. It was observed that MBN activities decreased as the worn layer thickness on the sample increased (as the base metal

thickness decreased). Especially in the early stages of corrosion (low number of days in the chamber), MBN activities decrease steeply and then reach saturation. This is because it inhibits MBN activities by increasing the corroded layer thickness. (Jančula et al., 2021) have reached similar findings in their study on Steel S460MC

to examine the relationship between MBN and corrosion. Figure 11.a shows that as the corrosion time increases, the corroded layer thickness increases, and the wall thickness decreases. Figure 11.b shows the relationship between corrosion exposure time and MBN activity.

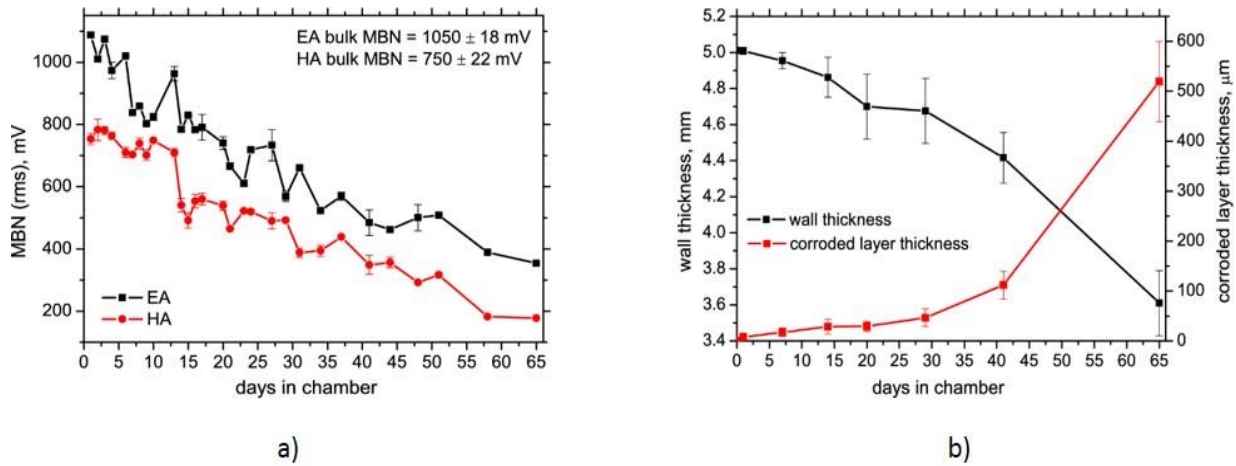


Figure 11. Relationship between MBN and corrosion (Jančula et al., 2021), a) Wall and corroded layer thickness, b) MBN and days in the chamber.

4.6. Surface treatments evaluation

All the wear, corrosion, etc. damage that the materials are exposed to depending on the environment in service conditions begin on the surfaces of the material facing the atmosphere or the service environment. For this reason, the use of a coating suitable for the surface properties of a material is effective in reducing damages such as wear and corrosion that may occur in the material (Kocaman et al., 2020). On the other hand, no coating method is sufficient to preserve a material forever. For this reason, the service life of a coated material affects the coating performance depending on many parameters such as the thickness of the coating applied to the material and the phases formed on the surface. For this reason, both determining the performance of a coated material and using the material with the highest efficiency and time in the environment to which the material is exposed under service conditions depends on the examination of the uncoated material and periodic maintenance. The use of non-destructive testing method in periodical maintenance and inspection of materials under service conditions is a fast and economical method. In the literature, non-destructive testing methods such as ultrasonic method (Honarvar and Varvani-Farahani 2020), laser ultrasonic, infrared thermography, X-ray radiography, eddy current (Alamin et al., 2012; Kittinan et al., 2019) and acoustic emission (Tian-Shun et al., 2019) can be used in the control of coated samples and examining various properties such as coating thickness. Among these methods, the relatively newly developed BN method is an alternative to other non-destructive testing methods in the evaluation of coated materials (Jayakumar et al. 2012; Rao and Jayakumar, 2012). Krkoška et al. (2020) used BN method

for the evaluation of parts exposed to different surface treatments such as galvanization, phosphorization and compaction. BN signals are associated with metallographic and SEM observations as well as microhardness measurements. Figure 12 shows the SEM image of the crack under the wire coating to which the BN signal responds. Neslušán et al. (2017) investigated the thickness of the heat-affected zone, dislocation density, microhardness profile, and carbide distribution in 18NiCrMo14-6 material. These characteristics were examined after surface hardening using the MBN method. Santa-aho et al. (2012) performed the hardening process on 34CrNiMo6 and 42CrMo4 steels. As a result, they used the BN method to evaluate the hardening depth and found that the results were consistent with the destructive testing of the cross-section of the specimen (Santa-aho et al., 2012). Stupakov et al changed the surface carbon concentration by decarburizing EN 54SiCr6 steel material in their study (Stupakov et al., 2011). As a result of the study, they determined the depth of decarburization in the material with MBN and suggested that the method can be used in practical applications with certain parameters (Figure 13 a-b). Sorsa et al. (2019) used the BN method to measure the nitriding thickness of 32CrMoV5 (GKP), BS S132 (S132), 709M40 (En19), and 722M24 (En40B) steels in which they applied nitriding process. At the end of the study, the researchers stated that the BN method could be used efficiently in the evaluation of the nitride layer. Čilliková et al., (2020) evaluated the thermal damage of the material after quenching of 100Cr6 steel using the MBN Method and its effects on the hardness of the coating process. Seemuang and Slatter (2017) coated high speed tool steel with EBPA-PVD method using two different

coating materials (TiN or CrN) and 3 different coating thicknesses (~5, 10.9 and 14.4 micron). They used the BN method to measure the coating depths on the high-speed tool steel they covered. As a result of the study, they reported that the BN method can be used

successfully in the evaluation of coating thicknesses. (Saquet et al., 1998) measured the depth of hardening after nitriding on steel using the BN Method. Successful results were obtained at the end of the study.

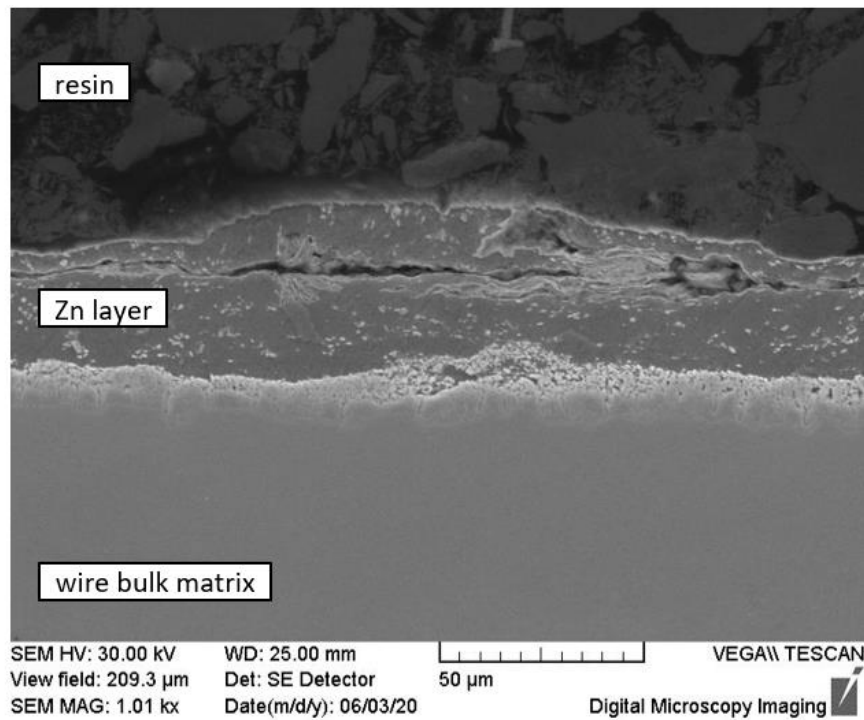


Figure 12. Galvanized steel wire section view (Krkoška et al., 2020).

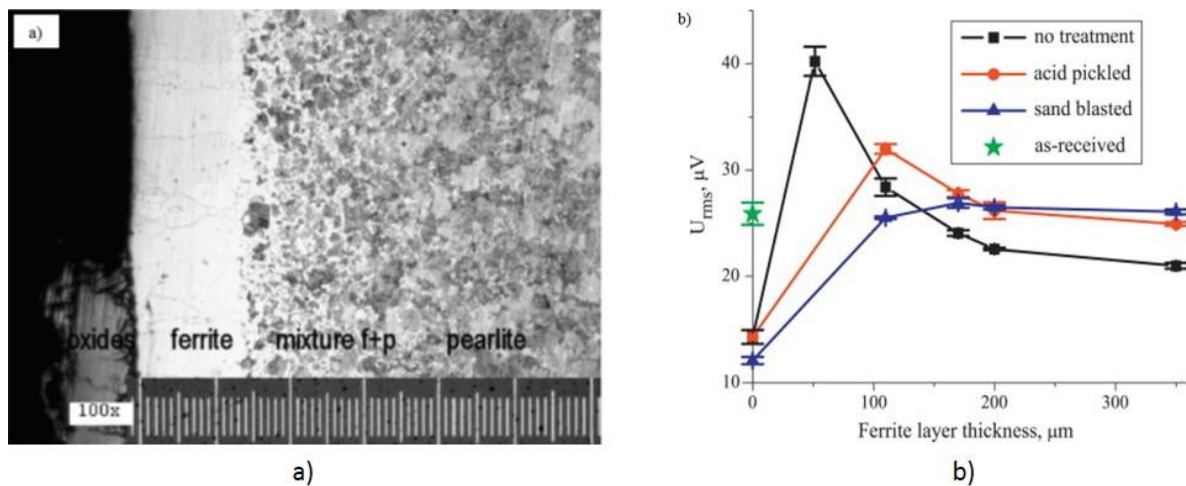


Figure 13. a) After the decarburization process, metallographic picture of cross-section of the sample (Stupakov et al., 2011) and b) Dependence of the rms value of BN voltage.

5. Results

In this paper, MBN, which is one of the non-destructive testing methods, is discussed. Basic concepts of the MBN method like domain, domain walls, dipole, and hysteresis loop have been explained. Necessary equipment for the measurements has been defined. With the literature review, it is determined that the BN profile is sensitive to the microstructure of the material, its grain size, hardness, phase structure, stress, and residual stress. It is seen that it can be used for many NDT experiments. MBN

method has a wide area of application, such as product quality control and product improvement, strength estimation, determination of deformation/fatigue situation, and examination of the surface situation. This method stands out mainly due to the affordable equipment prices, its compliance with automation, and applicability during the manufacture/service period.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is presented below. All authors reviewed and approved the final version of the manuscript.

	Ö.A.	O.K.	A.S.G.	E.K.	E.B.
C	10	40	10	20	20
D	10	10	30	25	25
S	25	25	20	20	10
DCP	25	25	10	20	20
L	20	20	20	20	20
W	20	20	20	20	20
CR	20	20	20	20	20
SR	20	20	20	20	20

C= concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

References

Agarwala VS, Reed PL, Ahmad S. 2000. Corrosion detection and monitoring - a review. *Corrosion* 2000, March26-31, Orlando, Florida, USA, pp: 272.

Alamin M, Tian GY, Andrews A, Jackson P. 2012. Principal component analysis of pulsed eddy current response from corrosion in mild steel. *IEEE Sens J*, 12(8): 2548-53.

Anglada-Rivera J, Padovese LR, Capó-Sánchez J. 2001. Magnetic barkhausen noise and hysteresis loop in commercial carbon steel: influence of applied tensile stress and grain size. *J Magn Mater*, 231(2): 299-306.

Antunes RA, Ichikawa RU, Martinez LG, Costa I. 2014. Characterization of corrosion products on carbon steel exposed to natural weathering and to accelerated corrosion tests. *J Bio Tribocorros*, 2014: e419570.

Blachnio J, Dutkiewicz J, Salamon A. 2002. The effect of cyclic deformation in a 13% cr ferritic steel on structure and barkhausen noise level. *Mater Sci Eng A Struct Mater*, 323(1): 83-90.

Blaow M, Evans JT, Shaw B. 2004. Effect of deformation in bending on magnetic barkhausen noise in low alloy steel. *Mater Sci Eng A Struct Mater*, 386(1): 74-80.

Blaow M, Evans JT, Shaw BA. 2007. The effect of microstructure and applied stress on magnetic barkhausen emission in induction hardened steel. *J Mat Sci*, 42(12): 4364-71.

Blaow, M, Evans JT, Shaw BA. 2006. Effect of hardness and composition gradients on barkhausen emission in case hardened steel. *J Magn Mater*, 303(1): 153-59.

Blitz J. 2012. *Electrical and magnetic methods of non-destructive testing*. Springer Science & Business Media, London, UK, pp: 125.

Capó-Sánchez J, Pérez-Benitez J A, Padovese L R, Serna-Giraldo C. 2004. Dependence of the magnetic barkhausen emission with carbon content in commercial steels. *J Mater Sci*, 39(4): 1367-70.

Christen R, Bergamini A, Motavalli M. 2009. Influence of steel wrapping on magneto-inductive testing of the main cables of suspension bridges. *NDT E Int*, 42(1): 22-27.

Chung T, Lee JR. 2018. Thickness reconstruction of nuclear power plant pipes with flow-accelerated corrosion damage

using laser ultrasonic wavenumber imaging. *Struct Health Monit*, 17(2): 255-65.

Čilliková M, Uriček J, Neslušan M, Ballo V, Mičietová A. 2020. Monitoring of thermal damage after deposition of coatings via barkhausen noise technique. *Acta Phys Pol A*, 137(5): 637-39.

Clapham, L, White S, Lee J, Atherton DL. 2000. Magnetic easy axis development in steel—the influence of manufacturing. *J Appl Phys*, 88(4): 2163-65.

Colwell JD, Babic D. 2012. A review of oxidation on steel surfaces in the context of fire investigations. *SAE Inter J Cars - Mechan Syst*, 5(2): 1002-15.

Cullity BD, Graham CD. 2011. *Introduction to magnetic materials*. John Wiley & Sons, London, UK, pp: 54.

D'Amato C, Verdu C, Kleber X, Regheere G, Vincent A. 2003. Characterization of austempered ductile iron through barkhausen noise measurements. *J Nondestr Eval*, 22(4): 127-39.

Dhar A, Clapham L, Atherton DL. 2001. Influence of uniaxial plastic deformation on magnetic barkhausen noise in steel. *NDT E Int*, 34(8): 507-14.

Durin G, Zapperi S. 2004. The barkhausen effect. *Sci Hyster*, 2004: 181-267.

Fischer P. 2013. Imaging magnetic structures with polarized soft x-rays. *Synchrotron Radiat News*, 26(6): 12-19.

Gatelier-Rothea C, Chicois J, Fougères R, Fleischmann P. 1998. Characterization of pure iron and (130p.p.m.) carbon-iron binary alloy by barkhausen noise measurements: study of the influence of stress and microstructure. *Acta Materialia*, 46(14): 4873-82.

Gauthier J, Krause T W, Atherton DL. 1998. Measurement of residual stress in steel using the magnetic barkhausen noise technique. *NDT E Int*, 31(1): 23-31.

Ghanei S, Alam AS, Kashefi M, Mazinani M. 2014. Nondestructive characterization of microstructure and mechanical properties of intercritically annealed dual-phase steel by magnetic barkhausen noise technique. *Mater Sci Eng A Struct Mater*, 607:253-60.

Govindaraju MR, Strom A, Jiles DC, Biner SB, Chen ZJ. 1993. Evaluation of fatigue damage in steel structural components by magnetoelastic barkhausen signal analysis. *Appl Phys Lett*, 73(10): 6165-67.

Graham DC, Chikazumi S. 1997. *Physics of ferromagnetism*. Calenderon Press, New York, USA. pp: 211-328.

Gupta H, Zhang M, Parakka AP. 1997. Barkhausen effect in ground steels. *Acta Material*, 45(5): 1917-21.

Honarvar F, Varvani-Farahani A. 2020. A review of ultrasonic testing applications in additive manufacturing: defect evaluation, material characterization, process control. *Ultrasonics*, 108: 106227.

Hucailuk C, Nuñez N, Torres D. 2015. Study by magnetic barkhausen noise of a 1020 steel and 99.9% nickel plate. *Proced Mat Sci*, 9: 313-18.

Iordache VE, Hug E, Buiron N. 2003. Magnetic behavior versus tensile deformation mechanisms in a non-oriented fe-(3 wt.%)si steel. *Mater Sci Eng A Struct Mater*, 359(1): 62-74.

Jagadish C, Clapham L, Atherton DL. 1990. Influence of uniaxial elastic stress on power spectrum and pulse height distribution of surface barkhausen noise in pipeline steel. *IEEE Trans Magn*, 26(3): 1160-63.

Jančula M, Neslušan M, Pastorek F, Pitoňák M, Pata V, Minárik P, Gocál J. 2021. Monitoring of corrosion extent in steel s460mc by the use of magnetic barkhausen noise emission. *J Nondestr Eval*, 40(3): 69.

Jayakumar T, Rao BPC, Mukhopadhyay CK, Viswanath A,

- Vaidyanathan S. 2012. Advances in electromagnetic nondestructive techniques for characterization of metallic materials. *Electromagnetic Nondestructive Evaluation*, IOS Press, India, New Delhi, 36th ed., pp: 79-86.
- Jiles D, Suominen L. 1994. Effects of surface stress on barkhausen effect emissions: model predictions and comparison with x-ray diffraction studies. *IEEE Trans Magn*, 30(6): 4924-4926.
- Jiles DC, Garikepati P, Palmer DD. 1989. Evaluation of residual stress in 300m steels using magnetization, barkhausen effect and x-ray diffraction techniques. In: Thompson DO and Chimenti DE, editors. *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*. Boston, USA, 8th ed., Part A and Part B, pp: 2081-2087.
- Kaplan M, Gür CH, Erdogan M. 2007. Characterization of dual-phase steels using magnetic barkhausen noise technique. *J Nondestr Eval*, 26(2): 79-87.
- Kemal D, Gür CH. 2008. Manyetik barkhausen gürültüsü yöntemi ile çeliklerde tahribatsız içyapı karakterizasyonu. 3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition, 17-19 April, Istanbul, Türkiye, pp: 243.
- Kim DW, Kwon D. 2003. Quantification of the barkhausen noise method for the evaluation of time-dependent degradation. *J Magn Mater*, 257(2): 175-83.
- Kim HC, Lee HK, Kim C G, Hwang DG. 1992. Barkhausen noise in ferromagnetic metallic glass Fe₄₀Ni₃₈Mo₄B₁₈. *Appl Phys Lett*, 72(8): 3626-33.
- Kittinan S, Noipitak M, Sae-Tang W. 2019. Detection of corrosion under coated surface by eddy current testing method. 7th International Electrical Engineering Congress (IEECON), Hua Hin, Thailand, pp: 1-4.
- Kleber X, Hug-Amalric A, Merlin J. 2008. Evaluation of the proportion of phases and mechanical strength of two-phase steels using barkhausen noise measurements: application to commercial dual-phase steel. *Metall Mater Trans A Phys Metall Mater Sci*, 39(6): 1308-18.
- Kleber X, Vincent A. 2004. On the role of residual internal stresses and dislocations on barkhausen noise in plastically deformed steel. *NDT E Int*, 37(6): 439-445.
- Kocaman E, Kiliç B, Şen Ş, Şen U. 2020. Krom içeriğinin Fe(18-x)Cr_xB₂ (X=3,4,5) sert dolgu elektrotunda mikroyapı, aşınma ve korozyon davranışı üzerindeki etkisi. *Gazi Üniv Müh Mimar Fak Derg*, 36(1): 177-90.
- Koo K M, Yau M Y, Dickon H L, Ng, C. C. H. Lo. 2003. Characterization of pearlite grains in plain carbon steel by barkhausen emission. *Mater Sci Eng A Struct Mater*, 351(1): 310-15.
- Krkoška L, Moravčík M, Zgútová K, Neslušán M, Uhřík M, Bahleda F, Pitoňák M. 2020. Investigation of barkhausen noise emission in steel wires subjected to different surface treatments. *Coatings*, 10(10): 912.
- Le TM, Benitez JAP, Hernandez JHE, Hallen JM. 2020. Barkhausen noise for non-destructive testing and materials characterization in low carbon steels. In: Manh TL, Benitez JAP, Hernández JHE, López JMH editors. *Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials*. Woodhead Publishing, Sawston, UK, pp: 115-146.
- Leygraf C, Graedel T, Tidblad J, Wallinder IO, Graedel T. 2016. *Atmospheric corrosion*. Wiley Interscience, New York, USA, 2nd ed., pp: 6-248.
- Li S, Hu P, Zhao X, Chen K, Li J. 2017. Atmospheric corrosion performance of wire rope sling in a sulfur dioxide-polluted environment. *Adv Mech Engin*, 9(6): 1-12.
- Lindgren M, Lepistö T. 2002. Application of barkhausen noise to biaxial residual stress measurements in welded steel tubes. *Mat Sci Technol*, 18(11): 1369-1376.
- Lindgren M, Lepistö T. 2003. Effect of cyclic deformation on barkhausen noise in a mild steel. *NDT E Int*, 36(6): 401-9.
- Liu H, Zhong J, Ding F, Meng X, Liu C, Cui J. 2022. Detection of early-stage rebar corrosion using a polarimetric ground penetrating radar system. *Constr Build Mater*, 317: 125768.
- Lo CCH, Tang F, Biner SB, Jiles DC. 2000. Effects of fatigue-induced changes in microstructure and stress on domain structure and magnetic properties of Fe-C alloys. *Appl Phys Lett*, 87(9): 6520-22.
- Malkin S, Guo C. 2008. *Grinding technology: theory and application of machining with abrasives*. Industrial Press Inc, New York, USA, pp: 231.
- Manh TL, Benitez JAP, Alberteris M. 2020. Barkhausen noise for nondestructive testing and materials characterization in low-carbon steels. In: Manh TU, Benitez JAP, Hernandez JHE, Lopez JMH, 9 - Future Trend and Applications of Barkhausen Noise, Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, Woodhead Publishing, New York, USA, pp: 239-253
- Martin J, Broughton KJ, Giannopolous A, Hardy MSA, Forde MC. 2001. Ultrasonic tomography of grouted duct post-tensioned reinforced concrete bridge beams. *NDT E Int*, 34(2): 107-13.
- McMaster RC. 1959. *Nondestructive testing handbook*. Only edition, Ronald Phillips Ltd, New York, USA, pp: 141.
- Moorthy V, Shaw BA, Mountford P, Hopkins P. 2005. Magnetic barkhausen emission technique for evaluation of residual stress alteration by grinding in case-carburised en36 steel. *Acta Mater*, 53(19): 4997-5006.
- Moorthy V, Vaidyanathan S, Baldev R, Jayakumar T, Kashyap BP. 2000. Insight into the microstructural characterization of ferritic steels using micromagnetic parameters. *Metall Mater Trans A Phys Metall Mater Sci*, 31(4): 1053-1065.
- Moorthy V, Vaidyanathan S, Jayakumar T, Baldev R, Kashyap BP. 1999. Effect of tensile deformation on micromagnetic parameters in 0.2% carbon steel and 2.25Cr-1Mo steel. *Acta Mater*, 47(6): 1869-1878.
- Moorthy V, Vaidyanathan S, Jayakumar T, Baldev R. 1997. Microstructural characterization of quenched and tempered 0.2% carbon steel using magnetic barkhausen noise analysis. *J Magn Mater*, 171(1): 179-89.
- Mrowec, S. 1967. On the mechanism of high temperature oxidation of metals and alloys. *Corros Sci*, 7(9): 563-78.
- Neslušán M, Bahleda F, Minárik P, Zgútová K, Jambor M. 2019. Non-Destructive monitoring of corrosion extent in steel rope wires via barkhausen noise emission. *J Magn Mater*, 484: 179-187.
- Neslušán M, Čížek J, Kolařík K, Minárik P, Čilliková M, Melikhova O. 2017. Monitoring of grinding burn via barkhausen noise emission in case-hardened steel in large-bearing production. *J Mater Process Technol*, 240:104-17.
- Paper A, Willcox M, Mysak T. 2000. *An introduction to barkhausen noise and its applications*. Insight NDT, New York, USA, pp: 63.
- Pastorek F, Decký M, Neslušán M, Pitoňák M. 2021. Usage of barkhausen noise for assessment of corrosion damage on different low alloyed steels. *Appl Sci*, 11(22): 10646.
- Peng-Chi P, Wang CY. 2015. Use of gamma rays in the inspection of steel wire ropes in suspension bridges. *NDT E Int*, 75: 80-86.
- Pérez-Benitez JA, Capó-Sánchez J, Anglada-Rivera J, Padovese LR. 2005. A model for the influence of microstructural defects on magnetic barkhausen noise in plain steels. *J Magn Mater*, 288: 433-42.
- Ping W, Ji X, Yan X, Zhu L, Wang H, Tian G, Yao E. 2013. Investigation of temperature effect of stress detection based

- on barkhausen noise. *Sens Actuators A Phys*, 194: 232-239.
- Ping W, Zhu S, Tian GY, Wang H, Wilson J, Wang X. 2010. Stress measurement using magnetic barkhausen noise and metal magnetic memory testing. *Meas Sci Technol*, 21(5): 055703.
- Piotrowski L, Augustyniak B, Chmielewski M, Landgraf FJG, Sablik MJ. 2009. Impact of plastic deformation on magnetoacoustic properties of fe-2%si alloy. *NDT E Int*, 42(2): 92-96.
- Ranjan R, Jiles D, Rastogi P. 1987. magnetic properties of decarburized steels: an investigation of the effects of grain size and carbon content. *IEEE Trans Magn*, 23(3): 1869-76.
- Rao A, Singh A. 2019. Failure analysis of stainless steel lanyard wire rope. *J Appl Res Technol*, 16: 35-40.
- Rao BPC, Jayakumar T. 2012. Recent trends in electromagnetic nde techniques and future directions. 18th World Conference on Nondestructive Testing, 16-20 April, Durban, South Africa, pp: 1-11.
- Ruikun W, Zhang H, Yang R, Chen W, Chen G. 2021. Nondestructive testing for corrosion evaluation of metal under coating. *J Sensors* 2021: e6640406.
- Sagar S, Palit N, Parida S, Das G, Dobmann DK. Bhattacharya. 2005. Magnetic barkhausen emission to evaluate fatigue damage in a low carbon structural steel. *Int J Fatigue*, 27(3): 317-22.
- Santa-aho S, Vippola M, Lepistö T, Lindgren M. 2009. Characterization of case-hardened gear steel by multiparameter barkhausen noise measurements. *Insight - Non-Destructive Test Condit Monit*, 51(4): 212-16.
- Santa-aho S, Vippola M, Sorsa A, Leiviskä K, Lindgren M, Lepistö T. 2012. Utilization of barkhausen noise magnetizing sweeps for case-depth detection from hardened steel. *NDT E Int*, 52: 95-102.
- Saquet O, Chicois J, Vincent A. 1999. Barkhausen noise from plain carbon steels: analysis of the influence of microstructure. *Mater Sci Eng A Struct Mater*, 269(1): 73-82.
- Saquet, O, Tapuleasa D, Chicois J. 1998. Use of barkhausen noise for determination of surface hardened depth. *Nondestruct Test Eval*, 14(5): 277-292.
- Schijve J. 2009. *Fatigue of structures and materials*. Springer, Dordrecht, Netherlands, pp:5-9.
- Secer M, Uzun ET. 2017. corrosion damage analysis of steel frames considering lateral torsional buckling. *Procedia Eng*, 171: 1234-1241.
- Seemuang N, Slatter T. 2017. Using barkhausen noise to measure coating depth of coated high-speed steel. *Int J Adv Manuf Technol*, 92(1): 247-58.
- Sipahi LB. 1994. Effects of creep damage, shot peening, case hardening on magnetic barkhausen noise analysis. *IEEE Trans Magn*, 30(6): 4830-4832.
- So O, Ek O, Ri T. 2020. Corrosion evaluation on mild steel in different selected media. *Inter J Engin Appl Sci Technol*, 5(3): 33-38.
- Sorsa A, Leiviskä K. 2009. An entropy-based approach for the analysis of the barkhausen noise signal. *Proceedings of 7th International Conference on Barkhausen Noise and Micromagnetic Testing*, July 15-16, Aachen, Germany, pp: 85-96.
- Sorsa A, Santa-Aho S, Aylott C, Shaw BA, Vippola M, Leiviskä K. 2019. Case depth prediction of nitrided samples with barkhausen noise measurement. *Metals*, 9(3): 325.
- Spaldin NA. 2010. *Magnetic materials: fundamentals and applications*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2nd ed., pp: 54.
- Stefanita CG, Atherton DL, Clapham L. 2000a. Plastic versus elastic deformation effects on magnetic barkhausen noise in steel. *Acta Mater*, 48(13): 3545-3551.
- Stefanita CG, Clapham L, Atherton DL. 2000b. Subtle changes in magnetic barkhausen noise before the macroscopic elastic limit. *J Mater Sci*, 35(11): 2675-2681.
- Stefanita CG, Clapham L, Yi JK, Atherton DL. 2001. Analysis of cold rolled steels of different reduction ratio using the magnetic barkhausen noise technique. *J Mater Sci*, 36(11): 2795-2799.
- Stupakov O, Perevertov O, Tomáš I, Skrbek B. 2011. Evaluation of surface decarburization depth by magnetic barkhausen noise technique. *J Magn Magn Mater*, 323(12): 1692-1697.
- Tian-Shun D, Ran W, Guo-Lu L, Ming L. 2019. Failure mechanism and acoustic emission signal characteristics of coatings under the condition of impact indentation. *High Temp Mat Proces*, 38(2019): 601-611.
- Tullmin M, Roberge PR. 1995. Corrosion of metallic materials. *IEEE Trans Reliab*, 44(2): 271-78.
- Tuzun, MY, Yalcin MA, Davut K, Kilicli V. 2023. Nondestructive microstructural characterization of austempered ductile iron. *Mat Test*, 65(3): 453-65.
- Vincent A, Pasco L, Morin M, Kleber X, Delnondedieu M. 2005. Magnetic barkhausen noise from strain-induced martensite during low cycle fatigue of 304l austenitic stainless steel. *Acta Mater*, 53(17): 4579-4591.
- Wilson JW, Tian GY, Moorthy V, Shaw BA. 2009. Magneto-Acoustic emission and magnetic barkhausen emission for case depth measurement in en36 gear steel. *IEEE Trans Magn*, 45(1): 177-83.
- Yamaura S, Furuya Y, Watanabe T. 2001. The effect of grain boundary microstructure on barkhausen noise in ferromagnetic. *Mater Acta Mater*, 49(15): 3019-27.
- Yasumitsu T, Hashimoto K, Osawa N. 1996. Nondestructive estimation of fatigue damage for steel by barkhausen noise analysis. *NDT E Int*, 29(5): 275-80.
- Yelbay HI. 2008. Tahribatsız yöntemlerle kalıntı gerilim ölçümündeki gelişmeler. 3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition, April 17-19, İstanbul, Türkiye, pp: 1-9.
- Zhang J, Cho Y, Kim J, Malikov AKu, Kim YH, Yi JH, Li W. 2021. Non-destructive evaluation of coating thickness using water immersion ultrasonic testing. *Coatings*, 11(11): 1421.
- Zhang J, Tian GY. 2016. UHF RFID tag antenna-based sensing for corrosion detection & characterization using principal component analysis. *IEEE Trans Antennas Propag*, 64(10): 4405-14.
- Zurek S. 2017. *Characterisation of soft magnetic materials under rotational magnetisation*. Boca Raton: CRC Press, London, UK, 1st ed., pp: 51-268.



GENERAL REVIEW OF SMARTPHONE USABILITY IN NOISE MAPPING

Faysal M. OMAR¹, Bülent BOSTANCI^{2*}

¹Erciyes University, Faculty of Engineering, 38030, Kayseri, Türkiye


²Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, 38030, Kayseri, Türkiye


Abstract: The global urban population is steadily increasing, with more than half of the world's population currently residing in cities, and this trend is expected to double by 2050. As urbanization continues, noise pollution becomes a significant concern, affecting over 60% of major city dwellers and impacting human health on both physiological and psychological levels. To address this issue, governments and organizations are striving to develop effective noise assessment, regulation, and mitigation policies. This literature review explores the role of noise mapping and the potential of smartphones in collecting noise data to inform these policies. Traditional noise mapping techniques and smartphone-based data collection methods are discussed, along with their importance in urban planning, environmental studies, and public health. Key research questions are identified, including the methodologies employed for smartphone-based noise mapping, the accuracy of smartphone-collected data compared to traditional measurements, practical applications, challenges, and emerging trends. The review reveals that smartphones offer a cost-effective and widespread means of gathering noise data, enabling real-time insights and enhancing various domains' practical applications. However, challenges such as data accuracy, privacy concerns, and device limitations must be addressed. The future of smartphone-based noise mapping looks promising, with advancements in sensor technologies, artificial intelligence, and data analysis tools empowering researchers, urban planners, and policymakers to make informed decisions about noise pollution in urban environments.

Keywords: Noise, Noise measurement, Smartphone, Noise mapping

*Corresponding author: Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, 38030, Kayseri, Türkiye

E mail: bbostanci@erciyes.edu.tr (B. BOSTANCI)

Faysal M. OMAR  <https://orcid.org/0009-0006-9509-2404>

Bülent BOSTANCI  <https://orcid.org/0000-0003-2255-2503>

Received: January 25, 2024

Accepted: May 22, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Omar FM, Bostancı B. 2024. General review of smartphone usability in noise mapping. BSJ Eng Sci, 7(4): 797-803.

1. Introduction

As stated by World Bank (2023), today, 56% of the world's population, or 4.4 billion people, live in cities, a trend that's expected to double by 2050, with nearly 7 in 10 residing in urban areas. In their report Luzzi and Vassiliev (2005) concludes that noise pollution is on the rise, affecting over 60% of major city dwellers, impacting around half of the global population. With a singular sound being the source of a noise measured with decibel (dB), it is designated as "Noise" when it reaches beyond the limits of human threshold up to a level it could identified as noise pollution or environmental problem in respect to the effect of human health both physiological and psychological aspects. Governments, national and supranational organizations who strive to reduce noise, tried to determine how noise is assessed, regulated, and mitigated as an environmental policy issue Murphy et al. (2020). Thus, Noise data collection and mapping techniques plays a major role in order to effectively draft and implement those policies.

Noise mapping using smartphones has evolved significantly over the years, initially relying on the use of normal geotagged microphones but calibrated to internationally recognized standards such as Class 2 of

IEC standards to collect noise data. Early studies, such as those by demonstrated the feasibility of utilizing smartphones equipped with microphones to gather noise data and create noise maps. And forward came the research of accuracy standardization of standard microphones for noise mapping such the study conducted by Bostanci (2018) and Celestina et al. (2018) the environmental scenarios like soundscape, and the method of collecting highly stable reliable data that could potentially affect the equipment while collecting noise data as conducted by Murphy and King (2014a). These pioneering works laid the foundation for subsequent research exploring the potential of smartphones for noise mapping purposes.

As technology advanced, so did the methodologies for noise mapping using smartphones. Researchers began integrating additional sensors and improving algorithms to enhance the accuracy and reliability of noise measurements. For instance, the study by Socoró et al. (2015) introduced a method that combined smartphone data with machine learning techniques to improve noise mapping accuracy. Similarly, advancements in signal processing algorithms, such as those described by Socoró et al. (2015), have further refined the process of extracting noise data from smartphone recordings.



Today, the trend in noise mapping using smartphones continues to evolve with the emergence of crowd-sourced data collection platforms and the integration of cutting-edge sensor technologies. Studies like the works of Picaut et al., (2019) and Lee et al. (2020) highlight the potential of leveraging crowdsourcing and participatory sensing to gather large-scale noise data sets for more comprehensive mapping efforts. Furthermore, the integration of advanced sensors such as MEMS microphones and accelerometers, as explored in the research by Zamora et al. (2017) promises to further enhance the capabilities of smartphones for noise mapping applications. Overall, the trajectory of research in this field underscores the ongoing efforts to harness the ubiquity and sensing capabilities of smartphones for effective noise mapping.

Different methodologies are used for the preparation of a noise map: Noise levels can be determined by on-site measurements at predetermined points Tsai et al. (2009) Noise maps can be generated from the results obtained with noise prediction models (Aletta and Kang, 2015; Ventura et al., 2017; Zhou et al., 2017); Hybrid models can also be used in a mixed system, i.e., to complement and validate measurements obtained mainly through prediction programs; (Cai et al., 2015; Maisonneuve et al., 2010). Recently, advances have been made in generating noise maps using sound sensors of smartphones (Dubey et al., 2020; Lee et al., 2020; Picaut et al., 2019).

While multiple recent studies have explored the potential of using smartphones for noise mapping and measurement. The NoiseSPY project, conducted by Kanjo (2010), developed a mobile phone application that could measure environmental noise levels and map noise pollution in urban areas using crowdsourced data from citizens carrying smartphones with the installed application. Over a two-week trial with eight participants in Cambridge, UK, the Noise-SPY system collected 72,626 noise data entries from approximately 50,000 different locations, demonstrating the feasibility of using crowdsourced mobile phone sensors for environmental noise monitoring and mapping in urban areas.

This literature review focuses on traditional noise mapping and smartphone-based data collection methods and probable gaps existing smartphone applications to improve further.

1.1. Literature Questions and Objectives

This literature review addresses several key research questions and objectives:

- How have smartphones been utilized in noise mapping, and what methodologies and technologies are commonly employed for this purpose?
- What is the accuracy and reliability of noise data collected through smartphones compared to traditional noise measurement equipment?
- What are the practical applications of smartphone-based noise mapping in different domains, and what case studies demonstrate their effectiveness?
- What challenges and limitations are associated with

smartphone-based noise mapping, and what are the potential solutions or areas for improvement?

- What emerging trends and technologies are shaping the future of noise mapping using smartphones?

In their study, Murphy and King (2016c) the current state of smartphone-based noise mapping, including its methodology and perspectives. They concluded that smartphone-based noise mapping is a rapidly developing field with the potential to revolutionize the way we measure and manage noise pollution. Picaut et al. (2019) investigated the use of smartphone-based participatory sensing and crowdsourcing for environmental noise monitoring. They concluded that these approaches are emerging as cost-effective methods for environmental noise supervision.

Andrachuk et al. (2019) discussed the innovation of citizen science in open science, society, and environment. They highlighted the role of smartphone technologies in community-based environmental monitoring. They also found that this approach has broadened the scope of noise mapping, making it more participatory and data rich.

Berglund et al. (2000) developed guidelines for community noise. They summarized the studies on noise mapping in countries like China, Brazil, and Ecuador, finding that traffic noise prediction models such as RLS-90 and NMPB were primarily utilized. The most common mapping programs employed was Sound PLAN and ArcGIS, with a standard grid size of 10 × 10 m.

Bocher et al. (2017) proposed collaborative noise measurement via smartphones as a more accessible and participatory way of assessing noise levels. They recognized the health impacts of noise pollution and emphasized the need for alternative methods to classical noise assessment approaches.

Brambilla and Pedrielli (2020) reviewed the use of smartphone-based noise and soundscape mapping in urban planning. They discussed the growing traction of the soundscape concept, which treats sound as a resource rather than waste.

2. Review

Geographic Information Systems (GIS) are information systems designed for collecting, storing, processing, and presenting both graphical and non-graphical information derived from location-based data, offering a comprehensive view to users Yomralıoğlu (2000).

Various analyses can be made using noise data measured by sound sensors in mobile phones and stored in GIS. Thanks to these analyses, it is possible to make location-based decisions, query noise data, and display this data on maps Uygunol (2009). Noise mapping involves determining the disturbance experienced by a population in a region due to noise and modeling the environmental noise exposure over a specific time period. Developed countries such as Germany, France, the Netherlands, the United Kingdom, and Sweden are among those where significant studies on noise mapping have been

conducted.

Aletta and Kang (2015), argued for a comprehensive approach to managing urban sound environments, as suggested by the European Environment Agency (EEA) guidelines. Noise Mapping emphasizes the integration of traditional noise mapping with soundscape methods in urban redevelopment projects. It offers insight into the spatial and temporal variations of noise in urban and suburban areas, helping policymakers, urban planners, and researchers make informed decisions. Noise maps facilitate the identification of noise hotspots, the assessment of noise exposure, de Kluijver and Stoter (2003) and the development of effective noise abatement strategies.

Noise maps are needed to investigate current noise level distributions, examine noise level regulations and identify noise sources (Tsai et al., 2009). According to de Kluijver and Stoter (2003), the following steps are followed in noise mapping:

- collecting raw data, preparing, storing and querying this data;
- calculation of noise levels in computer models;
- cumulative noise levels (when there are different sources);
- identification of noise contours;
- determination of noise impacts;
- presentation of the impact of noise.

Studies on noise maps have been carried out in European countries for many years. For example, studies on this subject have been carried out in Germany for more than 25 years. With the 2002/49/EC Declaration on Assessment and Management of Environmental Noise, the European Union made noise mapping studies mandatory for some regions in cities with a population of more than 100,000 for member states until 2008. (Tsai ve ark. 2009; Bostancı, 2018).

Noise measurement devices are used to measure with higher accuracy and precision under laboratory and field conditions. According to the standards or regulations of many countries, the instrument must meet at least Type I (Figure 1) requirements for the measurement to have official validity (Guidelines for Environmental Noise Measurement and Assessment, 2010).

In addition, noise measurements are carried out using measurement instruments of various types and sensitivities, including cell phones (Bostancı, 2018). In recent years, the proliferation of smartphones with built-in microphones, GPS, and various sensors has sparked interest in their potential as data collection devices for noise mapping. This development offers an opportunity for cost-effective, widespread noise data collection, enabling more extensive and detailed noise maps Cho et al. (2007). Smartphones, carried by individuals as they move through their daily routines, can capture data that reflects the real experiences of residents and commuters Maisonneuve et al. (2010).



Figure 1. Type 1 noise measurement device.

2.1. Noise Mapping using Smartphones.

Regarding the methodology for noise measurement and mapping with smartphone applications, the NoiseSPY project by Kanjo (2010) provides a practical example. The NoiseSPY application, developed for Nokia Symbian smartphones, used the phone's microphone as a noise sensor and the GPS for location tracking. The application measured sound levels in decibels (dB) use the phone's microphone, applying A-weighting filtering to account for human hearing perception. The sound level data was combined with GPS coordinates and uploaded to a server over GPRS/cellular network in real-time or at specified intervals. The server processed the data, combining noise measurements from multiple users, and provided visualizations through a web interface, including noise maps overlaid on geographic maps.

Kardous and Shaw (2016) conducted a study to evaluate the accuracy of selected smartphone sound measurement applications (apps) when using external calibrated microphones. They tested four iOS apps (SoundMeter, SPLnFFT, SPL Pro, and NoiSee) with two different external microphones (Dayton Audio iMM-6 and MicW i436).

Can et al. (2023) conducted a study to ascertain whether noise measurement could be an effective way to assess sound environments and encourage people's involvement in sound environment issues. The article evaluates a collaborative approach between researchers and local authorities in the city of Rezé (France) on the use of the smartphone application NoiseCapture, which enables a resident-based urban noise diagnosis and participatory measurement of sound levels. They proposed a method that could be used as an alternative to regulatory noise maps. The researchers used smartphone apps to measure sound levels. Any user could measure sound levels through their smartphone

and send the data to a server for evaluation. This approach not only allowed data to be collected from various locations but also involved residents in the data collection process. The utilization of smartphones for noise mapping has given rise to various methodologies.

2.1.1. Crowdsourced data collection

Harnessing the ubiquity of smartphones, crowdsourced data collection involves citizens contributing noise data through dedicated apps. This approach leverages large-scale, real-time data collection. For example, as per the studies of multiple researchers like Picaut et al. (2019), and Dubey et al. (2020) it is now possible to collect and map noise data using social media (Figure 2).

2.1.2. Dedicated noise mapping applications

Numerous apps specifically designed for noise mapping

enable users to record noise levels, often incorporating GPS and timestamp data. These apps streamline the data collection process.

2.1.3. Smartphone sensors

Certain research such as Zamora et al. (2017) employs smartphone sensors such as microphones, accelerometers, and GPS for noise measurement and mapping. This method provides adaptability by making the most of the device's innate features. Data collection involves complex and multifaceted legal situations between different governments or service providers. Concerns are being raised about the establishment of the legal framework governing how end users can participate in passive data collection or provide informed consent.

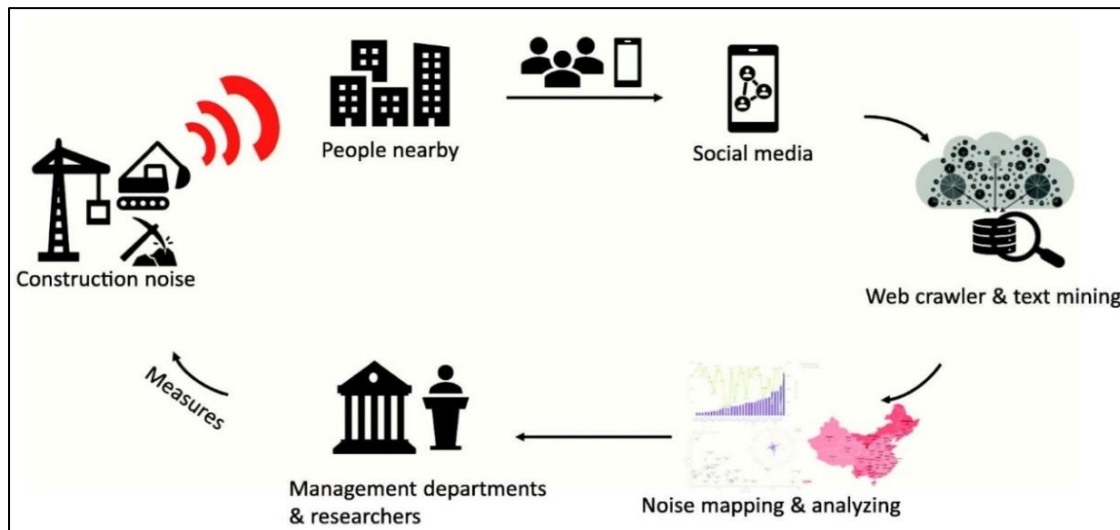


Figure 2. Noise Crowd sourcing from social media using Smart phones (Zhou et al., 2017).

2.2. Smartphones as Data Collection Devices

Smartphones, with their global presence, offer unique capabilities for data collection.

2.2.1. Built-in microphones

Smartphones are equipped with built-in microphones that can capture ambient noise levels. This feature facilitates convenient data collection without the need for additional equipment.

2.2.2. GPS and sensors

The integration of GPS and various sensors, such as accelerometers, provides valuable metadata, including geolocation and timestamp information. This contextual data enhances the precision of noise mapping.

2.2.3. Real-world data

Smartphones accompany individuals in their daily activities, making them ideal for capturing real-world noise experiences. This user-centric approach provides data that reflects actual living conditions.

2.3. Applications and Use Cases

Smartphones' potential for noise mapping is evident in various practical applications:

2.3.1. Urban planning

Noise mapping informs urban planners on land use, zoning, and transportation infrastructure, helping design

cities that prioritize residents' well-being as such study conducted by Bangtao et al. (2019); Zhao et. Al., (2019).

2.3.2. Environmental studies

Murphy et al. (2020), in noise mapping assesses noise pollution's impact on ecosystems, aiding in public health and in ecological research is made to assess available state-of-th-Art for conservation efforts and biodiversity preservation.

2.3.3. Public health

Public health experts employ noise maps to assess noise exposure and its impact on public health, helping shape interventions aimed at protecting community well-being. For instance, in 2011, noise maps created under the EU Environmental Noise Directive (END), as per a study by the World Health Organization (WHO), revealed that in Europe, one out of every three people is bothered by daytime noise, and one out of every five experiences sleep disruption solely due to traffic noise Murphy and King (2014b).

2.4. Data Accuracy and Quality

The accuracy and reliability of noise data collected through smartphones are essential considerations throughout all the literatures reviewed so far:

Quality Factors: Various factors, including smartphone

specifications, parameters and mathematical models of applications used to clean, categorize noise data, environmental conditions, and data processing techniques were the key influencers of data quality through calibration procedures. These factors must be carefully managed to ensure accurate results in mass data collection. For example, Lee et al. (2020) developed an app for both Android and iOS and ask 29 graduate students to collect noise recordings and data in the streets.

Whether measuring noise levels with smartphones is sufficient has not yet been fully demonstrated, but it is an interesting avenue that has been researched in recent years due to its potential to contribute to this field. Figure 3 shows how smartphones can contribute to urban noise monitoring and noise mapping measurement processes in article of Padilla-Ortiz et.al. (2023).

Kardous and Shaw (2016) conducted a study to evaluate the accuracy of selected smartphone sound measurement applications (apps) when using external calibrated microphones. They tested four iOS apps (SoundMeter, SPLnFFT, SPL Pro, and NoiSee) with two different external microphones (Dayton Audio iMM-6 and MicW i436). The researchers generated pink noise from 65 to 95 dB SPL in a reverberant chamber and compared the app measurements to a reference sound level measurement system. Their study found no evidence of differences between the four apps when using either external microphone, or the measurements from the apps did not differ significantly from the reference system. The researchers concluded that using external calibrated microphones significantly enhances the accuracy and precision of smartphone-based noise measurements compared to using the built-in microphones.

Ventura et al. (2017) conducted a flow up study by using the Ambiciti app to determine the quality of noise measurements obtained from various Android phones. To evaluate the accuracy of the smartphones, pink and

narrowband noises were used at levels ranging from background noise to 90 dB(A) in the laboratory. This data was used to improve the calibration model of the cell phones. As a result, the standard deviation of the noise measurements for 12 of the 15 phones calibrated in the laboratory was below 1.2 decibels over a wide range of noise levels [45 to 75 dB(A)]. This deviation is very good for noise measurements using cell phones.

Comparison to Traditional Devices: Zamora et al. (2017) assessed smartphone-derived noise data against measurements from traditional noise measurement devices as a benchmark was crucial over the literatures reviewed. Understanding the degree of accuracy and potential discrepancies is fundamental to assessing the reliability of smartphone-based data.

Alvares-Sanches et al. (2021) conducted a study aimed at developing an improved approach for mapping urban noise pollution from all sources and at fine spatial resolution across entire cities. They argue that conventional noise mapping methods based on traffic flow data and propagation algorithms may not accurately reflect true noise exposure levels because they fail to consider noise from non-traffic sources and may leave spatial gaps. Their method involved conducting mobile surveys by walking 733 km of routes throughout the city of Southampton, UK, while continuously recording audio clips. Machine learning models were then built to predict mean sound levels in 30m pixels across the city as a function of urban form characteristics and modeled traffic data. The results showed that the spatial patterns of predicted noise levels differed across frequency bands, highlighting the importance of considering the full frequency spectrum relevant for health impacts. The authors concluded that mobile surveys combined with machine learning offer an alternative way to comprehensively map noise exposure from all sources at high spatial resolution, potentially providing a more accurate representation of true exposures compared to conventional strategic noise mapping approaches.

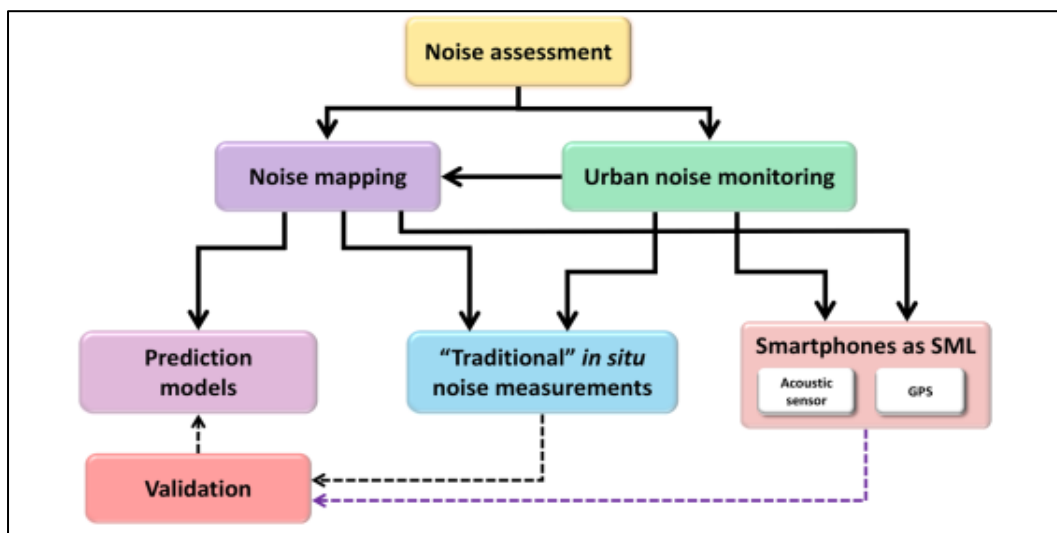


Figure 3. Schematic of smartphone use for noise assessment: Creating noise maps and monitoring urban noise (Padilla-Ortiz et al., 2023).

2.5. Challenges and Limitations

Despite the promise of smartphone-based noise mapping, several challenges and limitations must be acknowledged:

Data Privacy: Issues regarding the privacy of individuals who contribute data via smartphones need to be addressed. Safeguarding privacy while collecting valuable data is a delicate balance.

Battery Life: Continuous data collection can strain smartphone battery life. Managing power consumption is critical to ensure the feasibility of long-term noise mapping.

Crowdsourced Data Representativeness: Assessing the representativeness of crowdsourced data is vital. Variability in user behaviors and device types can impact data accuracy.

Gap of Data Processing and method of Noise Measurement procedures: Most of the literatures reviewed had focused on standardizing smartphone based noised measurement hardware and noise filtering specifications in respect with environmental conditions to be assessed.

2.6. Future Trends and Technologies

The field of smartphone-based noise mapping is poised for innovation and growth, with several emerging trends and technologies:

2.6.1. Advancements in smartphone sensors

Ongoing improvements in smartphone sensor technologies, including microphones and accelerometers, will enhance data collection accuracy and expand the scope of noise mapping applications.

2.6.2. Artificial intelligence (AI)

AI-powered algorithms can empower noise filtering before filed as formal data and can support to analyze vast datasets collected by smartphones, offering real-time insights into noise levels, trends, and potential interventions.

2.6.3. Community-sourced data collection

Smartphones make large-scale data collection possible. By utilizing people using smartphones, researchers can collect noise data from geographical locations and comprehensive noise mapping can be performed.

2.6.4. Data analysis and visualization tools

Advanced data analysis and visualization tools will make noise mapping more accessible and actionable for researchers, urban planners, and policymakers.

3. Conclusion

In this general review, we have explored the evolving landscape of noise mapping using smartphones, uncovering its potential to address the pressing challenges of noise pollution in urban environments. The utilization of smartphones as data collection devices for noise mapping offers a cost-effective and widespread means of gathering data, leading to real-time insights and enhanced practical applications in urban planning, environmental studies, and public health.

While smartphone-based noise mapping holds promise,

it is not without challenges. Data accuracy, privacy concerns, and device limitations necessitate careful consideration. Nevertheless, these limitations are increasingly being addressed through technological advancements and innovative methodologies.

Looking ahead, the future of smartphone-based noise mapping is bright. Advancements in sensor technologies, but with further need to apply artificial intelligence, and improved data analysis tools will empower researchers, urban planners, and policymakers to make more informed decisions regarding noise pollution. With ongoing developments, smartphone-based noise mapping stands as a valuable tool in the pursuit of quieter, healthier, and more sustainable urban environments.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is presented below. All authors reviewed and approved the final version of the manuscript.

	F.M.O.	B.B.
C	20	80
D	70	30
S	50	50
DCP	80	20
L	70	30
W	50	50
CR	20	20
SR	20	80

C= concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgments

The author sincerely acknowledges Prof. Sabzali JAVDOVI for his critical reading of the manuscript.

References

Aletta F, Kang J. 2015. Soundscape approach integrating noise mapping techniques: A case study in Brighton, UK. *Noise Mapp*, 2: 1–12.

Alvares-Sanches T, Osborne, P, White P. 2021. Mobile surveys and machine learning can improve urban noise mapping: Beyond A-weighted measurements of exposure. *Sci Total Environ*, 775: 1-13.

Andrachuk M, Marschke, M, Hings C, Armitage D. 2019. Smartphone technologies supporting community-based environmental monitoring and implementation: a systematic scoping review. *Biological Conservation*, 237: 430–442.

Bangtao Z, Ming C, Luman W. 2019. Urban planning area traffic noise prediction based on noise mapping. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, Jun 16-19, Madrid, Spain, pp: 2016.

Berglund B, Lindvall T, Schwela DH. 2000. *New WHO guidelines*

- for community noise. *Noise Vibrat Worldwide*, 31(4): 24–29.
- Bocher E, Petit G, Picaut J, Fortin N, Guillaume G. 2017. Collaborative noise data collected from smartphones. Data in Brief, 14: 498–503.
- Bostanci B. 2018. Accuracy assessment of noise mapping on the main street. *Arabian J Geo Sci*, 11: 1-12.
- Brambilla G, Pedrielli F. 2020. Smartphone-Based participatory soundscape mapping for a more sustainable acoustic environment. *Sustain*, 12: 1-20.
- Cai M, Zou J, Xie J, Ma X. 2015. Road traffic noise mapping in Guangzhou using GIS and GPS. *Applied Acoustics*, 87: 94–102.
- Can A, Audubert P, Aumond P, Geisler E, Guiu C, Lorino T, Rossa E. 2023. Framework for urban sound assessment at the city scale based on citizen action, with the smartphone application NoiseCapture as a lever for participation. *Noise Mapp*, 10: 1-24.
- Celestina M, Hrovat J, Kardous CA. 2018. Smartphone-based sound level measurement apps: Evaluation of compliance with international sound level meter standards. *Applied Acoustics*, 139:119–128.
- Cho DS, Kim JH, Manvell D. 2007. Noise mapping using measured noise and GPS data. *Applied Acoustics*, 68(9): 1054–1061.
- de Kluijver H, Stoter J. 2003. Noise mapping and GIS: optimising quality and efficiency of noise effect studies. *Comput Environ Urban Systems*, 27(1): 85–102.
- Dubey R., Bharadwaj S, Zafar MI, Bhushan Sharma V, Biswas S. 2020. Collaborative Noise Mapping Using Smartphone. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Scis*, XXIV ISPRS Congress, August 31 - September 02, Nice, France, pp: 253–260.
- Guideline for environmental noise measurement and assessment. 2010. URL: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/06/20100604-5.htm> (accessed date: November 21, 2023).
- Kanjo E. 2010. NoiseSPY: A Real-Time Mobile Phone Platform for Urban Noise Monitoring and Mapping. *Mobile Networks and Applications*, 15(4): 562–574.
- Kardous CA, Shaw PB. 2016. Evaluation of smartphone sound measurement applications (apps) using external microphones-A follow-up study. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 140(4): 327–333.
- Lee HP, Garg S, Lim KM. 2020. Crowdsourcing of environmental noise map using calibrated smartphones. *Applied Acoustics*, 160: 1-9.
- Luzzi S, Vassiliev AV. 2005. A comparison of noise mapping methods in Italian and Russian experiences. *Forum Acusticum*, August 29 - September 2, Budapest, Hungary, pp: 186.
- Maisonneuve N, Stevens M, Ochab B. 2010. Participatory noise pollution monitoring using mobile phones. *Information Polity*, 15: 51–71.
- Murphy E, Faulkner JP, Douglas O. 2020. Current State-of-the-Art and New Directions in Strategic Environmental Noise Mapping. *Current Pollut Reports*, 6(2): 54–64.
- Murphy E, King EA. 2014a. *Noise Mitigation Approaches. Environmental Noise Pollution*. Elsevier, San Diego, USA, 1th ed., pp: 317.
- Murphy E, King EA. 2014b. *Environmental Noise and Health. Environmental Noise Pollution*, Elsevier, San Diego, USA, 1th ed., pp: 317.
- Murphy E, King EA. 2016c. Smartphone-based noise mapping: Integrating sound level meter app data into the strategic noise mapping process. *Sci Total Environ*, 562: 852–859.
- Padilla-Ortiz AL, Machuca A, Ibarra-Zarate DI. 2023. Smartphones, a tool for noise monitoring and noise mapping: an overview. *Inter J Environ Sci Technol*, 20: 3521-3536
- Picaut J, Fortin N, Bocher E, Petit G, Aumond P, Guillaume G. 2019. An open- Sci crowdsourcing approach for producing community noise maps using smartphones. *Building Environ*, 148: 20–33.
- Socoró JC, Ribera G, Sevillano X, Alías F. 2015. Development of an Anomalous Noise Event Detection Algorithm for dynamic road traffic noise mapping. In *Proceedings of the 22nd International Congress on Sound and Vibration*, July 12-16, Florence, Italy, pp: 8091.
- Tsai KT, Lin MD, Chen YH. 2009. Noise mapping in urban environments: A Taiwan study. *Applied Acoustics*, 70(7): 964–972.
- Uygunol ODSS. 2009. Gsm baz istasyonlarında elektromanyetik kirlilik haritalarının coğrafi bilgi sistemi (cbs) yardımıyla oluşturulması Konya örneği. 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Mayıs 11-15, Ankara, Türkiye, pp: 542.
- Ventura R, Mallet V, Issarny V, Raverdy PG, Rebhi F. 2017. Evaluation and calibration of mobile phones for noise monitoring application. *J Acoustical Soc America*, 142(5): 3084–3093.
- World Bank. 2023. Urban development. global urban population trend. URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview#:~:text=Today%2C%20some%2056%25%20of%20the,people%20will%20live%20in%20cities> (accessed date: December 15, 2023).
- Yomralıoğlu T. 2000. Coğrafi bilgi sistemleri, temel kavramlar ve uygulamalar. Seçil Ofset, İstanbul, Türkiye, 1. Basım, pp: 479.
- Zamora W, Calafate C, Cano JC, Manzoni P. 2017. Accurate ambient noise assessment using smartphones. *Sensors*, 17(4): 917.
- Zhao B, Cai M, Wang L. 2019. Urban planning area traffic noise prediction based on noise mapping. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, June 16-19, Madrid, Spain, pp: 2008.
- Zhou Z, Kang J, Zou Z, Wang H. 2017. Analysis of traffic noise distribution and influence factors in Chinese urban residential blocks. *Environ Planning B: Urban Analytics City Sci*, 44(3): 570–587.



AN EVALUATION OF LONG NON-CODING RNAs IN CANCER

Ferzane VALİOĞLU^{1*}


¹Sakarya University, Technology Development Zones Management CO, 54050 Sakarya, Türkiye

Abstract: Long non-coding RNAs (lncRNAs) gradually play significant roles in many fundamental biological functions. These genetic elements are considered major components of transcripts and critical components of cancer cells. Most genetic alterations in cancer cells occur in comparatively long, non-protein-encoding areas typically translated into lncRNAs. lncRNAs have essential functions in the pathophysiology of human diseases, particularly in the genesis, advancement, and metastasis of tumors, acting as either tumor suppressor genes or oncogenes. As a correlation, understanding the function and dynamic activity of lncRNAs is thought of as *de novo* and a promising biomarker for cancer therapeutics. The existence of differentially expressed lncRNAs with functional diversity in diverse anaplastic changes makes them valid elements in monitoring cancer cells. The application of sophisticated genetic tools such as next-gene sequencing on cancer transcriptomes has discovered multiple lncRNA functions in the context of anaplastic changes. Various lncRNAs expressed in different phenotypic situations have been found using the following and third-generation sequencing methods; however, many still need to be appropriately identified. This review summarizes and discusses previous studies on the role of lncRNAs in cancer cells, and underscores the therapeutic strategies associated with cancer-related lncRNAs.

Keywords: Long non-coding RNAs, Gene expression, Prognosis, Cancer

*Corresponding author: Sakarya University, Technology Development Zones Management CO, 54050 Sakarya, Türkiye

E mail: valioglu.ferzane@gmail.com (F. VALİOĞLU)

Ferzane VALİOĞLU  <https://orcid.org/0000-0002-9388-3214>

Received: March 7, 2024

Accepted: May 31, 2024

Published: July 15, 2024

Cite as: Valioğlu F. 2024. An evaluation of long non-coding RNAs in cancer. *BSJ Eng Sci*, 7(4): 804-814.

1. Introduction

Cancer is the most life-devastating disease, with high morbidity and mortality worldwide (Qian et al., 2020). Despite crucial advances in recent years, several matters, such as deferred diagnosis and inadequate prognosis, remained unknown (Bartonicsek et al., 2016; Patra et al., 2021). In clinical settings, proteins comprise most cancer-related indicators and treatments, although only 2% of the human genome's overall content gets translated into proteins. Due to the higher mutation rates compared to coding areas, scientists and researchers must concentrate more on non-coding regions (Cuykendall et al., 2017). During the last decade, RNA-based modalities against cancers have gradually been modified from concept to reality (Zhao et al., 2016). Among these treatments, non-coding ribonucleotide sequences (ncRNAs) without translation, with the suppression of mRNA transcription and direct physical inhibition of proteins, exert their treatment effects on tumors (Wang and Chang, 2011). Long ncRNAs (lncRNAs) lack the functionality of open reading frames (ORFs) and the ability to code for proteins (Bartonicsek et al., 2016). The presence of >100,000 lncRNAs in the human genome was evaluated with the sequencing data ordinarily scattered in both the cytosol and nucleus (Ponting et al., 2009). The dynamic role of lncRNAs in cellular processes is complex and depends on the interaction with biological molecules such as DNA, RNAs, proteins, and other molecules. Even though lncRNAs are not subjected to the translation process, they interface

with RNA-binding proteins, and can concurrently activate transcription factors or suppress target genes' post-transcriptional or post-translational level promoters (Khalil et al., 2009; Ulitsky and Bartel, 2013). Also, lncRNAs can regulate target genes both during transcription and translation, and the majority of them continue to exist in the nucleus even after transcription. lncRNAs participate in the control expression of genes, coding and non-coding RNAs' transcription and post-transcriptional processes, histone modification and epigenetics, and chromatin rearrangement. lncRNAs, like protein-coding genes, are ordinarily polyadenylated transcribed using the activity spliced and produced by RNA polymerase II (Pol II). Furthermore, lncRNAs can promote or curb the constitution of transcription loops, resulting in the enlistment and/or inhibition of regulators controlling gene transcription (Huarte, 2015; Jarroux et al., 2017).

Additionally, lncRNAs have been shown to act as tumor suppressors or oncogenes in human cancers, similar to protein-encoding genes through various signaling pathways and molecular machinery (Smolle et al., 2017). A growing body of studies advocates the role of lncRNA in many aspects of biology, including the differentiation of cells, organ development, genome-wide imprinting, development, tumorigenesis, and quantitative compensation. Additionally, lncRNAs control the splicing of mRNA and function as the beginnings of other lncRNAs, like microRNAs (Jarroux et al., 2017). The occurrence of mutations, amplifications, and deletions in



diverse cancer types can modify the expression of mature and precursor lncRNAs (Jiang et al., 2019). The various expressions or malfunctions of lncRNAs are closely related to cancer development, several pathologies, and expansion. Prior information has indicated that lncRNA profiling can allow us to distinguish certain genetic signatures regarding diagnostics and therapeutic outcomes in cancer patients. Upon finding the close relationship between lncRNAs and anaplastic conditions, certain lncRNA types can be introduced as putative biomarkers or therapeutic targets with acceptable accuracy for cancer detection and diagnosis (Jendrzewski et al., 2012).

Several abnormalities can affect lncRNA expression profiles in different tumor types and tissues. A significant genomic fragment of ultra-conserved regions (UCRs) encodes a particular group of lncRNAs whose expression is changed with high probability in cancers. UCRs are in fragile or cancer-susceptible sites and/or genomic regions related to various anaplastic changes, also known as cancer-associated genomic regions (CAGRs). Different genomic profiling research has demonstrated the particularity of UCRs in leukemias and other cancers (Ponting et al., 2009).

Recent studies showed that many lncRNAs are present hotspots in various tumor conditions; it is estimated that nearly 102,000 lncRNAs can affect the dynamic growth of several cancer cells, holding promise for cancer treatment (Qian et al., 2020). Specifically, the role of lncRNAs in normal conditions and various pathologies emphasizes their critical role in cell bioactivity (Ghosal et al., 2013). For instance, BC-819 plasmid, including diphtheria toxin sequence and H19 promoter, has been utilized in clinical trials to treat ovarian, bladder, and pancreatic cancers (Smaldone and Davies, 2010). The transcription of the toxin from diphtheria with the activation of the H19 promoter occurs in the tumor sites. Therefore, BC-819 can effectively destroy tumor cells, diminish tumor expansion, and prolong the time to recurrence with local toxicity (Gofrit et al., 2014). The inhibition of lncRNA, namely LINC01212, as an effective anti-melanoma therapeutic strategy, increased the

apoptotic changes of melanoma cells. Furthermore, although lncRNAs participate in cell proliferation/growth, several aspects of lncRNAs in the cancer niche are still unknown and require further investigation. Perception of the molecular mechanisms that patronage the pattern of lncRNAs in cancer advancement or their potential applications in cancer treatment seems critical.

2. Association between lncRNAs and Cancers

Cancers are multifaceted and complex conditions with several predisposing factors. In most types of malignancies, it is mandatory to enhance management tools and the number of available appraisements for better regenerative outcomes (Bartoniczek et al., 2016). Irrespective of tumor niche, the function of lncRNAs is exceptionally complex and unpredictable. It has been shown that the bioactivity of lncRNAs is different inside cells under physiological conditions. For instance, the inhibition of gene expression, encoding polypeptides involved in the adjustment of the transcriptional process, and playing a role as suppressors of transcription factors in the nucleus (Schmitz et al., 2016). lncRNAs can regulate equilibrium, mRNA splicing, permanence of protein, and translation of protein to control cell bioactivities in the post-transcriptional step. Interestingly, the involvement of lncRNAs in DNA methylation, epigenetic changes, and adjustment of particular genes can make lncRNAs powerful genetic elements in tumorigenesis (Manolio et al., 2009). Numerous single-nucleotide polymorphisms (SNPs) with the potential to cause cancer hazards have been confirmed in non-coding portions of the human genome, according to genome-wide association studies (GWAS) (Figure 1) (Hindorff et al., 2009). Many SNPs in cancer cells were in proximity to the regions that encode lncRNAs and affect the expression of lncRNAs. More than 90% of SNPs are situated upstream in the exon of coding genes for protein (Pearson and Manolio, 2008).

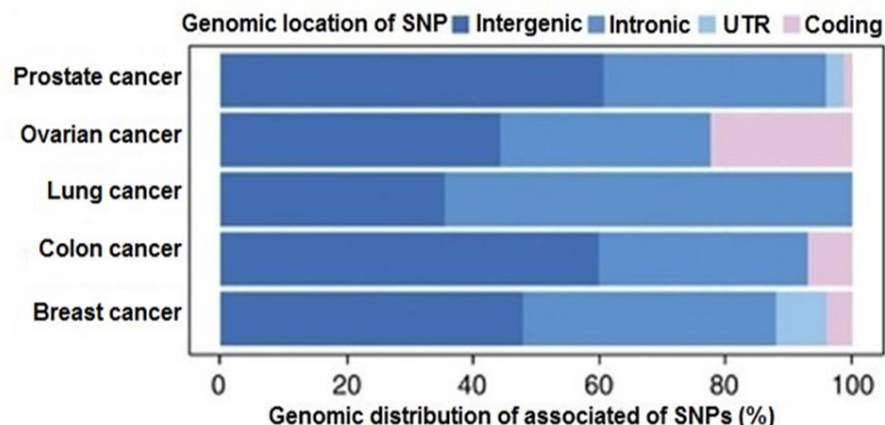


Figure 1. Genomics distributed single-nucleotide polymorphisms (SNPs) (%) in certain cancer types. Only few percentages of SNPs are discovered in coding parts of the genome; the majority of cancer-associated SNPs are intergenic or intronic non-coding areas (Cheetham et al., 2013).

The possible role of SNPs (rs7463708 into 8q24.21 gene) has been shown in the prostate cancer-sensitive lncRNA, PCAT-1 (ENSG00000253438). Therefore, it is imperative to investigate and register SNPs and introduce them as potential candidates for pathological conditions (Jendrzewski et al., 2012). Additionally, the role of lncRNAs in particular tumors can be traced by employing GWAS and concentrating on the potential overlap of cancer risk regions (Pearson and Manolio, 2008). SNPs may be situated in a non-coding RNA sequence and, thus, participate in several different mechanisms. Presently, it is presumed that illness-related SNPs can occur in long non-coding RNAs. Also, functional SNPs can potentially be situated in open chromatin regions adjacent to lncRNAs and protein-coding genes. Since numerous lncRNAs are adjacent to non-coding SNPs, it provides a strong rationale for investigating the functional association between non-coding SNPs and lncRNAs (Cheetham et al., 2013). Notably, approximately 80% of SNPs linked to traits exist in non-coding introns or intergenic regions. Therefore, the development of more specific techniques for the exposure of RNA is fundamental. For instance, a preceding GWAS analysis identified an SNP (rs9442890) related to thyroid cancer sensibility. The suppression of the thyroid-specific lincRNA gene (PTCSC3) that indicates differentiated thyroid cancer prompted the appearance of decreased PTCSC3 in PTC cell lines and reduced tumor cell growth. As a result, compared to healthy thyroid tissue, PTCSC3 expression in tumors was considerably reduced, and the danger allele was associated with noticeably higher PTCSC325 suppression (Pasmant et al., 2011). This study indicates that many non-coding cancer-related danger regions identified by GWAS are translated into lncRNAs with critical control roles in cancer biology. lncRNAs are related with enhanced sensitivity to cancer and are engaged in tumor development and cell-cycle regulation. Thus, the concentrated rescreening of cancer-related areas for new, unique, and distinctive non-coding transcripts that might be essential regulators of carcinogenesis is therefore made possible by this method (Jendrzewski et al., 2012).

3. lncRNAs in Cancer Diagnosis and Prognosis

lncRNAs play essential roles in cancer pathogenesis, and their dysfunction is closely related to progression and cancer development (Schmitz et al., 2016). The advancing of cancer coincides with the accumulation of epigenetic and genetic changes in the host cells. Many possible mechanisms whereby lncRNAs can impact chromatin structure, modifications, transcription, or other chromatin-associated functions orchestrated by epigenetic mechanisms have been evaluated. So, the capability to function in recruiting protein factors to regulate methylation and chromatin states the stability of proteins and complexes is vital in lncRNA biology

(Campos and Reinberg, 2009). Regarding prognosis, lncRNAs are associated with tumor cell invasion, proliferation, metastasis, and patient survival. Although lncRNAs cannot code for proteins, several lncRNAs can be translated into neuropeptides. Indeed, several studies have utilized these polypeptides to create antibodies for detecting and treating cancer, for instance lncRNA-6585 and the antibodies in treating cervix cancer (CN109337903A). Lately, clinical trial complexes have advocated for the unique abilities of several lncRNAs. Expression of lncRNAs has been linked to tumor rate, metastases, stage, and overall survival (OS) in cancer, suggesting that they may be used as a prognostic indicator (Bartoniczek et al., 2016).

Besides, some lncRNAs overlap with different cancers, and approximately 60% of improperly expressed lncRNAs are specific to cancer and may be isolated from the blood without interfering with normal functions. These characteristics make lncRNAs potential candidates for cancer identification. For example, one report has demonstrated that lncRNA UCA1 is sensitive to bladder cancer. UCA1 has been identified as a biomarker for bladder cancer, particularly in individuals with cursory G2-G3 (Campos and Reinberg, 2009). Also, lncRNAs cannot be only utilized as an autonomous biomarker but can also be composite with other lncRNAs or proteins to enhance the accuracy and sensitivity of detection. By assessing the expression of different lncRNAs in peripheral blood, tissue samples, or urine precipitates, many pertinent lncRNAs have been classified as ancillary or identified biomarkers in cancer detection and prediction (Liu et al., 2019). As well, some studies have reported that changes in circulating lncRNA levels correlate with cancer development. For instance, Weber et al., in their research with peripheral blood cells as a lncRNA source, demonstrated that MALAT-1 levels could reflect the presence of nonsmall cell lung cancer with a specificity of 96%²⁵. Additionally, lncRNA MALAT-1 was also identified at considerably higher levels in the plasma of patients with prostate cancer as compared to healthy people, and these changes in circulating MALAT-1 levels were connected with prostate cancer with rather high specificity (84.8%) (Ren et al., 2012). Also, lncRNAs enhance distinctive or prognostic precision for independent or auxiliary biomarkers non-invasively extracted from tissues, biofluids, and tumor cells. Moreover, the fundamental mechanisms of lncRNAs as therapeutic targets were considered in various cancers. Because of the crucial functions of lncRNAs in cancer biology, lncRNA-based therapies could be promising for cancer patients (Mercer et al., 2009). Despite the potential of lncRNAs as diagnostic and treatment targets, there are several challenges to lncRNAs in the context of cancer. One of the challenges associated with lncRNA in cancer therapy is the lack of specificity in function and the lack of understanding of the mechanisms underlying lncRNA. Despite, many lncRNAs have been implicated in cancer development and progression, the precise

molecular mechanisms through which they exert their effects are often not well understood. Another challenge, due to the instability and susceptibility of lncRNA to degradation by nucleases in the bloodstream, is the delivery of lncRNAs to target tissues or cells. So, to address the challenges, there is a need for further research to better understand molecular mechanisms and the functions of lncRNAs in cancer.

4. Chromatin State and Methylation

A significant number of lncRNAs can interact with chromatin-remodeling complexes, driving them to certain genomic loci, while others have been implicated in the architectural conformation and activity of transcriptional enhancers (Mattick, 2001). Abnormal expression of genes drives modifications in chromatin architecture that cause instability in genomics. lncRNAs can arbitrate the chromatin-modifying apparatus to cooperate with chromatin and mediate the transcriptional silencing of numerous genes. These lncRNAs are situated in the nucleus and interact with CRCs to control the expression of genes located on a similar chromosome in *cis* or another chromosome in *trans* by fine-tuning chromatin architecture (Liu et al., 2019). So, epigenetic remodeling is attained with the interplay of a lncRNA through the polycomb repressive complex (PRC1 and PRC2), which is essential for histone methylation (Mattick, 2001; Mercer et al., 2008a). Extensive GWAS of RNA-protein linkages demonstrated

that chromatin-modifying assemblies, such as PRC2, connect via many lncRNAs (Khalil et al., 2009). Additionally, proteins, including PRC1, PRC2, poly combinator complexes, and components of the Trithorax family members a significant function in the molecular pathogenesis of cancer types that regulate chromatin architecture (Kanhere et al., 2010). PRC2 offers a potential explanation that many lncRNAs could influence CRCs (Mercer et al., 2008b). A few lncRNAs identified in several human tissues can bind to Trithorax CRCs and/or activated chromatin, and at least 38% can integrate into PRC2 (Dinger et al., 2008). Thus, it is assumed that several lncRNAs (ANRIL, HOTAIR, XIST, and KCNQ10T1) are engaged in the control of chromatin structure, and the method for operation of lncRNAs via interaction with CRCs may be more widespread (Kim and Sharpless, 2006). Antisense non-coding RNA in the INK4 locus (ANRIL) is one of the oncogenic long non-coding RNAs, that is needed to enlist the PRC1 and PRC2 polycomb complexes to the INK4B loci and mute the tumor suppressor gene p15INK4B, which is important for senescence, cell-cycle suppression, and stress-related apoptosis (Figure 2) (Kotake et al., 2011).

HOTAIR (HOX transcript antisense RNA) is a metastasis-related gene situated in the mammals HOXC locus that is a poor prognostic biomarker of many cancer types, transcribed through the HOXC loci at 12q13.13 (Gupta et al., 2010).

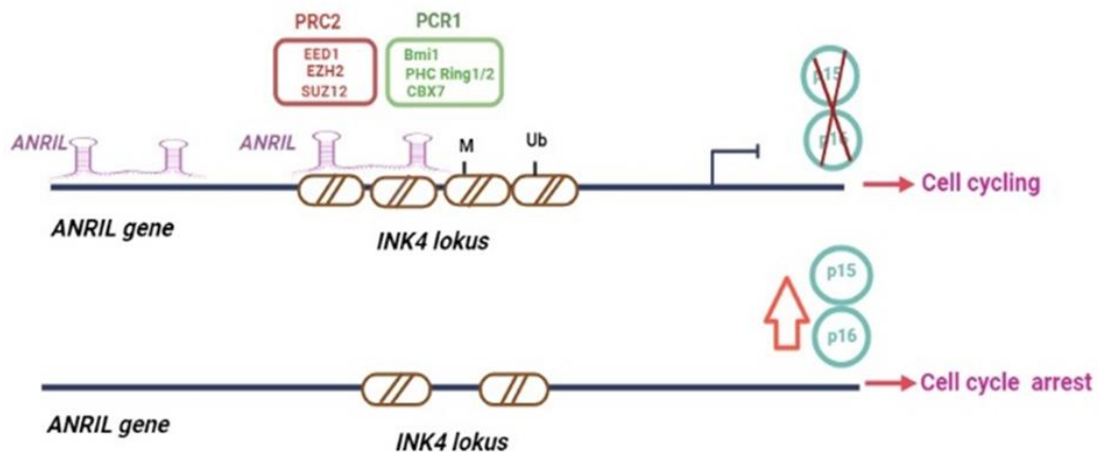


Figure 2. Schematic of antisense non-coding RNA in the INK4 locus's (ANRIL's) position and role in controlling the cell cycle.

HOTAIR lncRNA suppresses gene expression at the HoxD locus by interacting with PRC2 and deciding the location of PRC2 (Rinn et al., 2007). The interaction of HOTAIR with PRC1 and PRC2 promotes histone alterations at specific sites and may be potential regulators of epigenetic transcriptional suppression (Gupta et al., 2010). It was recently discovered that HOTAIR is a scaffold component for at least two different histone-distinct alteration assemblies. Thus, HOTAIR has been associated with the inactivation of metastasis repressor genes, reschedules the chromatin to encourage cancer

metastasis, and enhances CRC proliferation and metastasis through the PRC2 combine. Also, HOTAIR lncRNAs with direct transcription factors to specific sites can direct MEG3 (maternally expressed gene 3) to interact with PRC2 and make a complex with DNA (Kotake et al., 2011). Currently, the relationship between HOTAIR overexpression in breast cancer tissues and patients' lower survival times has been established. Hence, HOTAIR can be utilized as a biological agent for the early identification of breast cancer and is nearly connected with the metastasis of breast cancer. Besides,

HOTAIR has been entangled in tumorigenesis in pancreatic cancer. Also, HOTAIR has demonstrated high efficacy in recognizing specimens from colorectal cancer patients with a specificity of 92.5%. (Figure 3) (Gupta et al., 2010).

Distinguished instances of histone-modifying complexes communicating with lncRNAs are interactions of a non-coding RNA with PRC2 derivation from X-chromosome inactivation studies in mammals. This mechanism epigenetically silences one of two X chromosomes in female embryos of mammals to ensure that females have the same number of genes linked to X as male embryos (Hung et al., 2011). The X-inactivating-specific transcript (Xist) is a lncRNA that is known to play a crucial role in the deactivation of X during female development and is a regulator of repressive complexes on the X chromosome inactivation (XCI) (Pontier and Gribnau, 2011). As for its structure, its function depends on six conserved Repeat regions (Rep A to F). Xist only is transcribed from the X chromosome's future inactive isoform (Xi) and is accountable for PRC1/2 binding.

PRC1 has been reported to interact with Xist B-repeats and PRC2 with Xist A-repeats. For example, a section encompassing the Xist B/C-repeat is required for PRC1

recruitment in the case of PRC1-Xist B repetitions (Da Rocha et al., 2014). Also, HNRNPK, which interacts physically with PRC1, was shown to play a role in RNA binding by mapping this relationship to the B repeat primarily (Pintacuda et al., 2017). For the PRC2 interaction with the RepA, Xi can institute the PRC2 binding and release to induce histone trimethylation and its across-Xi H3K27 trimethylase activity. Xist A-repeats have been demonstrated to engage EZH2 directly by interacting with its stem and loops (Zhao et al., 2008). Eventually, a natural heterochromatin arrangement and hushing of one of the two X chromosomes can result from transcriptional silencing of the whole Xi (Au et al., 2011). For example, studies with the X chromosome in mammalian species indicate that lncRNAs are expressed at various amounts in various cellular stages and may be essential for organizing chromatin structure, creating and preserving epigenetics throughout various biological processes, which can be transformed into signals that serve as markers to represent the status of development or sickness (Pontier and Gribnau, 2011). For instance, the inactivation of the X chromosome can be detected by Xist gene expression, that is normally transcribed by the passive X chromosome (Au et al., 2011).

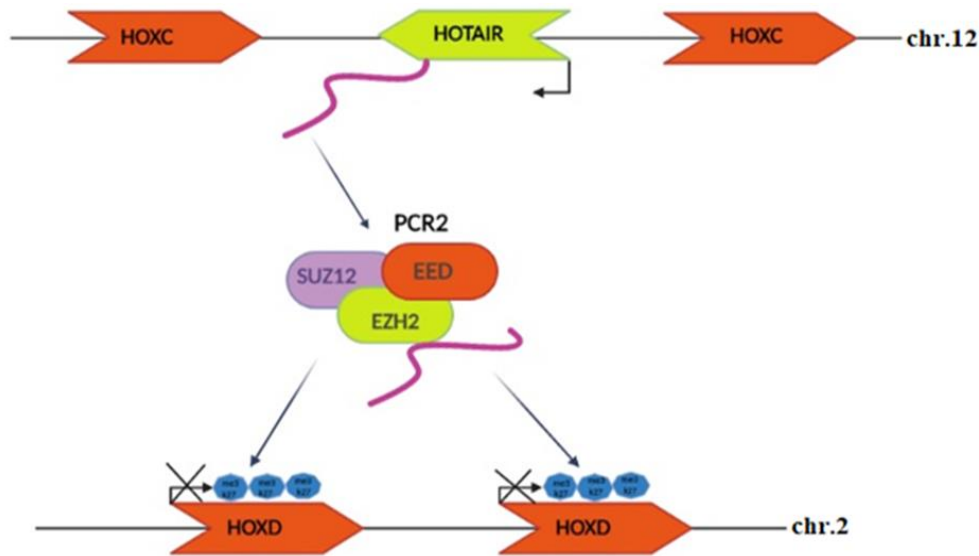


Figure 3. Illustration of the HOX transcript antisense RNA (HOTAIR), a long noncoding RNA that controls the expression of HOX genes in trans. LncRNA HOTAIR, which is translated from the HOXC group of genes (chr. 2) attaches polycomb repressive complex (PRC2) combination of the polycomb-group of proteins and directs it to the HOXD group (chr.257 12) cause to methylation of H3K27 and silence nearby HOXD genes.

5. LncRNAs in the Stability of Protein Complexes

Elucidating the expression patterns of lncRNAs is essential for a comprehensive understanding of their roles in many model systems (Bartonicek et al., 2016). Many lncRNAs apply their oncogenic roles by interacting directly with proteins or protein complexes. As a scaffold, they can collect whole protein complexes and affect the epigenetic programs of the transcriptome. Dyscontrol of lncRNA expression is related to various developmental

flaws and diseases. In this manner, HOTAIR interfaces with PRC2 to bring in EZH2 to increase H3K27 trimethylation or LSD1 to demethylate H3K4me2 (Gupta et al., 2010). Other lncRNAs function as essential controllers of protein signaling networks, which contribute to carcinogenesis. The promoter region of lincRNA-p21 has binding locations for the tumor inhibitor p53, which is triggered by p53 in reactions to harm to DNA. Thus, lincRNA-p21 acting as a transcriptional repressor, like the p53 activator, could have a significant function in tumor suppression (Fatima

et al., 2015). So, research has revealed that lncRNAs can affect cancer mechanisms via various statuses because large parts of the human genome are transcribed into lncRNAs. For example, lncRNAs disrupt transcriptional mechanisms or possibly maintain the shape of nuclear speckles (Liz et al., 2014). LncRNAs influence mRNA stability and miRNA-mediated gene regulation by assisting as natural sponges for miRNA or competitive endogenous RNA (Hanahan and Weinberg, 2000). In other cases, lncRNAs function post-transcriptionally as splicing, mRNA decay, protein translation, protein stability regulators, or as molecular tools for microRNAs (Hanahan and Weinberg, 2011).

6. Regulatory Roles of LncRNAs in Cancers

6.1. Identification of LncRNAs in Tumor Pathogenesis Oncogenes or Suppressors

Finding the regulatory role of lncRNAs has led to exciting applications in diagnosis and treatment. It is crucial to postulate that lincRNAs could have essential functions in multiple oncogenic pathways and tumor suppressors. LincRNAs may impede cell cycle progression because of damage to DNA caused by stress and the environment (Huarte et al., 2010). Future studies are critical in determining whether LincRNAs can act as a tumor suppressor or oncogenic factor.

For the evaluation of lncRNAs, many molecular approaches like expression with microarrays, tiling arrays, next-generation sequencing, and methylation analysis have been described. LncRNAs were initially

recognized in phenomena associated with carcinogenesis owing to their varied expression compared to normal tissues. Other research has argued the implications of multiple lncRNAs in carcinogenesis or cancer development or involved in p53 regulation. The promoters of the p53-induced lincRNAs had dramatically increased levels of retained p53 domains contrasted with the promoters of all lincRNAs (Khalil et al., 2009; Papait et al., 2013). These lncRNAs appear as vital controllers of gene expression via synergistically interacting with other fundamental mechanisms. The role of lincRNAs in various biological processes, as well as the expression patterns of specific lincRNAs (lncRNA-p21, PANDA, H19, MEG3 lncRNA, and lincRNA-EPS) and genes in the p53-dependent transcriptional pathway are summarized in Figure 4. Several lncRNAs are implicated in oncogenic and tumor suppressor functions (Huarte et al., 2010).

Similarly, A-p21 (named for its locality to the CDKN1A/p21 locus) in its promoter includes binding regions for the tumor suppressor p53, which is straight upregulated by p53 upon DNA damage in the classical p53 pathway, lncRNA-p21 is localized in the promoters of genes and is downregulated, especially in maintaining gene repression and genes regulating apoptosis (Baldassarre and Masotti, 2012). LincRNA-p21, a downstream repressor in the p53 transcriptional response and transcriptional repressor, may be crucial in tumor suppression by working similarly to the p53 activator (Figure 5).

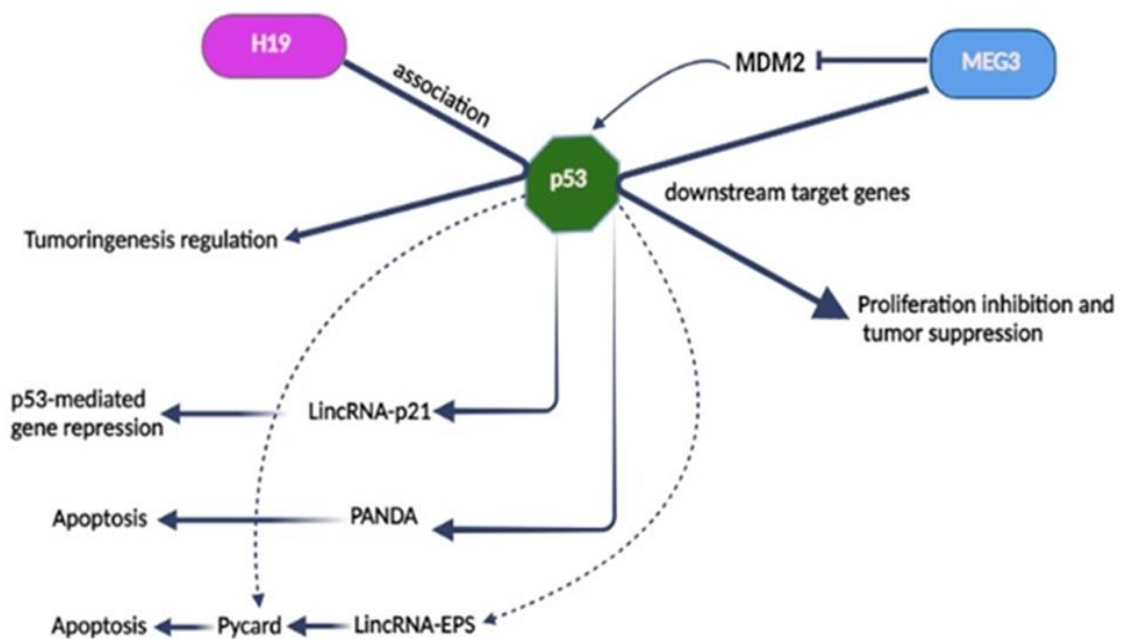


Figure 4. In the p53 path, maternally expressed 3 (MEG3) can either straight activate p53 through RNA-protein association or indirectly by inhibiting MDM2, the control of tumorigenesis is determined by the interaction of H19 with p53. The text has explored the functions of the long intergenic noncoding RNAs (lncRNAs); Long intergenic noncoding RNA p21 (LincRNA-p21), P21-associated ncRNA DNA damage -activated (PANDA), and LincRNA-EPS.

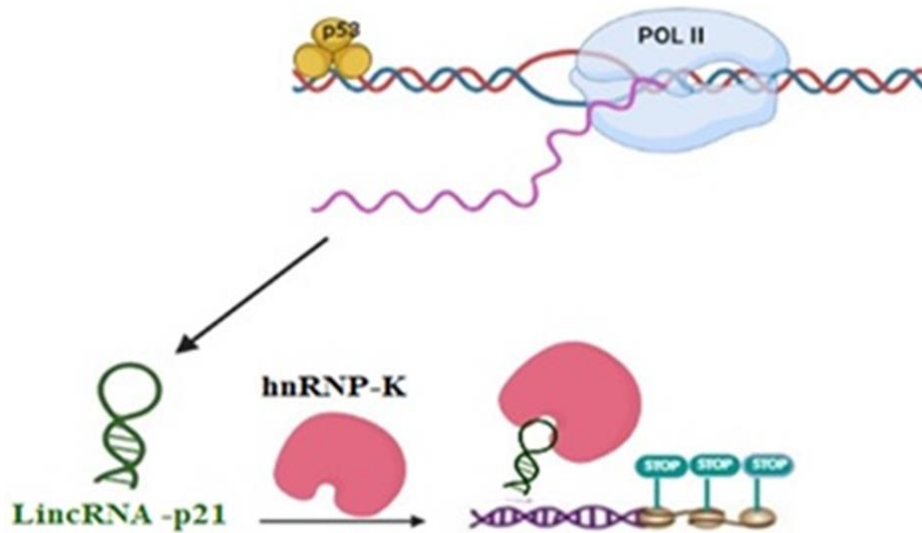


Figure 5. Mechanism of the roles of LincRNA-p21 in the transcriptional response to p53. LincRNA-p21 is triggered by the stimulation of p53 by attaching to its promoter (top left). LincRNA-p21 interacts with heterogeneous nuclear ribonucleoprotein K (hnRNP-K) to suppress genes which are downregulated as a result of the standard p53 transcriptional response.

Curiously, LincRNAs act as a suppressor in transcriptional reactions dependent on p53, and LincRNA-p21-determined transcriptional suppression is accomplished through the interaction of its genomic targets via hnRNP-K (heterogeneous nuclear ribonucleoprotein K). LincRNA-p21 is required for the induction of apoptosis and hnRNP-K binding. LincRNA-p21 has been shown to inhibit a vast range of genes associated with the p53 transcriptional response. Because hnRNP-K deficiency induces repression of similar genes that p53 and lincRNA-p21 suppress, lincRNA-p21-mediated gene suppression requires a physical link among LincRNA-p21 and hnRNP-K (Mitra et al., 2012). Indeed, two main phenotypic implications of p53 pathway activation are induction of apoptosis and growth stop which demonstrate the dysregulation of numerous genes controlling cell cycle and apoptosis by LincRNA-p21 and p53. Nevertheless, the accurate techniques in that LincRNA-p21 induced oppression at certain locations is just unknown (Baldassarre and Masotti, 2012).

6.2. LincRNA-Panda (P21 Associated ncRNA DNA Damage Activated)

The Long Non-coding RNA-PANDA is another DNA hurt respondent that is located upstream and is caused by p53 of p21. PANDA is a 1.5 kb transcript that intercede anti-apoptotic effects and is created by damaged DNA in a p53-dependent mode. It is positioned 5 kb upstream of the CDKN1A (p21) transcription begin spot (Hung et al., 2011). PANDA regulates gene expression by precluding the binding of transcriptional regulators.

PANDA is involved in the regulation of pro-apoptotic genes like BIK and FAS by functioning for the transcription element nuclear transcription factor Y subunit alpha (NF-YA). For instance, p53-reliant PANDA by directly sequestering NF-YA restrains apoptosis

(Krappinger et al., 2021). PANDA decrease increases the levels of NF-YA at pro-apoptotic target genes such as CCNB1, FAS, BBC3 (PUMA), and PMAIP1 (NOXA). PANDA increases the survival of cells by interacting through the apoptotic gene expression pathway, whilst CDKN1A (p21) induces cell cycle arrest (Barsyte-Lovejoy et al., 2006).

P53 mutations have been determined in an array of cancers, retaining the gene's capacity to activate the Panda cascade and exert anti-apoptotic effects, whilst enhanced survival of tumor cells results from the removal of its capacity to induce p21 and cause an arrest in the cell cycle. The attendance of a binding location for the transcription factor NF-YA, which engages via PANDA in a very unique way, differentiates the promoter zones of p53-dependent death of cell genes (Figure 6) (Krappinger et al., 2021).

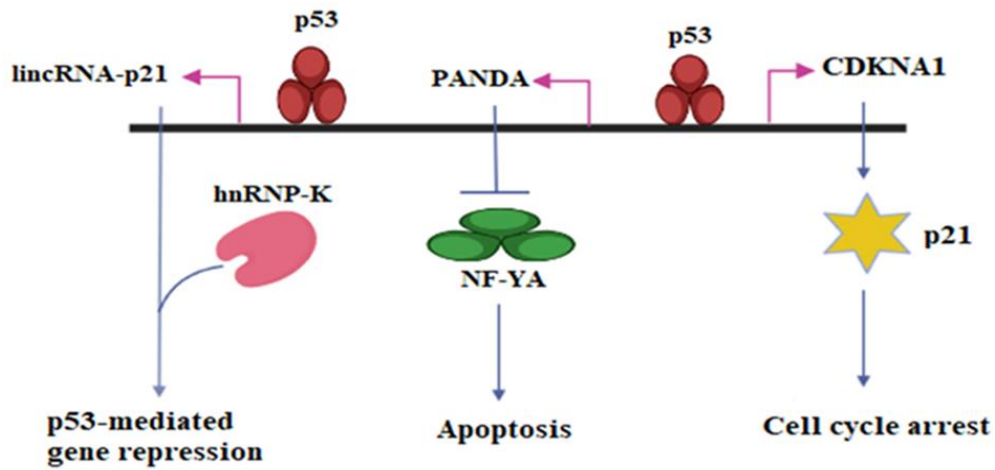


Figure 6. Schematic of orchestrating of the DNA harm response by coding and non-coding transcripts at the CDKN1A loci. Upon DNA harm, CDKN1A, non-coding transcripts PANDA, and LincRNA-p21 coordinately be activated by p53 binding at the CDKN1A loci. Cell cycle arrest is caused by CDKN1A, apoptosis is prevented by PANDA through NF-YA, and gene silencing is caused by LincRNA-p21 by recruiting hnRNP-K

6.3. LncRNA H19

Another lncRNA with extreme specificity and sensitivity for identification is H19. H19 is a paternally imprinted gene that is situated upon chromosome 11p15.5. LncRNA H19 is expressed throughout vertebrate embryogenesis but excludes bones and skeletal muscle and declines in post-natal development in the majority of tissues. Recently, LncRNA H19 was found upregulated in various tumors. The demise of overexpression and imprinting of H19 in various cancers causes H19 to act as an oncogene in the development and progression of tumors (Matouk et al., 2007). Genetic silencing of H19 promotes apoptosis in cancer cells of the stomach while abnormal expression of H19 has been found to increase cell proliferation. A recent study demonstrated that the overregulation of lncRNA H19 causes tumor development with the regulation of p53 function in stomach cancers. P53 efficiently inhibits the H19 promoter, and the connection of H19 with p53 identifies tumor development regulation (Hibi et al., 1996). In recent years, reported that lncRNA H19 has been significantly related to and upregulated in severe cancers, such as non-small cell lung, bladder, breast, thyroid, and liver carcinoma and gastric cancers (Barsyte-Lovejoy et al., 2006). Thus, several studies were conducted to scrutinize the indicative significance of lncRNA H19 in diagnosing cancer. However, there are still conflicting findings in terms of the identification reliability and accuracy of the diagnostic marker (Zhang et al., 2003).

6.4. LncRNA MEG3

Another lncRNA, the MEG3 (maternally expressed gene 3) is expressed in numerous natural tissues but lacking from a list of basic human tumors and tumor cell lines (although not from human cancer cells). It has been announced that various isoforms originate which contain 10 exons from the human MEG3 gene. The most likely reason for lncRNA MEG3 includes gene deletion, hypermethylation in various intergenic areas, and

promoter hypermethylation. MEG3 is expressed in the growing nervous system, the paraxial mesoderm, and the epithelium of the kidney, pancreas, and salivary glands during higher levels of development (Kalyana-Sundaram et al., 2012).

MEG3 may directly activate p53 through RNA-protein interaction or indirectly by suppressing MDM2, both of which result in the choosy activation of p53 downstream targets including GDF-15 with tumor suppressor and anti-proliferative properties. Also, lncRNA MEG3 induces p53 protein accumulation and activates transcription through a promoter that is reliant on p53, selectively regulating the expression of p53 target genes (Ohtsuka et al., 2008). LncRNA MEG3 is related to increased susceptibility to cancer and is concerned with cell cycle regulation and tumor development. Finally, lncRNA MEG3 might be investigated as a new tumor suppressor lncRNA.

6.5. LincRNA-EP3

LincRNA-EP3 (long intergenic ncRNA-erythroid pro-survival) is a 2531 nt transcript with three introns and four exons that has a 3' poly [A] tail and a 5' end cap structure that is activated during mice erythroid cell terminal differentiation (Atianand et al., 2016). LincRNA-EP3 modulates erythroid cell proliferation. In comparison with the control cells, LincRNA-EP3 knockdown cells in the G1 phase are enhanced and, significantly, a major fragment of these cells are in the sub-G1 population, demonstrating that they are undergoing apoptosis and/or necrosis. Thus, the cell cycle analysis demonstrates that LincRNA-EP3 is directly regulated by p53 and can suppress the expression of many apoptotic genes and PYCARD, a pro-apoptotic gene, and inhibit programmed cell death. In addition, overexpression of the PYCARD gene can prevent erythroid cells from proliferating to promote apoptosis and interfere with their ability to differentiate and enucleate. There are different binding sites of regulatory

transcription factor p53 in the promoter of the PYCARD gene (Liu et al., 2016). Collectively, these results partially demonstrated the inhibition of programmed cell death (apoptosis) and regulation of erythroid differentiation of cells by lincRNA-EPS (Hu et al., 2011).

7. Pseudogene and lncRNA

Pseudogenes are roughly defined at the transcriptional or post-transcriptional stage as ancestral replicas of protein-coding genes. Pseudogenes can control original genes by changing the continuity of ancestral mRNA or generating endogenous siRNAs and they can additionally influence the expression of ancestral protein-coding genes through bimolecular processes that use RNA sequence homology (Tay et al., 2011). According to recent research, Pseudogenes are essential suppressors and promoters of human cancer, and a few of them are expressed as lncRNAs and play a role in gene silence. The finest example of a pseudogene acting as a lncRNA is found in Xist. Xist evolved from the protein-coding genes of pseudo-degeneration, in the placental mammal's descent (Poliseno et al., 2010). Other lncRNAs can perform as sequester biomolecules, a decoy, and restrict them from essential cellular processes. The instance of this approach is demonstrated with the tumor suppressor gene PTEN (phosphatase tumor suppressor gene and tensin homolog) and its pseudogene PTENP1. PTEN is a tumor suppressor gene that is post-transcriptionally regulated non-coding RNA expressed by PTEN, PTENpg1. PTENP1 performs a crucial function in cancer biology and as a microRNA sham for the PTEN tumor suppressor, limiting cell proliferation (Tay et al., 2011). PTENpg1 is a lncRNA that acts as a miRNA sponge to sequester many PTEN target miRNAs (Poliseno et al., 2010). Besides, PTEN is a negative control of the PI3K-Akt pathway and is epigenetically muted in several different cancers. The dose of PTEN expression is related to the intensity of epithelial cancers. It demonstrated that the exact regulation of the PTEN gene is vital to preserving cellular homeostasis (Tay et al., 2011).

8. Conclusions

lncRNAs are actively expressed in normal tissues and have been linked to several intracellular molecular cooperation systems as the activity of pathways or a part in cellular signaling through development and differentiation in response to various stimuli. lncRNAs play important roles in gene regulation and, more specifically, operate as scaffolds by recruiting proteins to control gene expression. This has an impact on a few cellular homeostasis factors, such as the proliferation of cells, their existence, migration, or stability of the genome. Besides, lncRNAs could form higher-ordered biologically appropriate functioning structures through RNA: RNA as well as RNA: protein interactions. Also, lncRNAs act as guides to attract transcription controllers to certain places by binding to microRNA to prevent destruction caused by miRNA. Owing to their diverse functions and highly specific expression lncRNAs,

lncRNAs could serve to hold strong promise for cancer detection, predictive biomarkers, and treatments. Since lncRNAs may easily be extracted from bodily fluids like urine and plasma. So, having a thorough understanding of the expression, structures, and processes of lncRNAs can assist in detecting new, responsive biomarkers and treatment targets, opening new avenues for therapy. Additionally, lncRNAs are less toxic than protein-based anti-tumor medications, and because lncRNAs are seldom expressed, only a very low concentration of inhibitors is required to have an impact. Furthermore, bioinformatics and technology offer novel prospects for the discovery of lncRNA biomarkers. However, there are several obstacles to overcome, significant challenges remain in the advancement of efficacious lncRNA-based diagnostics and treatments, such as the deficit in specificity, limited understanding of mechanisms, and delivery challenges. yet in the long run, it is impossible to dismiss lncRNAs' potential and therapeutic importance. In conclusion, the extensive research of lncRNAs has given rise to a new desire for the identification and therapy of cancer. lncRNA investigation in cancer is expected to progress quickly in the upcoming years, with an emphasis on developing targeted therapies, investigating liquid biopsy diagnostics, and using bioinformatic tools for analysis.

Author Contributions

The percentage of the author(s) contributions is presented below. The author reviewed and approved the final version of the manuscript.

	F.V.
C	100
D	100
S	100
DCP	100
L	100
W	100
CR	100
SR	100

C= concept, D= design, S= supervision, DCP= data collection and/or processing, L= literature search, W= writing, CR= critical review, SR= submission and revision.

Conflict of Interest

The author declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgments

The author sincerely acknowledges Prof. Sabzali JAVDOVI for his critical reading of the manuscript.

References

Atianand MK, Hu W, Satpathy AT, Shen Y, Ricci EP, Alvarez-Dominguez JR, Bhatta A, Schattgen SA, Mcgowan JD, Blin J. 2016. A long noncoding RNA lincRNA-EPS acts as a transcriptional brake to restrain inflammation. Cell, 165: 1672-1685.

- Au PCK, Zhu Q-H, Dennis ES, Wang M-B. 2011. Long non-coding RNA-mediated mechanisms independent of the RNAi pathway in animals and plants. *RNA Biol*, 8: 404-414.
- Baldassarre A, Masotti A. 2012. Long non-coding RNAs and p53 regulation. *Int J Mol Sci*, 13: 16708-16717.
- Barsyte-Lovejoy D, Lau SK, Boutros PC, Khosravi F, Jurisica I, Andrulis IL, Tsao MS, Penn LZ. 2006. The c-Myc oncogene directly induces the H19 noncoding RNA by allele-specific binding to potentiate tumorigenesis. *Cancer Res*, 66: 5330-5337.
- Bartonecek N, Maag JLV, Dinger ME. 2016. Long noncoding RNAs in cancer: mechanisms of action and technological advancements. *Molec Cancer*, 15: 1-10.
- Campos EI, Reinberg D. 2009. Histones: annotating chromatin. *Annu Rev Genet*, 43: 559-599.
- Cheetham S, Gruhl F, Mattick J, Dinger M. 2013. Long noncoding RNAs and the genetics of cancer. *Br J Cancer*, 108: 2419-2425.
- Cuykendall TN, Rubin MA, Khurana E. 2017. Non-coding genetic variation in cancer. *Curr Opin Syst Biol*, 1: 9-15.
- Da Rocha ST, Boeva V, Escamilla-Del-Arenal M, Ancelin K, Granier C, Matias NR, Sanulli S, Chow J, Schulz E, Picard C. 2014. Jarid2 is implicated in the initial Xist-induced targeting of PRC2 to the inactive X chromosome. *Mol Cell*, 53: 301-316.
- Dinger ME, Pang KC, Mercer TR, Mattick JS. 2008. Differentiating protein-coding and noncoding RNA: challenges and ambiguities. *PLoS Comput Biol*, 4: e1000176.
- Fatima R, Akhade VS, Pal D, Rao SM. 2015. Long noncoding RNAs in development and cancer: potential biomarkers and therapeutic targets. *Mol Cell Biol*, 3: 1-19.
- Ghosal S, Das S, Chakrabarti J. 2013. Long noncoding RNAs: new players in the molecular mechanism for maintenance and differentiation of pluripotent stem cells. *Stem Cells Dev*, 22: 2240-2253.
- Gofrit ON, Benjamin S, Halachmi S, Leibovitch I, Dotan Z, Lamm DL, Ehrlich N, Yutkin V, Ben-Am M, Hochberg A. 2014. DNA based therapy with diphtheria toxin-A BC-819: a phase 2b marker lesion trial in patients with intermediate risk nonmuscle invasive bladder cancer. *J Urol*, 191: 1697-1702.
- Gupta RA, Shah N, Wang KC, Kim J, Horlings HM, Wong DJ, Tsai M-C, Hung T, Argani P, Rinn JL. 2010. Long non-coding RNA HOTAIR reprograms chromatin state to promote cancer metastasis. *Nature*, 464: 1071-1076.
- Hanahan D, Weinberg RA. 2000. The hallmarks of cancer. *Cell*, 100: 57-70.
- Hanahan D, Weinberg RA. 2011. Hallmarks of cancer: the next generation. *Cell*, 144: 646-674.
- Hibi K, Nakamura H, Hirai A, Fujikake Y, Kasai Y, Akiyama S, Ito K, Takagi H. 1996. Loss of H19 imprinting in esophageal cancer. *Cancer Res*, 56: 480-482.
- Hindorf LA, Sethupathy P, Junkins HA, Ramos EM, Mehta JP, Collins FS, Manolio TA. 2009. Potential etiologic and functional implications of genome-wide association loci for human diseases and traits. *Proc Natl Acad Sci*, 106: 9362-9367.
- Hu W, Yuan B, Flygare J, Lodish HF. 2011. Long noncoding RNA-mediated anti-apoptotic activity in murine erythroid terminal differentiation. *Genes Dev*, 25: 2573-2578.
- Huarte M. 2015. The emerging role of lncRNAs in cancer. *Nature Med*, 21: 1253-1261.
- Huarte M, Guttman M, Feldser D, Garber M, Koziol MJ, Kenzelmann-Broz D, Khalil AM, Zuk O, Amit I, Rabani M. 2010. A large intergenic noncoding RNA induced by p53 mediates global gene repression in the p53 response. *Cell*, 142: 409-419.
- Hung T, Wang Y, Lin MF, Koegel AK, Kotake Y, Grant GD, Horlings HM, Shah N, Umbricht C, Wang P. 2011. Extensive and coordinated transcription of noncoding RNAs within cell-cycle promoters. *Nat Genet*, 43: 621-629.
- Jarroux J, Morillon A, Pinskaya M. 2017. History, discovery, and classification of lncRNAs. *Long non coding RNA biology, Adv Exp Med Biol*, 1008: 1-46.
- Jendrzewski J, He H, Radoska HS, Li W, Tomsic J, Liyanarachchi S, Davuluri RV, Nagy R, De La Chapelle A. 2012. The polymorphism rs944289 predisposes to papillary thyroid carcinoma through a large intergenic noncoding RNA gene of tumor suppressor type. *Proc Natl Acad Sci*, 109: 8646-8651.
- Jiang MC, Ni JJ, Cui WY, Wang BY, Zhuo W. 2019. Emerging roles of lncRNA in cancer and therapeutic opportunities. *Am J Cancer Res*, 9: 1354-1366.
- Kalyana-Sundaram S, Kumar-Sinha C, Shankar S, Robinson DR, Wu Y-M, Cao X, Asangani IA, Kothari V, Prensner JR, Lonigro RJ. 2012. Expressed pseudogenes in the transcriptional landscape of human cancers. *Cell*, 149: 1622-1634.
- Kanhere A, Viiri K, Araújo CC, Rasaiyaah J, Bouwman RD, Whyte WA, Pereira CF, Brookes E, Walker K, Bell GW. 2010. Short RNAs are transcribed from repressed polycomb target genes and interact with polycomb repressive complex-2. *Mol Cell*, 38: 675-688.
- Khalil AM, Guttman M, Huarte M, Garber M, Raj A, Rivea Morales D, Thomas K, Presser A, Bernstein BE, Van Oudenaarden A. 2009. Many human large intergenic noncoding RNAs associate with chromatin-modifying complexes and affect gene expression. *Proc Natl Acad Sci*, 106: 11667-11672.
- Kim WY, Sharpless NE. 2006. The regulation of INK4/ARF in cancer and aging. *Cell*, 127: 265-275.
- Kotake Y, Nakagawa T, Kitagawa K, Suzuki S, Liu N, Kitagawa M, Xiong Y. 2011. Long non-coding RNA ANRIL is required for the PRC2 recruitment to and silencing of p15INK4B tumor suppressor gene. *Oncogene*, 30: 1956-1962.
- Krappinger JC, Bonstingl L, Pansy K, Sallinger K, Wreglesworth NI, Grinninger L, Deutsch A, El-Heliebi A, Kroneis T, Mcfarlane RJ. 2021. Non-coding natural antisense transcripts: Analysis and application. *J Biotechnol*, 340: 75-101.
- Liu YX, Wang L, Liu WJ, Zhang HT, Xue JH, Zhang ZW, Gao CJ. 2016. MiR-124-3p/B4GALT1 axis plays an important role in SOCS3-regulated growth and chemo-sensitivity of CML. *J Hematol Oncol*, 9: 1-12.
- Liu Y, He A, Liu B, Huang Z, Mei H. 2019. Potential role of lncRNA H19 as a cancer biomarker in human cancers detection and diagnosis: a pooled analysis based on 1585 subjects. *BioMed Res Int*, 1: 1-11.
- Liz J, Portela A, Soler M, Gomez A, Ling H, Michlewski G, Calin GA, Guil S, Esteller M. 2014. Regulation of pri-miRNA processing by a long noncoding RNA transcribed from an ultraconserved region. *Mol Cell*, 55: 138-147.
- Manolio TA, Collins FS, Cox NJ, Goldstein DB, Hindorf LA, Hunter DJ, McCarthy MI, Ramos EM, Cardon LR, Chakravarti A. 2009. Finding the missing heritability of complex diseases. *Nature*, 461: 747-753.
- Matouk IJ, Degroot N, Mezan S, Ayesh S, Abu-Lail R, Hochberg A, Galun E. 2007. The H19 non-coding RNA is essential for human tumor growth. *PLoS one*, 2: e845.
- Mattick JS. 2001. Non-coding RNAs: the architects of eukaryotic complexity. *EMBO Rep*, 2: 986-991.
- Mattick JS, Gagen MJ. 2001. The evolution of controlled multitasked gene networks: the role of introns and other noncoding RNAs in the development of complex organisms. *Mol Biol Evol*, 18: 1611-1630.

- Mercer TR, Dinger ME, Mariani J, Kosik KS, Mehler MF, Mattick JS. 2008a. Noncoding RNAs in long-term memory formation. *Neurosci*, 14: 434-445.
- Mercer TR, Dinger ME, Mattick JS. 2009. Long non-coding RNAs: insights into functions. *Nat Rev Genet*, 10: 155-159.
- Mercer TR, Dinger ME, Sunkin SM, Mehler MF, Mattick JS. 2008b. Specific expression of long noncoding RNAs in the mouse brain. *Proc. Natl Acad Sci*, 105: 716-721.
- Mitra SA, Mitra AP, Triche TJ. 2012. A central role for long non-coding RNA in cancer. *Front Genet*, 3: 17.
- Ohtsuka T, Mitsuno M, Kitajima Y, Ide T, Lee SW, Miyazaki K. 2008. Role of ASC in hypoxia-mediated cell death in pancreatic cancer. *Mol Med Rep*, 1: 827-831.
- Papait R, Kunderfranco P, Stirparo GG, Latronico MV, Condorelli G. 2013. Long noncoding RNA: a new player of heart failure? *J Cardiovasc Transl Res*, 6: 876-883.
- Pasmant E, Sabbagh A, Masliah-Planchon J, Ortonne N, Laurendeau I, Melin L, Ferkal S, Hernandez L, Leroy K, Valeyrie-Allanore L. 2011. Role of noncoding RNA ANRIL in genesis of plexiform neurofibromas in neurofibromatosis type 1. *J Natl Cancer Inst*, 103: 1713-1722.
- Patra CR, Ahmad I, Ayaz M, Khalil AT, Mukherjee S, Ovais M. 2021. Biogenic nanoparticles for cancer theranostics. Elsevier, Netherlands, 1st ed., pp: 143.
- Pearson TA, Manolio TA. 2008. How to interpret a genome-wide association study. *Jama*, 299: 1335-1344.
- Pintacuda G, Wei G, Roustan C, Kirmizitas BA, Solcan N, Cerase A, Castello A, Mohammed S, Moindrot B, Nesterova TB. 2017. hnRNP K recruits PCGF3/5-PRC1 to the Xist RNA B-repeat to establish polycomb-mediated chromosomal silencing. *Mol Cell*, 68: 955-969. e10.
- Poliseno L, Salmena L, Zhang J, Carver B, Haveman WJ, Pandolfi PP. 2010. A coding-independent function of gene and pseudogene mRNAs regulates tumour biology. *Nature*, 465: 1033-1038.
- Pontier DB, Gribnau J. 2011. Xist regulation and function explored. *Hum Genet*, 130: 223-236.
- Ponting CP, Oliver PL, Reik W. 2009. Evolution and functions of long noncoding RNAs. *Cell*, 136: 629-641.
- Qian Y, Shi L, Luo Z. 2020. Long non-coding RNAs in cancer: implications for diagnosis, prognosis, and therapy. *Front Med*, 7: 612393.
- Ren, S, Peng Z, Mao J, Yu Y, Sun Y. 2012. RNA-seq analysis of prostate cancer in the Chinese population identifies recurrent gene fusions, cancer-associated long noncoding RNAs and aberrant alternative splicings, *Cell Res*, 22:806-821.
- Rinn JL, Kertesz M, Wang JK, Squazzo SL, Xu X, Bruggmann SA, Goodnough LH, Helms JA, Farnham PJ, Segal E. 2007. Functional demarcation of active and silent chromatin domains in human HOX loci by noncoding RNAs. *Cell*, 129: 1311-1323.
- Schmitz SU, Grote P, Herrmann BG. 2016. Mechanisms of long noncoding RNA function in development and disease. *Cell Mol Life Sci*, 73: 2491-2509.
- Smaldone MC, Davies BJ. 2010. BC-819, a plasmid comprising the H19 gene regulatory sequences and diphtheria toxin A, for the potential targeted therapy of cancers. *Curr Opin Mol Ther*, 12: 607-616.
- Smolle MA, Bauernhofer T, Pummer K, Calin GA, Pichler M. 2017. Current insights into long non-coding RNAs (LncRNAs) in prostate cancer. *Int J Mol Sci*, 18: 473.
- Tay Y, Kats L, Salmena L, Weiss D, Tan SM, Ala U, Karreth F, Poliseno L, Provero P, Di Cunto F. 2011. Coding-independent regulation of the tumor suppressor PTEN by competing endogenous mRNAs. *Cell*, 147: 344-357.
- Ulitsky I, Bartel DP. 2013. lincRNAs: genomics, evolution, and mechanisms. *Cell*, 154: 26-46.
- Wang KC, Chang HY. 2011. Molecular mechanisms of long noncoding RNAs. *Mol Cell*, 43: 904-914.
- Zhang X, Zhou Y, Mehta KR, Danila DC, Scolavino S, Johnson SR, Klibanski A. 2003. A pituitary-derived MEG3 isoform functions as a growth suppressor in tumor cells. *J Clin Endocrinol Metab*, 88: 5119-5126.
- Zhao J, Sun BK, Erwin JA, Song J-J, Lee JT. 2008. Polycomb proteins targeted by a short repeat RNA to the mouse X chromosome. *Sci*, 322: 750-756.
- Zhao Y, Li H, Fang S, Kang Y, Wu W, Hao Y, Li Z, Bu D, Sun N, Zhang MQ. 2016. NONCODE 2016: an informative and valuable data source of long non-coding RNAs. *Nucleic Acids Res*, 44: D203-D208.