

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ

FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ

NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND ENGINEERING

Yıl/Year:2024 Cilt/Volume: 6 Sayı/Issue: 3

E-ISSN: 2667-7989



NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND ENGINEERING

E-ISSN: 2667-7989

Cilt/Volume: 6, Sayı/Issue: 3, (Aralık/December, 2024)

Uluslararası Hakemli Dergi/International Referred Journal

İmtiyaz Sahibi/Holder of Concession

Necmettin Erbakan Üniversitesi Rektörü
Rector of Necmettin Erbakan University
Prof. Dr. Cem ZORLU

Baş Editör/Editor-in-Chief

Doç. Dr. Fatih ERCİ, Necmettin Erbakan Üniversitesi
Assoc. Prof., Necmettin Erbakan University

Yardımcı Editörler/Associate Editors

Doç. Dr. Emrah MADENCİ, Necmettin Erbakan Üniversitesi
Assoc. Prof., Necmettin Erbakan University

Dr. Ahmet Burçin BATIBAY, Makine ve Kimya Endüstrisi Anonim Şirketi (MKE)
Machinery and Chemical Industry Corporation (MKE)

Prof. Dr. Nihat AKGÜNEŞ, Necmettin Erbakan Üniversitesi
Prof., Necmettin Erbakan University

Yayın Hazırlık ve Mizanpaj Editörleri/Layout Editors

Arş. Gör. Dr. Behiç Selman ERDOĞDU, Necmettin Erbakan Üniversitesi
(Res. Asst., Ph.D.), Necmettin Erbakan University

Arş. Gör. Canan SEVİNÇ ŞAŞMAZ, Necmettin Erbakan Üniversitesi
(Res. Asst.), Necmettin Erbakan University

Dr. Öğr. Üyesi Merve ÖZCAN TÜRKMEN, Necmettin Erbakan Üniversitesi
Asst. Prof., Necmettin Erbakan University

İstatistik Editörü/Statistical Editor

Doç. Dr. Ahmet PEKGÖR, Necmettin Erbakan Üniversitesi
Assoc. Prof., Necmettin Erbakan University

Dil Editörü/Language Editor

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DEMİRTAŞ, Necmettin Erbakan Üniversitesi
Asst. Prof., Necmettin Erbakan University

Sekreter/Secretary

Arş. Gör. Esra TANHAŞ (Res. Asst.)

Yayın Türü/Publication Type

Yerel Süreli Yayın/Local Periodical

Yazışma Adresi/Correspondence Address

Necmettin Erbakan Üniversitesi Rektörlüğü, 42090, Meram, Konya, Türkiye

Telefon/Phone: +90 (332) 221 05 00 **web:** www.dergipark.gov.tr/neufmbd **e-posta/e-mail:** neufmbd@erbakan.edu.tr

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, yılda üç kez yayımlanan uluslararası hakemli bir dergidir.
Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering is an international referred journal published three issues per year.

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Farklı Genliğe Sahip Şerit Elemanların Isı Transferine Etkilerinin Yapay Sinir Ağı Tabanlı Bulanık Mantık Modelleme Yaklaşımı ile İncelenmesi <i>Investigation the Effects of Strip Elements using Different Amplitudes on Heat Transfer with an Artificial Neural Network Based Fuzzy Logic Modeling Approach</i> ALTUN, Aziz Hakan; TINKIR, Mustafa; GÜRDAL, Mehmet; BERBER, Adnan; SEZGEN, Haşmet Çağrı; GÜLBAHÇE, Erdi.	Araştırma Makalesi <i>Research Article</i>	358-373
Sağlık Sektöründe İlaç Dağıtımı İçin Kullanılacak Olan Dronların Seçiminde ÇKKV Yöntemlerinin Uygulanması <i>Multi-Criteria Decision-Making Methods in the Selection of Drones to be Used for Drug Distribution in the Healthcare Sector</i> DEMİR, Elif; BOZ, Esra.	Araştırma Makalesi <i>Research Article</i>	374-392
İlkokul Öğrencileri Arasında Harita ve Atlasların Kartografik Kaynak Olarak Kullanımında Öğretmenlerin Etkisi: Kuzey Makedonya Örneği <i>The Impact of Teachers on the Utilization of Maps and Atlases as Cartographic Resources among Primary School Pupils: Example of North Macedonia</i> JONUZI, Edmond; SELVİ, Hüseyin Zahit.	Araştırma Makalesi <i>Research Article</i>	393-410
Uzaktan Algılama Görüntülerinde Şerit Gürültüsü Giderimi için ADOM Algoritmasının Sezgiseller ile Geliştirilmesi <i>Improving ADOM Algorithm with Heuristics for Stripe Noise Removal in Remote Sensing Images</i> EROĞLU, İrem; AKYÜREK, Hasan Ali.	Araştırma Makalesi <i>Research Article</i>	411-443
Wi-Fi Parmak İzi Kullanan İç Mekan Konum Belirleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması <i>Comparison of Indoor Location Determination Methods That Use Wi-Fi Fingerprinting</i> ÜNLERŞEN, Muhammed Fahri; YAĞCI, Mustafa.	Araştırma Makalesi <i>Research Article</i>	444-456
3 Serbestlik Dereceli Sistemin Yapay Zekâ Tabanlı LQR ve PID Kontrolcü Tasarımı <i>Artificial Intelligence based LQR and PID Controller Design of 3 Degree of Freedom System</i> ÇOPUR, Engin Hasan; BİLGİÇ, Hasan Hüseyin; ÜNLER, Tarık.	Araştırma Makalesi <i>Research Article</i>	457-467
Bir Hava Robotu İçin Geliştirilen Genetik Ayarlı LQR Kontrolörün Performansının Değerlendirilmesi <i>Performance Evaluation of a Genetically Tuned LQR Controller for an Aerial Robot</i> KARAŞAHİN, Ali Tahir.	Araştırma Makalesi <i>Research Article</i>	468-482
Özgün Elektroosmotik Mikrokariştıcı Tasarımının Farklı Voltajlardaki Karıştırma Performansının Nümerik İncelemesi <i>A Numerical Study of the Mixing Performance of the Electroosmotic Micromixer Design at Different Voltages</i> YİĞİT, Sinan; AZDURAL Mehmet Berk; KAHRAMAN, Ali.	Araştırma Makalesi <i>Research Article</i>	483-494
Hava LiDAR Verilerinin Basit Üçgen Düzensiz Ağ Algoritması ile Filtrelenmesi <i>Filtering Airborne LIDAR Data Using Simple Triangulation Irregular Network</i> URAY, Fırat; VARLIK, Abdullah.	Araştırma Makalesi <i>Research Article</i>	495-511

COVID-19'un Ülke Bazlı Analizi ve Veri Görselleştirilmesi
Country-based Analysis and Data Visualization of COVID-19
TÜMER, Abdullah Erdal; DOĞAN, Musab Kasım

Araştırma Makalesi
Research Article

512-524

Çiğ Süt Dağıtımında Zeki Algoritmaların Kullanılması
Using Intelligent Algorithms in Raw Milk Distribution
ÇANKAYA, Nihat.

Araştırma Makalesi
Research Article

525-542

Semptomatik ve Asemptomatik Bulaşmaların Etkisi ile COVID- 19 Salgınının Matematiksel Modelinin Analizi
Analyzing a Mathematical Model of the COVID-19 Pandemic with the Impact Symptomatic and Asymptomatic Transmissions
AK GÜMÜŞ, Özlem.

Araştırma Makalesi
Research Article

543-556

Histamin Modifiye Çok Duvarlı Karbon Nanotüp/Kömür Katranı/Kalem Grafit Elektrot ile Parasetamol Tayini
Determination of Paracetamol with Histamine Modified Multi-Walled Carbon Nanotube/Coal Tar Pitch/Pencil Graphite Electrode
KORKMAZ, Şeyma; MÜLAZIMOĞLU, İbrahim Ender; DEMİR MÜLAZIMOĞLU, Ayşen.

Araştırma Makalesi
Research Article

557-565

Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde Kule Yüksekliği ve Türbülans Yoğunluğu Etkisinin İncelenmesi
Investigation of the Tower Height and Turbulence Intensity on Horizontal Axis Wind Turbines
BÜYÜKZEREN, Rıza; KAYA, Mehmet Numan; BACAKOĞLU, Ali Aydın; UÇAR, Muhammed; ALTINTAŞ, Hasan Basri; ÖZTÜRK, Ali; BİLİCİ, Ahmet Yasin.

Araştırma Makalesi
Research Article

566-582

Güneş Enerji Santralinin Temizlik Sonrası Üretim Verilerinin İncelenmesi
Investigation of Production Data of Solar Power Plant after Cleaning
AKKOYUNLU, Mustafa Tahir; POLAT, Enes; ÖZKILIÇASLAN, Recep; KELEŞ, Veli; ABDALLATIF, Yousef; SAMANCI, Ahmet.

Araştırma Makalesi
Research Article

583-591

Mikrodalga Destekli Yeni Heterosiklik Schiff Bazlarının Sentezi ve Saldeta/Salpyr Metal Komplekslerinin İncelenmesi
The Synthesis of Novel Heterocyclic Schiff Bases Microwave Assisted and Investigation of Saldeta/Salpyr Metal Complexes
KOÇ, Ziya Erdem.

Araştırma Makalesi
Research Article

592-598

Türkiye’de Lojistik Köy Yer Seçiminin İki Aşamalı Karar Verme Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi
Evaluation of Logistics Village Location Selection in Turkey with a Two-Stage Decision Making Approach
ARIGÜN, Gülçin; BEYGOVA, Yağmur; DİRİL, Leyla; SARMAN, Fatih; ÇAYIR ERVURAL, Beyzanur.

Araştırma Makalesi
Research Article

599-617

Alan Editörleri/Editorial Board

Prof. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU	Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi/ <i>Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University</i>
Prof. Dr. Ceyda ÖZFİDAN KONAÇI	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Esra YALDIZ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Gökhan ZENGİN	Selçuk Üniversitesi/ <i>Selçuk University</i>
Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN	Afyon Kocatepe Üniversitesi/ <i>Afyon Kocatepe University</i>
Prof. Dr. Hüseyin Zahit SELVİ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Mehmet Akif ERİŞMİŞ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Mehmet HACİBEYOĞLU	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Mesut UYANER	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK	Gazi Üniversitesi/ <i>Gazi University</i>
Prof. Dr. Senar AYDIN	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Ummahan EGE ARSLAN	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi/ <i>Eskisehir Osmangazi University</i>
Doç. Dr. Ali SARIBIYIK	Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi/ <i>Sakarya University of Applied Sciences</i>
Doç. Dr. Alper ALVER	Aksaray Üniversitesi/ <i>Aksaray University</i>
Doç. Dr. Alper SİNAN	Akdeniz Üniversitesi/ <i>Akdeniz University</i>
Doç. Dr. Aydın KARAKOCA	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Doç. Dr. Ceyhun YILMAZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi/ <i>Afyon Kocatepe University</i>
Doç. Dr. Derya BAL ALTUNTAŞ	Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi/ <i>Recep Tayyip Erdoğan University</i>
Doç. Dr. Emrehan YAVŞAN	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi/ <i>Tekirdağ Namık Kemal University</i>
Doç. Dr. Fatma BAYRAM	Konya Teknik Üniversitesi/ <i>Konya Technical University</i>
Doç. Dr. Mustafa KUNTOĞLU	Selçuk Üniversitesi/ <i>Selçuk University</i>
Doç. Dr. Mustafa YALÇIN	Afyon Kocatepe Üniversitesi/ <i>Afyon Kocatepe University</i>
Doç. Dr. Süleyman DOĞU	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Dr. Çiğdem AŞÇIOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi/ <i>Afyon Kocatepe University</i>
Dr. Öğr. Üyesi Ali SARIBIYIK	Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi/ <i>Sakarya University of Applied Sciences</i>
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Dr. Öğr. Üyesi Bilal ERVURAL	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem AŞÇIOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi/ <i>Afyon Kocatepe University</i>
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kürşat ÖKSÜZ	Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi/ <i>Erzincan Binali Yıldırım University</i>
Dr. Öğr. Üyesi Murat KARAKOYUN	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YALÇIN	Afyon Kocatepe Üniversitesi/ <i>Afyon Kocatepe University</i>
Dr. Öğr. Üyesi Vahit TONGUR	Konya Teknik Üniversitesi/ <i>Konya Technical University</i>
Dr. Rıza BÜYÜKZEREN	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Dr. Yasemin TABAK	Tübitak Marmara Araştırma Merkezi/ <i>Tübitak Marmara Research Center</i>
Dr. Muhammad Asyraf Muhammad RİZAL	Universiti Teknologi Malaysia

Yayın ve Danışma Kurulu /Editorial and Advisory Board

Prof. Dr. Ahmet CAN	Necmettin Erbakan Üniversitesi/Necmettin Erbakan University
Prof. Dr. Aşır GENÇ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/Necmettin Erbakan University
Prof. Dr. Atilla EVCİN	Afyon Kocatepe Üniversitesi/Afyon Kocatepe University
Prof. Dr. Didem BALKANLI	Yıldız Teknik Üniversitesi/Yıldız Technical University
Prof. Dr. Erdal KOCABAŞ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/Necmettin Erbakan University
Prof. Dr. Haluk BİNGÖL	Necmettin Erbakan Üniversitesi/Necmettin Erbakan University
Prof. Dr. Hasan KOTAN	Bursa Teknik Üniversitesi/Bursa Technical University
Prof. Dr. Hicran AÇIKEL	Necmettin Erbakan Üniversitesi/Necmettin Erbakan University
Prof. Dr. Hidayet OĞUZ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/Necmettin Erbakan University
Prof. Dr. İbrahim KALAYCI	Necmettin Erbakan Üniversitesi/Necmettin Erbakan University
Prof. Dr. Mehmet AKTAN	Necmettin Erbakan Üniversitesi/Necmettin Erbakan University
Prof. Dr. Mehmet KARALI	Necmettin Erbakan Üniversitesi/Necmettin Erbakan University
Prof. Dr. Nilgün ERTAŞ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/Necmettin Erbakan University
Prof. Dr. Ömer İŞILDAK	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi/Tokat Gaziosmanpaşa University
Prof. Dr. Sabri ALPAYDIN	Necmettin Erbakan Üniversitesi/Necmettin Erbakan University
Prof. Dr. Sabri KOÇER	Necmettin Erbakan Üniversitesi/Necmettin Erbakan University
Prof. Dr. Süleyman KALELİ	Sakarya Üniversitesi/Sakarya University
Prof. Dr. Ümmügülsüm DAĞLIOĞLU	Necmettin Erbakan Üniversitesi/Necmettin Erbakan University
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Ali AKYÜREK	Necmettin Erbakan Üniversitesi/Necmettin Erbakan University

Farklı Genliğe Sahip Şerit Elemanların Isı Transferine Etkilerinin Yapay Sinir Ağı Tabanlı Bulanık Mantık Modelleme Yaklaşımı ile İncelenmesi

Aziz Hakan ALTUN¹  Mustafa TINKIR^{2*}  Mehmet GÜRDAL³ 
Adnan BERBER⁴  Haşmet Çağrı SEZGEN^{5*}  Erdi GÜLBAHÇE⁶ 

¹ Selçuk Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksek Okulu, Uçak Gövde-Motor Bakım Bölümü, Konya, Türkiye

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

³ Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye

⁴ KTO Karatay Üniversitesi, Ticaret ve Sanayi Meslek Yüksek Okulu, Mekatronik Bölümü, Konya, Türkiye

⁵ KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi	ÖZET
Geliş Tarihi: 19.12.2023 Kabul Tarihi: 28.03.2024 Yayın Tarihi: 31.12.2024	Bu çalışmada, türbülanslı akışta boru içerisine cidardan ayrı olarak yerleştirilen 3D/4 genişliğe sahip sinüzoidal ondüle şerit elemanların, farklı Reynolds sayılarında, sürtünme ve ısı performans katsayılarında ve D/8, D/4, 3D/16 olmak üzere 3 farklı genlikte ısı transferine etkilerinin deneysel sonuçları kullanılarak, yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık (YSATBM) yaklaşımı ile aynı girdilerin ve çıktılarının modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Deneysel ısı transferinde elde edilen minimum ve maksimum Nusselt sayılarının oluşturulan iki ayrı YSATBM yaklaşımı ile tahmin edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış ve min. Nusselt sayılarının tahmininde ortalama %0.1378, maks. Nusselt sayılarının tahmininde ise %0.0141 hata değerleri elde edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Türbülanslı akış, Isı transferi, Reynolds sayısı, Nusselt sayısı, Yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık model.	

Investigation the Effects of Strip Elements using Different Amplitudes on Heat Transfer with an Artificial Neural Network Based Fuzzy Logic Modeling Approach

Article Info	ABSTRACT
Received: 19.12.2023 Accepted: 28.03.2024 Published: 31.12.2024	In this study, the effects of sinusoidal decoupled strip elements with 3D/4 width, placed separately from the wall in the pipe in turbulent flow, the same inputs and outputs are modeled with the artificial neural network-based fuzzy logic (ANNBFL) approach using experimental results of different Reynolds numbers, friction and thermal performance coefficients and 3 different amplitudes D/8, D/4, 3D/16 effects on heat transfer. The minimum and maximum Nusselt numbers obtained in the experimental heat transfer are estimated with two separate ANNBFL approaches. The obtained simulation results are compared with the experimental results and min. average 0.1378% in estimating Nusselt numbers, max. average error value of 0.0141% are obtained in estimating Nusselt numbers.
Keywords: Turbulent flow, Heat transfer, Reynolds number, Nusselt number, Artificial neural network based fuzzy logic model.	

To cite this article:

Altun, A.H., Tinkir, M., Gürdal, M., Berber, A., Sezgen H.Ç. & Gülbahçe, E. (2024). Farklı Genliğe Sahip Şerit Elemanların Isı Transferine Etkilerinin Yapay Sinir Ağı Tabanlı Bulanık Mantık Modelleme Yaklaşımı ile İncelenmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 358-373. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.53>

*Sorumlu Yazar: Haşmet Çağrı Sezgen, hasmet.sezgen@karatay.edu.tr



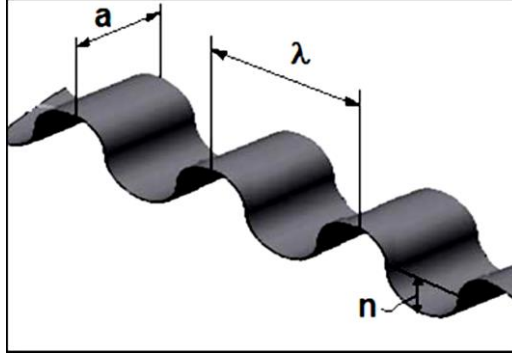
This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstriyel alanlarda, konutlarda, geri dönüşüm sistemlerinde, kimyasal ve gıda sanayinde birçok alanda boru tipi ısı değiştirici sistemleri kullanılmaktadır. Günümüzde bu ısı değiştiricilerin ısı transferini arttırmak ve verimini iyileştirmek için değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en sık kullanılan boru içine çeşitli iç eleman yerleştirildiği pasif yöntemdir. Bu nedenle işletme maliyetlerini azaltmak, verimliliği ve ısı transferini iyileştirmek için bu yöntemle ilgili deneysel ve sayısal pek çok çalışma bulunmakta ve yapılmaktadır. Bu çalışmalarda araştırmacıların bazıları boru girişine yerleştirdikleri çeşitli elemanların ısı transferi akış karakteristiğine etkilerini incelemişlerdir. Bunlardan Sparrow, Koram ve Charmchi [1] boru içi türbülanslı akışta girişe yerleştirilen simetrik olmayan pervaz şeklindeki tıkama elemanların ısı transferi ve akış karakteristiğine etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak farklı Reynolds sayıları ve tıkama oranlarında gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda akış ayrılması ve yeniden tutunmanın görüldüğü yerlerde en fazla ısı transferinin gerçekleştiğini görmüşlerdir. Sparrow ve Chaboki [2] yine benzer bir çalışmada bu sefer girişe yerleştirdikleri girdap elemanın ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Girişe yerleştirilen girdap elemanın borularda ısı transferinin önemli ölçüde arttırdığını belirlemişlerdir.

Araştırmacıların birçoğu boru boyunca yerleştirdiklerin çeşitli elemanların ısı transferi ve akış karakteristiğine etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmalara ilgili geniş bir literatür özeti [3] de verilmiştir. Bu çalışmalardan Sethumadhavan ve Raoboru [4] içine sıkıca yerleştirdikleri telin değişen adım uzunluğu, helisel açısı ve kalınlığın ısı transferine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmaların sonuçlarını literatürdeki sonuçlarla kıyaslamışlar ve farklı tip pürüzlülük yüzeyleri için bir genel korelasyon geliştirmişlerdir. Boru içine yerleştirdikleri farklı ebatlardaki düz şerit elemanların ısı transferine etkilerini Hsieh, Chang ve Yang [5] türbülanslı akış için sayısal olarak araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre şerit elemanlı dairesel boruların düz boruya göre ısı transferini 2-3 kat daha fazla arttırdığını belirlemişlerdir. Eimsa-ard ve Promvonge [6] uniform ısı akısı uygulanan bir boru içerisine V tipli lüle türbülötör yerleştirerek sürtünme karakteristiği ve ısı transferi üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Farklı hatve oranları için ortalama ısı transferindeki artışı sırasıyla %270, %236, %216 olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca düşük hatve oranlarında en yüksek ısı transferi iyileşmesi elde edildiğini ve bu ısı iyileşmesinin Re sayısındaki artış ile ters orantılı olduğu ifade etmişlerdir. Boru boyunca yerleştirdiği yarım daire şeklindeki tıkama elemanların ısı transferi ve akış geometrisi üzerine etkilerini geçici rejim zorlanmış taşınımında türbülanslı akış için Tandıroğlu [7] deneysel olarak araştırmıştır. Farklı Reynolds sayılarında, adım mesafe oranı, H/D, yerleştirme açısı, β tıkama elemanı boru uzunluk oranı, L/H ve tıkama alanı oranına, So/Sa, göre gerçekleştirdiği deneylerden elde edilen sonuçlarla Nusselt sayısını ve basınç kaybını değerlendirmiştir. Promvonge ve Eiamsa-ard [8] test borusu boyunca farklı adım oranlarında (PR=2.0, 4.0, ve 7.0) yerleştirdikleri konik-lüle türbülötörlerin ısı transferi ve sürtünme karakteristiklerini deneysel olarak araştırmışlardır. Yakınsak ve ıraksak olarak iki farklı tipte sıraladıkları türbülötörlerin etkilerini Reynolds sayısı 8000 ile 18000 aralığı için incelemişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçlardan ısı transfer oranının düz boruya göre Reynolds sayısına ve türbülötör dizilimine bağlı olarak % 236 ile 344 arasında arttığını görmüşlerdir. Anvari ve ark. [9] bir borunun içine yerleştirdikleri konik kesitli türbülötörlerin ısı transferi ve basınç düşüşüne etkilerini zorlanmış taşınımında deneysel olarak araştırmışlardır. Yakınsak ve ıraksak dizilim olarak yerleştirdikleri türbülötörlerden elde ettikleri deneysel sonuçları bilinen Nusselt Sayısı korelasyonları ile kıyaslamışlardır. Buna göre ıraksak dizilimli türbülötörlerde %521, yakınsak dizilimli türbülötörlerde ise %355 Nusselt sayısında iyileşme sağlanmasına rağmen türbülötörlerin önemli ölçüde basınç kaybına neden olduğunu belirlemişlerdir. Fan ve ark. [10] türbülanslı akışta boru içine yerleştirdikleri konik şerit türbülötörün ısı transfer oranına, sürtünme katsayısına ve termal-hidrolik performans etkilerini sayısal olarak araştırmışlardır. Sayısal hesaplama sonuçlarından düz boruya göre sürtünme katsayısının 10 kat ($f=0.062-0.36$), Nusselt sayısının 5 kat ($Nu=98.35-400.41$) daha fazla

olduğunu ve performans değerlendirme kriterinin 1.67-2.06 aralığında olduğunu görmüşlerdir. Bu amaçla bu çalışmalardan yola çıkarak öncelikle, borularda hidrodinamik gelişmesini tamamlamış türbülanslı hava akışında boru içerisine konumlandırılan farklı genlik değerlerine sahip sinüzoidal ondüle şerit elemanların farklı Reynolds sayılarında, sürtünme ve ısı performans katsayılarında ve $D/8$, $D/4$, $3D/16$ olmak üzere 3 farklı genlikte ısı transferine etkileri deneysel olarak incelenmiş ve bu girdilere göre min. ve maks. Nusselt sayılarının değişimi bulunmuştur [11].



Şekil 1

Sinüzoidal ondüle şerit elemanı ve test borusuna yerleştirilmiş hali (a: Genişlik, n: Genlik, λ: Dalga boyu)

Bu çalışmada ise; daha önce yapılan çalışmada [11] elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak, farklı Reynolds sayılarında, sürtünme ve ısı performans katsayılarında ve $D/8$, $D/4$, $3D/16$ olmak üzere 3 farklı genlikte minimum ve maksimum Nusselt sayılarının tahmin edilmesi için yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık (YSATBM) yaklaşımı ile simülasyon modellerinin oluşturulması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın özgünlüğü ise daha önce bu amaçla yapılan deney verileri kullanılarak aynı çıktılar tahmin edildiği yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık modelleme yaklaşımının ilk kez bu çalışmada kullanılmasıdır. Bu konuda benzer tahmin modelleme yaklaşımlarının olmasına rağmen borularda ısı transferi attırma metotlarından olan pasif yöntemlerden iç eleman yerleşimine ait verilerin aynı metotla tahmin modellerinin oluşturulduğu bir literatür çalışmasına pek rastlanmamıştır. Özellikle bu çalışmaya konu olan farklı genliğe sahip sinüzoidal ondüle şerit elemanların ısı transferine etkilerinin aynı metotla tahmin modellerinin oluşturulduğu bu çalışma ilk olacaktır. Bu nedenden dolayı çalışma kullanılan YSATBM modelleme yaklaşımlarının özellikle boru içi akışlarda ısı transferi arttırma yöntemlerinin araştırıldığı literatüre ve bundan sonraki birçok araştırma çalışmasına ışık tutacağını söylemek mümkündür.

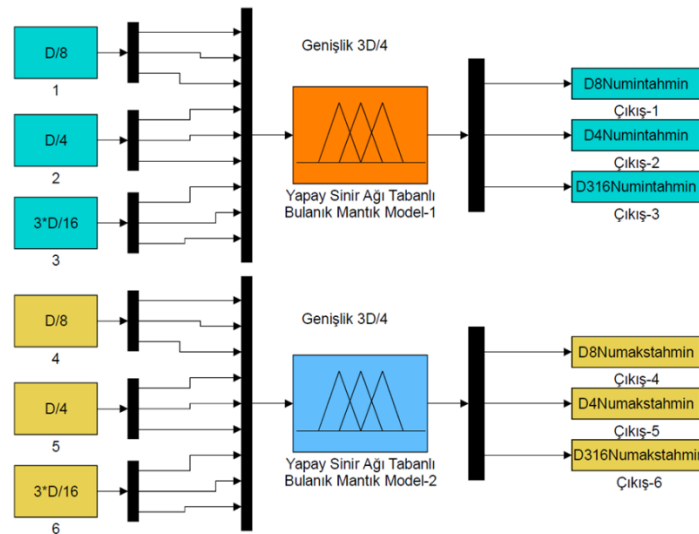
MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

Optimizasyon yöntemleri ile modellerin en iyilemeleri mühendislik çalışmalarında sıklıkla rastlanmaktadır ve birçok farklı alanın metodu olmuştur [12-17]. Bunlardan literatürde önemli bir yeri olan bulanık mantık yaklaşımı ile hem otomatik kontrol hem de tahmin modellerinin oluşturulması gibi araştırmalar yapılabilmektedir [18-24]. Bulanık mantık modelleme uygun gerçek deneysel veri setlerine dayalı çıktılar oluşturabilmektedir. Bulanık mantık, kesin olmayan çıktıları oluşturmak için bir çıkarım sistemine (bulanık kümeler) ve bir bilgi tabanına dayanmaktadır. Bulanık kümeler dilsel bir şekilde, örneğin küçük, orta ve büyük gibi terimler ile ifade edilir. Bu ifadeler bulanık bir kümenin dilsel temsili olarak bilinir ve toplamı bir terim kümesini tanımlar veya bulanık kümelerin kütüphanesini oluşturur. Bulanık mantık dört ana bileşenden oluşur: (1) Bulanıklaştırıcı, (2) Bulanıklık içeren bilgi kural tabanı ve üyelik fonksiyonları, (3) Bulanık muhakeme ve (4) Durulaştırıcı arayüzü.

Yapay sinir ağı mantığı ise biyolojik sinir sistemlerinin çalışması gibidir. Bir yapay sinir ağı belirli bir işlevi gerçekleştirmek için eğitilerek sinir elemanları arasındaki bağlantıları kullanmaktadır.

Genellikle belirli bir girdinin belirli bir hedefe ulaşması için sürekli kapalı çevrim çalışma mantığı ortaya koyar. Sinir ağı çıktısı hedefle eşleşene kadar hedef bu çevrim döngüsü devam etmektedir. Bu nedenle bir yapay sinir ağı modelinin birçok veriye dayalı olarak eğitilmesi, test ve doğrulaması gerekmektedir. Ayrıca bulanık mantık sistemlerde olduğu gibi yapay sinir ağı yaklaşımı da hem otomatik kontrol hem de tahmin modelleme çalışmalarında oldukça fazla kullanılmaktadır [25-28].

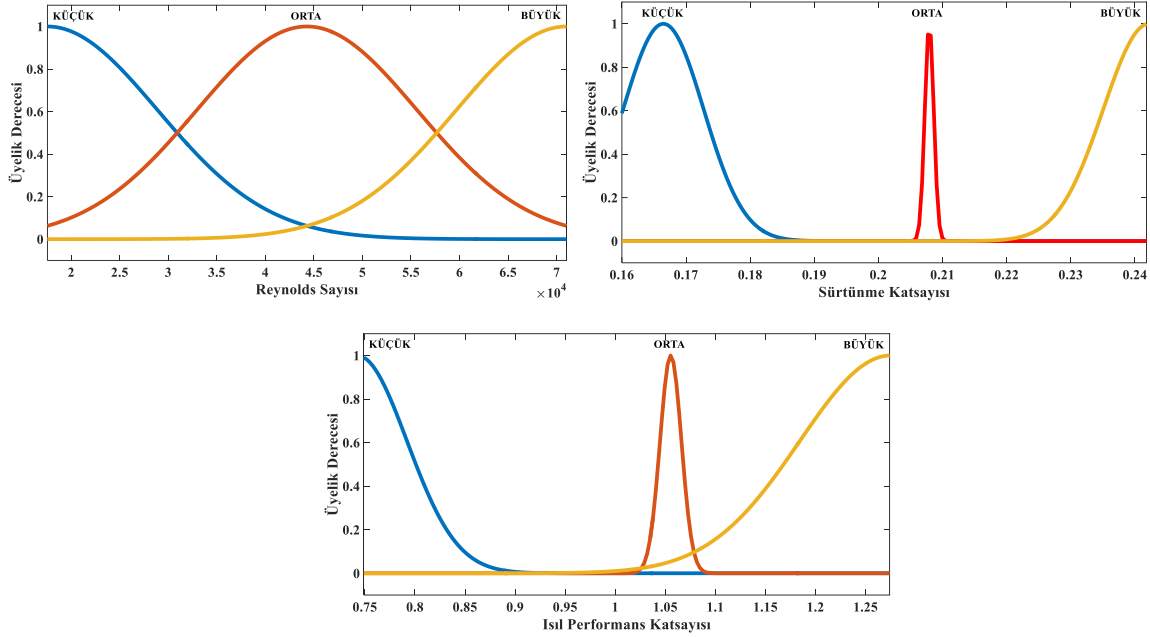
Bu çalışmada yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık (YSATBM) modelleme yöntemi kullanılarak, türbülanslı akışta Reynolds sayısının farklı sinüzoidal kesitler için ısı transferi ve akış özelliklerine etkisi sonucunda elde edilen deneysel minimum ve maksimum Nusselt sayılarının tahmin edilmesi sağlanmıştır. Daha önce yapılan bu deneysel çalışmada [11] sabit 3D/4 genişlik için üç farklı sinüzoidal genlik (D/8, D/4 ve 3D/16), Reynolds sayısı (Re), sürtünme katsayısı (f_s) ve ısıl performans katsayısının (μ) değişimine göre boru içi türbülanslı akışta minimum ve maksimum Nusselt sayılarının değişimi incelenmiştir. Bu araştırma çalışmasında ise kısaca; aynı deneysel veriler kullanılarak yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık tahmin modellerinin oluşturulması ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmış ve literatür için örnek oluşturacak tahmin modelleri sunulmuştur. Bu modellerin oluşturulmasında hem yapay sinir ağı hem de bulanık mantık yaklaşımını birlikte kullanmaya olanak sağlayan Matlab/Anfis programı kullanılmıştır. Bu programda elde edilen YSATBM modellerinin simülasyonları ve çıktıların elde edilmesi yine Matlab/Simulink kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada iki farklı tahmin modeli oluşturulmuştur. Birinci model girişlere karşılık olarak minimum Nusselt sayılarının tahmin edildiği, ikinci model ise maksimum Nusselt sayılarının tahmin edildiği model olarak belirlenmiştir. 3D/4 genişlik için üç farklı sinüzoidal genlik (D/8, D/4 ve 3D/16), Reynolds sayısı, sürtünme katsayısı ve ısıl performans katsayısı hem girişler hem de sinir ağı tabanlı bulanık mantık modellerin oluşturulmasında kullanılmıştır. Minimum Nusselt sayılarının tahmin edildiği YSATBM-1 modeli ise üç farklı alt tahmin modellerinden oluşmaktadır. Yine aynı şekilde maksimum Nusselt sayılarının tahmin edildiği YSATBM-2 modeli de bu şekilde üç farklı alt modelden meydana gelmektedir. Her bir alt bulanık mantık model Sugeno-tip bulanık mantık çıkarım sistemine sahiptir. Çalışmanın en önemli kısmı ise Anfis yazılımından elde edilen her 3 ayrı alt modelin tek bir bulanık mantık model içinde birleştirilmesidir. Bu şekilde toplam 6 ayrı alt tahmin modeli oluşturulmuş ve simülasyonlarda YSATBM-1 ve YSATBM-2 ana tahmin bulanık mantık modelleri kullanılmıştır. Bu alt modellerin birleştirilmesinde hem üyelik fonksiyonları, hem kural tabanları hem de çıkışlar birleştirilmiş ve her bir girişe ait min. ve maks. Nusselt sayılarının tahmin edilmesi sağlanmıştır. Şekil 2’de çalışmada kullanılan yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık modelleme blok şeması verilmiştir.



Şekil 2

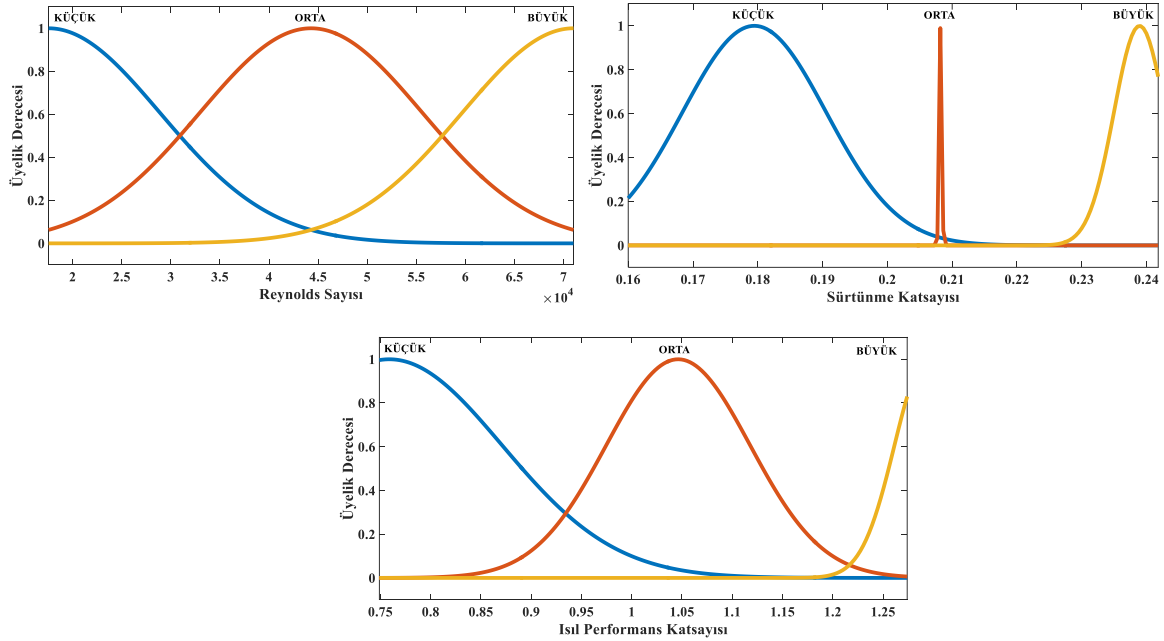
Yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık modelleme blok şeması

Şekil [3-8]'de her YSATBM modeli girişleri için oluşturulan üyelik fonksiyonları verilmiştir. Üyelik fonksiyonları olarak simülasyonlarda en uygun tahmin sonuçlarını veren gauss ve trapez tip üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Çıkış değerleri ise tahmin modellerinin belirlemiş olduğu sabit değerlerdir.



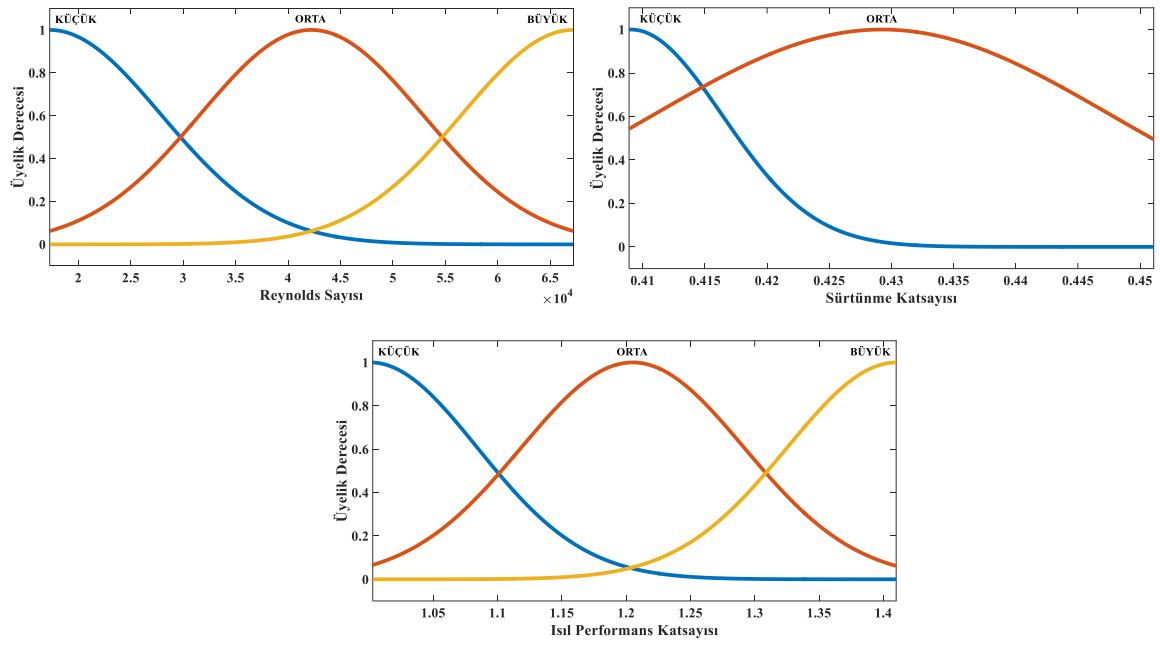
Şekil 3

Min. Nusselt sayısı tahmininde D/8 girişi için kullanılan üyelik fonksiyonları



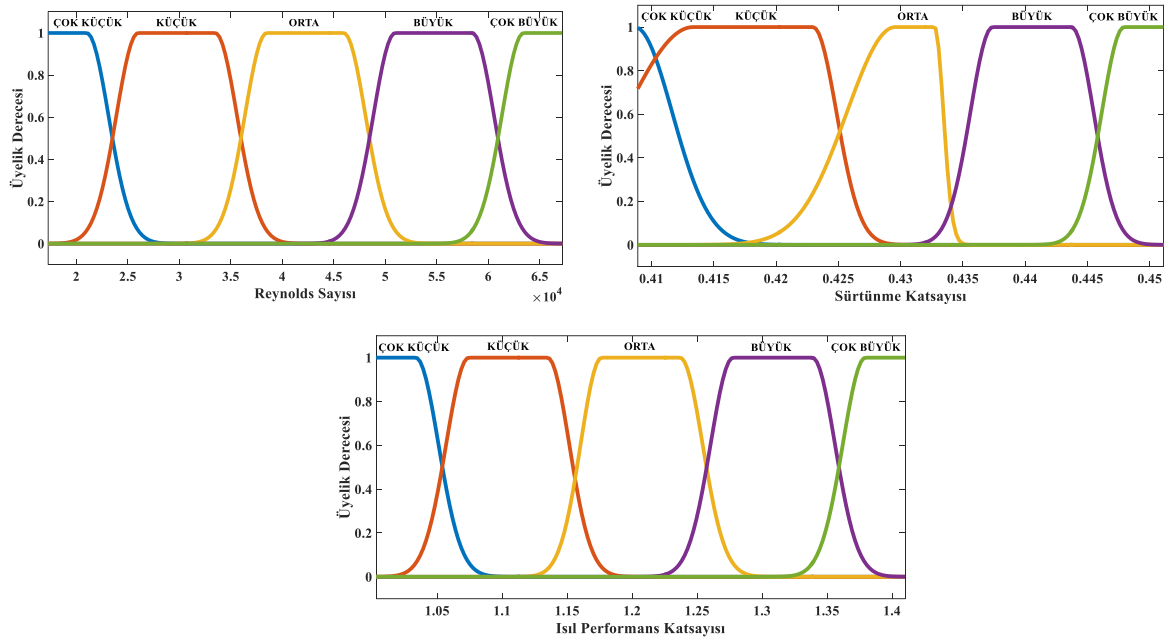
Şekil 4

Maks. Nusselt sayısı tahmininde D/8 girişi için kullanılan üyelik fonksiyonları



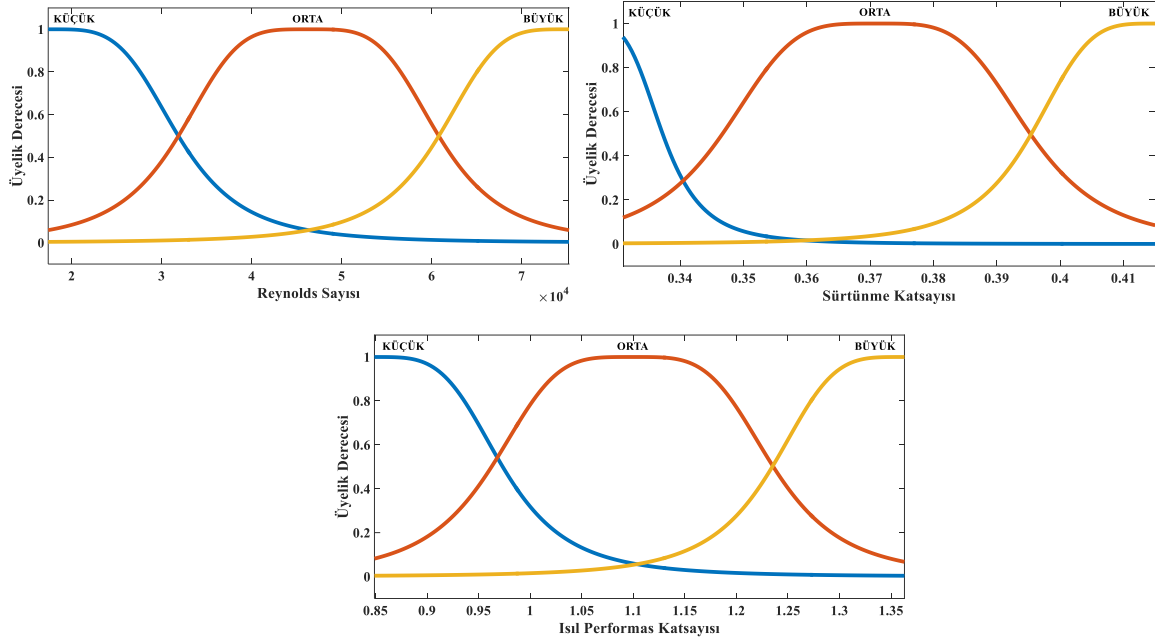
Şekil 5

Min. Nusselt sayısı tahmininde D/4 girişi için kullanılan üyelik fonksiyonları

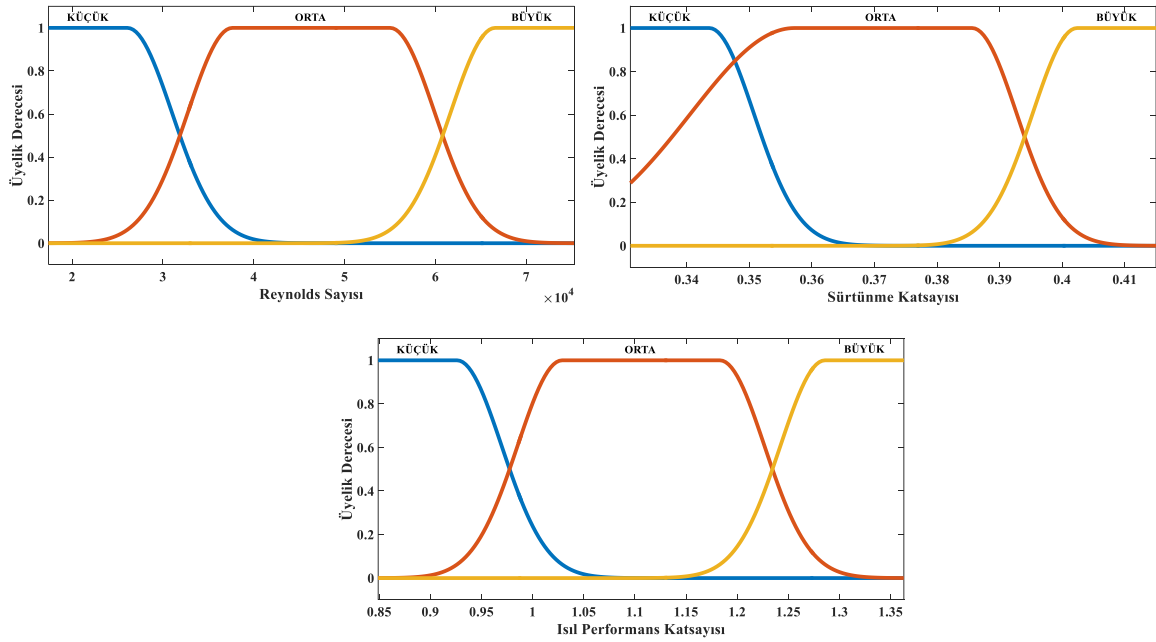


Şekil 6

Maks. Nusselt sayısı tahmininde D/4 girişi için kullanılan üyelik fonksiyonları

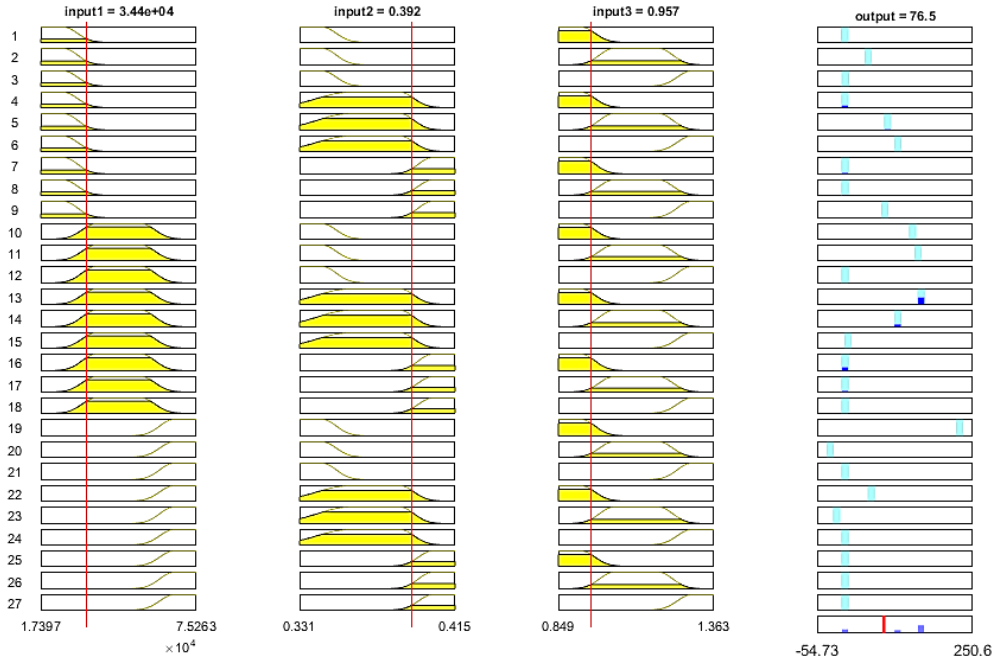
**Şekil 7**

Min. Nusselt sayısı tahmininde 3D/16 girişi için kullanılan üyelik fonksiyonları

**Şekil 8**

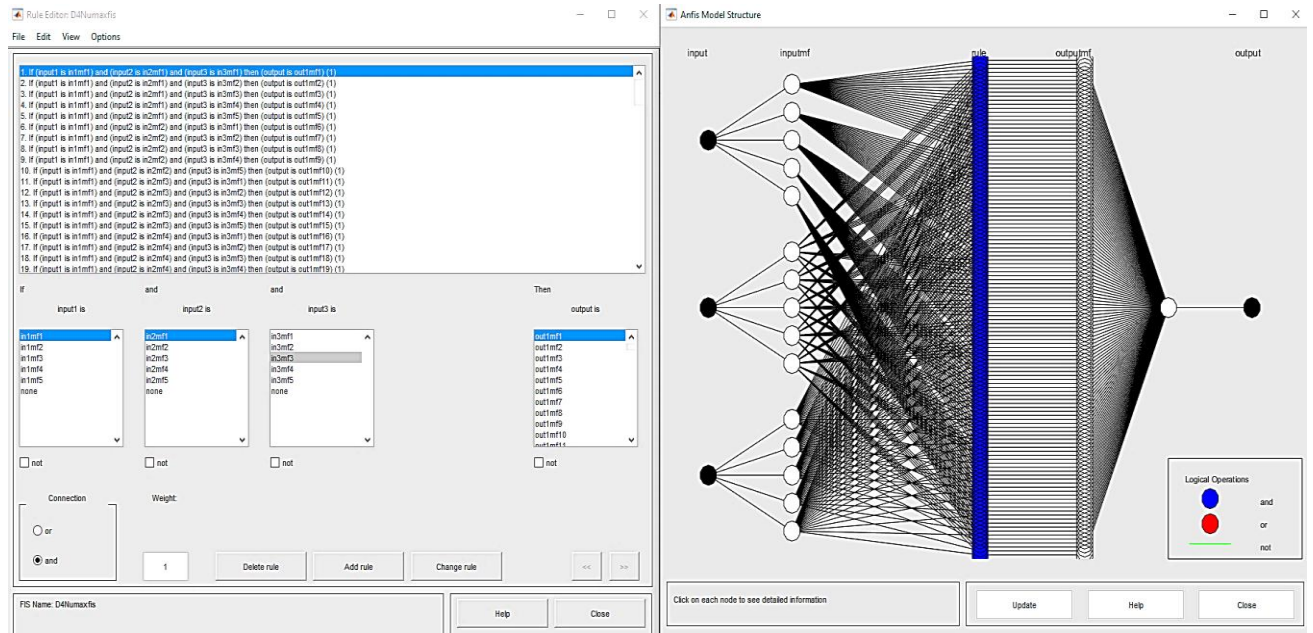
Maks. Nusselt sayısı tahmininde 3D/16 girişi için kullanılan üyelik fonksiyonları

YSATBM-1 modeli 81, YSATBM-2 modeli ise 179 kuraldan meydana gelmektedir. Örnek kural çalışma şeması Şekil 9'da verilmiştir.

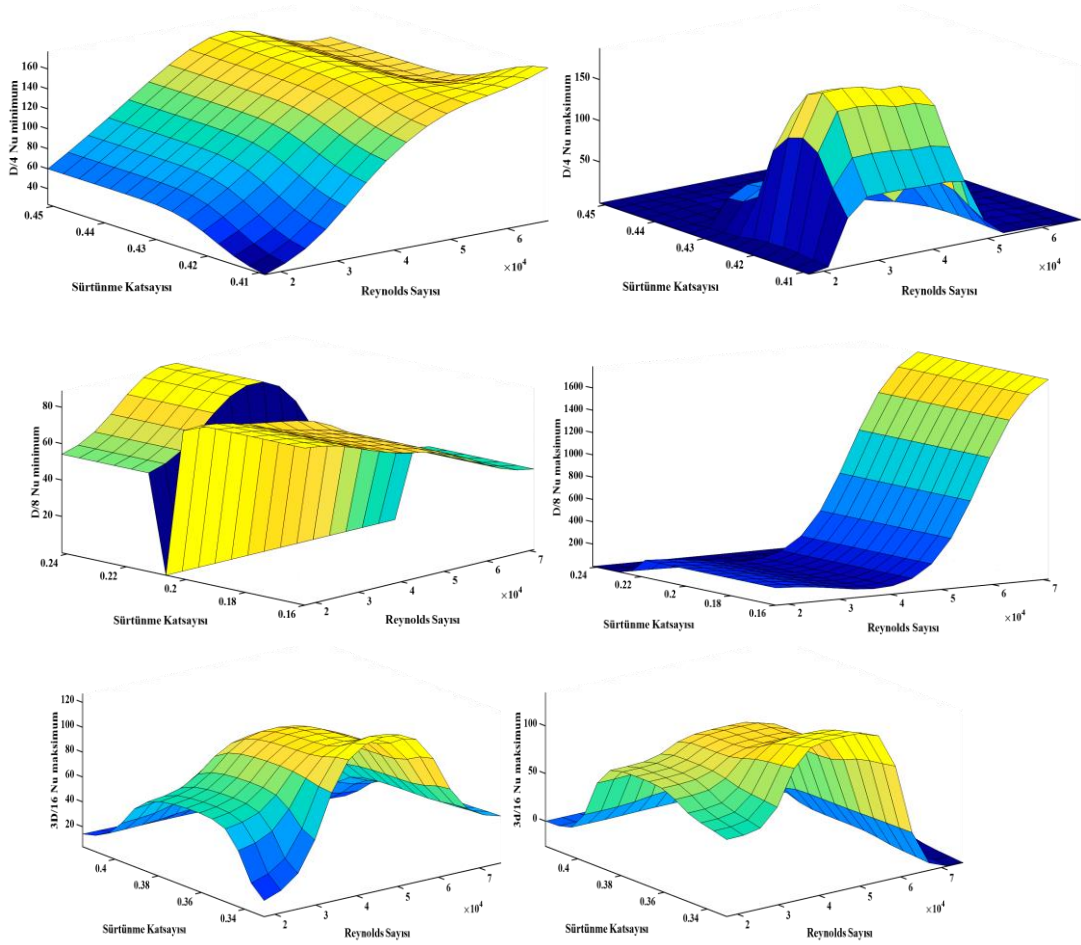


Şekil 9
Tahmin modellerine ait örnek kural çalışma şeması

Şekil 10'da tahmin modellerine ait oluşturulan kurallar ve yapay sinir ağı yapısına ait örnekleme sunulmuştur.



Şekil 10
Tahmin modellerine ait kurallar ve yapay sinir ağı yapısına ait örnekleme



Şekil 11
Tahmin modellerine ait girişlere ait çıkış yüzey değişimleri

BULGULAR (RESULTS)

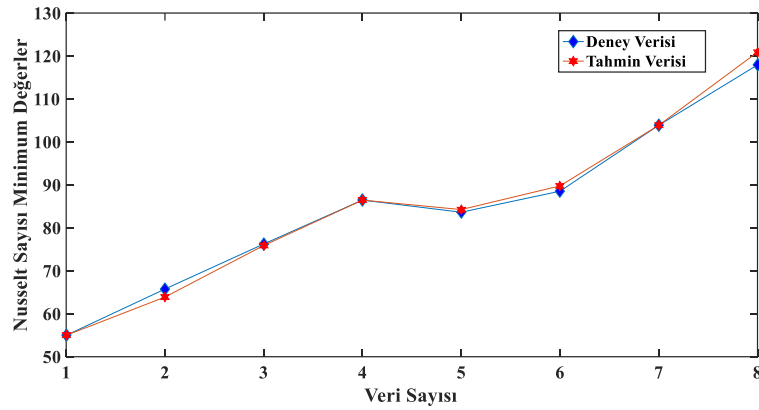
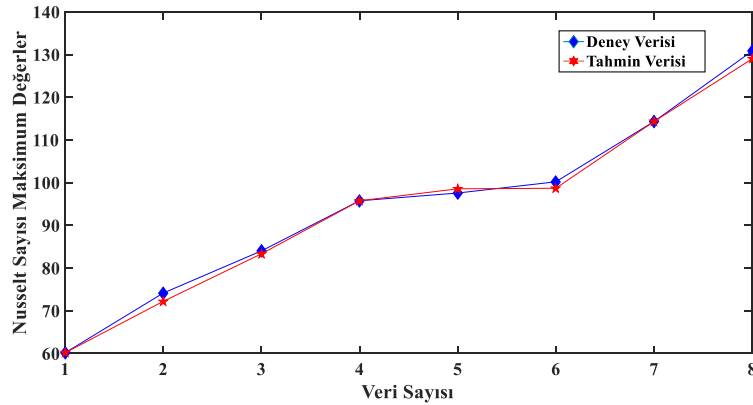
Çalışma sonunda yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık (YSATBM) modelleri kullanılarak sabit 3D/4 genişlik için üç farklı sinüzoidal genlik ($D/8$, $D/4$ ve $3D/16$), Reynolds sayısı (Re), sürtünme katsayısı (f_s) ve ısıl performans katsayısının (μ) değişimine göre boru içi türbülanslı akışta minimum ve maksimum Nusselt sayılarının değişimi tahmini olarak bulunmuştur. Şekil 2’de verilen modelleme blok şemasına göre önce üç farklı sinüzoidal genlik ($D/8$, $D/4$ ve $3D/16$), Reynolds sayısı (Re), sürtünme katsayısı (f_s) ve ısıl performans katsayısının (μ) değişimine göre min. Nusselt sayılarının tahmin edilmesi yapılmıştır. Daha sonra ise aynı işlemler aynı girişlere göre maks. Nusselt sayılarının tahmininde kullanılmıştır.

Min. ve maks. Nusselt sayılarının tahmin edilmesi önceki bölümlerde bahsedildiği gibi iki ayrı YSATBM modeli kullanılmıştır. Bunun nedeni ise tek bir model de çok fazla girdiye göre üyelik fonksiyonlarının ve kural tabanlarının birleştirilmesinin daha zor olmasındandır. Ayrıca tek bir model kullanımında oluşturulacak YSATBM yaklaşımının çözüm sürecini zorlaştırması ve simülasyon zamanını artırması kaçınılmazdır. Bu nedenle iki ayrı model kendi içlerinde alt tahmin modelleri oluşturularak elde edilmiş ve aynı anda simüle edilmiştir. Öncelikle Tablo 1’de genlik $D/8$ iken deneysel sonuçlar ile tahmin sonucu elde edilen min. ve maks. Nusselt sayılarının karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 1*D/8 genlik için elde edilen deneysel ve tahmin Min.- Maks. Nusselt sayıları*

GENİŞLİK 3D/4							
Genlik	Deneysel Veriler			Çıkış Değerleri		Tahmin Edilen Veriler	
	Re	Giriş Değerleri f_s	μ	$Nu_{maksimum}$	$Nu_{minimum}$	$Nu_{maksimum}$	$Nu_{minimum}$
D/8	17557	0.2418	1.274	60.16	54.98	60.16	54.98
	25696	0.2136	1.143	74.15	63.89	72.207	65.752
	34851	0.1949	0.990	84.02	75.89	83.335	76.237
	42887	0.184	0.944	95.77	86.46	95.77	86.46
	49791	0.1756	0.893	97.58	84.25	98.565	83.634
	58207	0.1698	0.840	100.21	89.77	98.701	88.532
	66345	0.1653	0.764	114.32	103.88	114.32	103.88
	71013	0.16	0.749	130.82	120.89	128.998	117.931

Tablo 1’deki sonuçlara göre deneysel sonuçlar ile modelleme sonuçlarının birbirlerine çok yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Min. Nusselt sayıları için ortalama %0.3844 hata, maks. Nusselt sayıları için ise ortalama %0.6614 hata bulunmuştur. Ayrıca deneysel ve tahmin sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması Şekil 12 ve Şekil 13’te sunulmuştur.

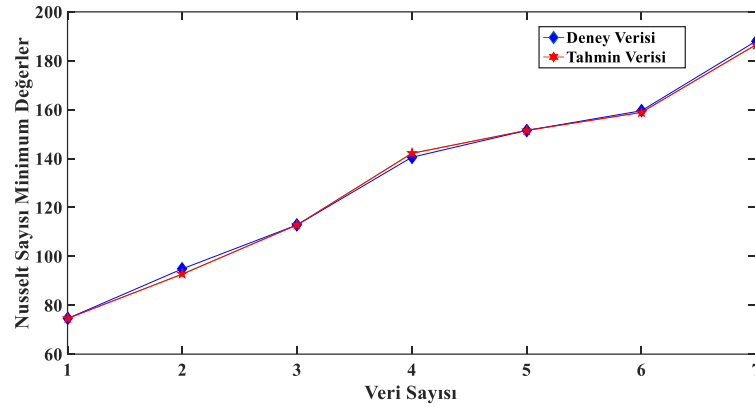
**Şekil 12***D/8 genlik değerine göre Min. Nusselt sayılarının karşılaştırılması***Şekil 13***D/8 genlik değerine göre Maks. Nusselt sayılarının karşılaştırılması*

Tablo 2’de ise genlik D/4 iken deneysel sonuçlar ile tahmin sonucu elde edilen min. ve maks. Nusselt sayılarının karşılaştırılması verilmiştir. Tablo 2’deki sonuçlara göre deneysel sonuçlar ile modelleme sonuçlarının birbirlerine çok yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Min. Nusselt sayıları için ortalama % 0.2934 hata, maks. Nusselt sayıları için ise ortalama % 0.1952 hata bulunmuştur. Ayrıca deneysel ve tahmin sonuçlarının grafiksel olarak karşılaştırılması Şekil 14 ve Şekil 15’de sunulmuştur.

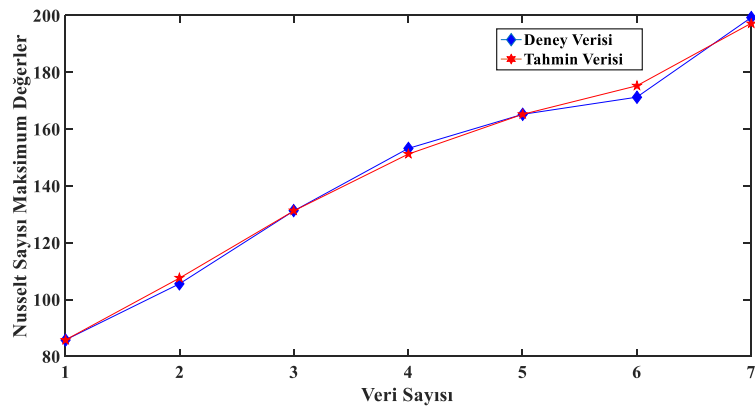
Tablo 2

D/4 genlik için elde edilen deneysel ve tahmin Min.- Maks. Nusselt sayıları

GENİŞLİK 3D/4							
Genlik	Deneysel Veriler			Çıkış Değerleri		Tahmin Edilen Veriler	
	Re	Giriş Değerleri f_s	μ	$Nu_{maksimum}$	$Nu_{minimum}$	$Nu_{maksimum}$	$Nu_{minimum}$
D/4	17272	0.4511	1.410	85.78	74.58	85.78	74.58
	25693	0.4377	1.283	105.59	94.89	107.589	92.734
	34583	0.4231	1.161	131.25	112.85	131.25	112.85
	43355	0.4163	1.167	153.20	140.52	151.199	142.126
	50314	0.4139	1.142	165.20	151.5	165.20	151.5
	57912	0.4115	1.084	171.25	159.542	175.249	158.865
	67178	0.4089	1.003	199.25	188.03	197.231	186.56

**Şekil 14**

D/4 genlik değerine göre Min. Nusselt sayılarının karşılaştırılması

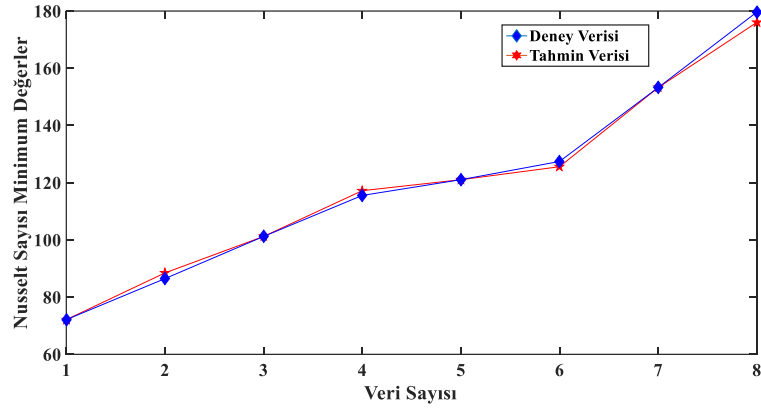
**Şekil 15**

D/4 genlik değerine göre Maks. Nusselt sayılarının karşılaştırılması

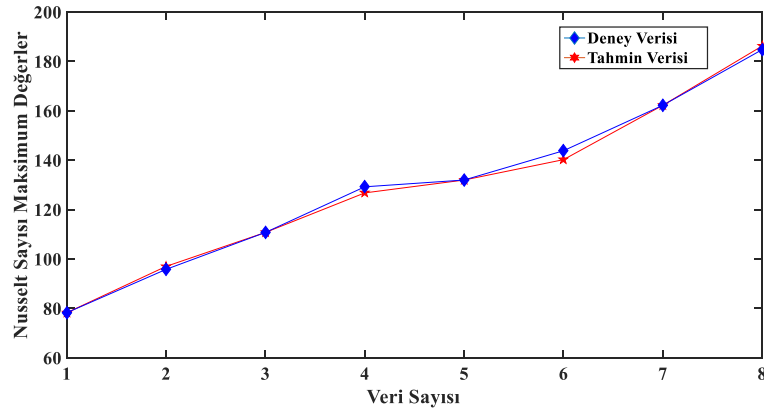
Tablo 3

3D/16 Genlik için elde edilen deneysel ve tahmin Min.- Maks. Nusselt sayıları

GENİŞLİK 3D/4							
Genlik	Deneysel Veriler			Tahmin Edilen Veriler			
	Giriş Değerleri	Çıkış Değerleri		Çıkış Değerleri			
	Re	f_s	μ	$Nu_{x_{maksimum}}$	$Nu_{x_{minimum}}$	$Nu_{x_{maksimum}}$	$Nu_{x_{minimum}}$
3D/16	17397	0.415	1.363	78.26	72.125	78.26	72.125
	25976	0.368	1.284	97.03	88.47	95.824	86.469
	35245	0.351	1.094	110.78	101.21	110.78	101.21
	43382	0.345	1.030	126.79	117.21	129.253	115.547
	50614	0.342	0.985	132.00	121.05	132.00	121.05
	58938	0.340	0.933	140.25	125.585	143.856	127.425
	67150	0.339	0.871	162.26	153.254	162.26	153.25
	75263	0.331	0.849	186.26	176.024	184.787	179.635

**Şekil 16**

3D/16 genlik değerine göre Min. Nusselt sayılarının karşılaştırılması

**Şekil 17**

3D/16 genlik değerine göre Maks. Nusselt sayılarının karşılaştırılması

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Bu çalışmada yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık (YSATBM) modelleme yöntemi kullanılarak, türbülanslı akışta Reynolds sayısının farklı sinüzoidal kesitler için ısı transferi ve akış özelliklerine etkisi sonucunda elde edilen deneysel minimum ve maksimum Nusselt sayılarının tahmin

edilmesi sağlanmıştır. Daha önce yapılan bu deneysel çalışmada [11] sabit $3D/4$ genişlik için üç farklı sinüzoidal genlik ($D/8$, $D/4$ ve $3D/16$), Reynolds sayısı (Re), sürtünme katsayısı (f_s) ve ısı performans katsayısının (μ) değişimine göre boru içi türbülanslı akışta minimum ve maksimum Nusselt sayılarının değişimi incelenmiştir. Bu araştırma çalışmasında ise kısaca; aynı deneysel veriler kullanılarak yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık tahmin modellerinin oluşturulması ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmış ve literatür için örnek oluşturacak tahmin modelleri sunulmuştur. Elde edilen simülasyon sonuçları deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış ve min. Nusselt sayılarının tahmininde ortalama %0.1378, maks. Nusselt sayılarının tahmininde ise %0.0141 hata değeri bulunmuştur. Bu sonuçları anlamlandırmak adına literatürde sunulan benzer çalışmalar incelenmiştir. Naphon ve ark. [29] manyetik alan etkisi altındaki hızlı dalgalı nanoakışkanların sürtünme faktörü ve Nusselt sayısının helisel kıvrımlı boru içinde analizi için uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi ile yaptıkları tahmin sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum vardır, sürtünme faktörü ve Nusselt sayısı için sırasıyla %2.5-%5.0 ve %2.5'lik ortalama hatalar sunmuşlardır. Benzer şekilde Esfandyari ve ark. [30] tarafından yapılan çalışmada ultrasonik uyarılmış çift borulu ısı değiştiricinin optimizasyonu için uyguladıkları YSA ve parçacık sürü optimizasyon algoritmaları ile modeller oluşturulmuştur. Çalışmada deneysel ve tahmin edilen veriler karşılaştırılmış ve her iki modelin de korelasyon katsayıları %94.84'ten büyük olduğu böylece hatanın %5'ten küçük olduğu görülmüştür. Beigzadeh ve Eiamsa-ard [31] yaptıkları çalışmada tandem düzenleme ile donatılmış elmas şeklinde turbülatörlere sahip bir ısı değiştiricide, hava akışının termal özelliklerini ve akış sürtünmesini belirlemek için bulanık mantık yaklaşımını uygulamışlar, sonuç olarak Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü tahminleri için ortalama göreceli hatalar %0.61 ve %0.79 olarak hesaplamışlardır. Krishna ve ark. [32] gaz-katı akışkan yataklarının hidrodinamiğini incelemek amacıyla deneysel verilere YSA ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi uygulamışlar ve sırasıyla elde edilen hata (RMSE) değerleri 0.96881 ve 0.64235 olarak sunmuşlardır. Literatürde benzer çalışmalar incelendiğinde ve kıyaslandığında sonuçların başarılı olduğu görülmektedir. Öte yandan çalışmamız sonuçlarının bu şekilde başarılı çıkmasının en önemli nedeni, deneysel elde edilen verilerin doğrusala yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Normalde deneysel verilerin azlığından dolayı tahmin sonuçlarının çok farklı çıkması beklenirken doğrusal verilerden oluşan girdi ve çıktılara göre eğitilen YSATBM modelleri oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Eğer deneysel veriler doğrusal olmayan şekilde bir yaklaşım göstermiş olsaydı bu kadar az giriş verisi ile tahmin modellerinin başarılı sonuç vermesi oldukça zor olması bekleniyordu. Ama yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı çalışmada uygulanan tahmin modelleri deneysel sonuçlara yakın veriler sunmuştur. Çalışmanın başka önemli bir kısmı ise 6 farklı yapay sinir ağı tabanlı bulanık mantık modelin iki ayrı modelde birleştirilmesi ve bu birleştirme sonucunda min. ve maks. Nusselt sayılarının bulunması için oldukça uygun çalışan simülasyon modelleri elde edilmiştir. Buna benzer modelleme mantığının benzer çalışmalarda kullanılmak üzere literatüre ışık tutacak türden bir yaklaşım olduğunu söylemek mümkündür.

Etik Beyan (Ethics Committee Approval)

Bu çalışma Doç. Dr. Aziz Hakan ALTUN danışmanlığında 2017 tarihinde sunulan “Borularda Türbülanslı Akışta Sinüzoidal Ondüleli Şerit Elemanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerine Etkileri” başlıklı yüksek lisans tezindeki verilerden faydalanılarak üretilmiştir.

Yazar Katkıları (Author Contributions)

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) A.H.A. (%60) – M.G. (%40)

Veri Toplama (CRediT 2) M.T. (%70) – A.B. (%30)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) A.H.A. (%50) – M.T. (%50)

Makalenin Yazımını (CRediT 12-13) A.H.A. (%30) – M.T. (%30) – H.Ç.S. (%20) – E.G. (%20)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi A.H.A. (%40) – H.Ç.S. (%30) – E.G. (%30)

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar, bu çalışma ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] E.M. Sparrow, K.K. Koram and M. Charmchi, Heat transfer and pressure drop characteristics induced by a slat blockage in a circular tube, *Journal of Heat and Mass Transfer*. 102(1) (1980), 64-70. doi:10.1115/1.3244250
- [2] E.M. Sparrow, A. Chaboki, Swirl-Affected turbulent fluid flow and heat transfer in a circular tube, *Journal of Heat and Mass Transfer*. 106(4) (1984), 766-773. doi:10.1115/1.3246750
- [3] M. Gürdal, Borularda Türbülanslı Akışta Sinüsoidal Ondüleli Şerit Elemanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerine Etkileri, Yüksek Lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 2017.
- [4] R. Sethumadhavan, M.R. Rao, Turbulent Flow Heat Transfer and Fluid Friction in Helical-Wire-Coil-Inserted Tubes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 26(12) (1983), 1833-1845. doi:10.1016/S0017-9310(83)80154-9
- [5] S.S. Hsieh, L.C. Chang, T.Y. Yang, Developing 3-D Turbulent mixed convection in a circular duct inserted with longitudinal strips, *International Journal of Engineering Science*. 39 (2000), 1327-1350. doi:10.1016/S0020-7225(00)00088-4
- [6] S. Eiamsa-ard, P. Promvonge, Experimental investigation of heat transfer and friction characteristics in a circular tube fitted with V-nozzle turbulators, *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 33 (2006), 591-600.
- [7] A. Tandiroglu, Effect of flow geometry parameters on transient heat transfer for turbulent flow in a circular tube with baffle inserts, *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 49 (2006), 1559-1567.
- [8] S. Eiamsa-ard, P. Promvonge, Heat transfer and turbulent flow friction in a circular tube fitted with conical-nozzle turbulators, *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 34 (2007), 72-82.
- [9] A.R. Anvari, R. Lotfi, A.M. Rashidi, S. Sattari, Experimental Research On Heat Transfer Of Water in Tubes With Conical Ring Inserts in Transient Regime, *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 38 (2011), 668-671.
- [10] A. Fan, J. Deng, J. Guo, W. Liu, A numerical study on thermo-hydraulic characteristics of turbulent flow in a circular tube fitted with conical strip inserts, *Applied Thermal Engineering*. 31 (2011), 2819-2828. doi:10.1016/j.applthermaleng .
- [11] A.H. Altun, M. Gürdal, A. Berber, The Effects of Different Amplitude Sinusoidal Corrugated Strip Elements on Heat Transfer in Pipes, 1st International Conference on Energy Systems Engineering Karabuk, Turkey, (2017), 460-465.
- [12] A. Pektaş, O. İnan, Ağaç tohum algoritmasının kümeleme problemlerine uygulanması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 4(1) (2022), 1-10. doi:10.47112/neufmbd.2022.8
- [13] M. Karakoyun, A. Özkış, transfer fonksiyonları kullanarak ikili güve-alev optimizasyonu algoritmalarının geliştirilmesi ve performanslarının karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 3(2) (2021), 1-10. doi:10.47112/neufmbd.2021.7
- [14] N. Akgüneş, B. Aydın, Harary Index for an Algebraic Graph, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1) (2023), 9-13. doi:10.47112/neufmbd.2023.5
- [15] M. Hacıbeyoglu, M. Çelik, Ç.Ö. Erdaş, K en yakın komşu algoritması ile binalarda enerji verimliliği tahmini, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5(2) (2023), 28-37. doi:10.47112/neufmbd.2023.10
- [16] M. Erişoğlu, N. Yaman, Ridge tahminine dayalı kantil regresyon analizinde yanlılık parametresi tahminlerinin performanslarının karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve*

Mühendislik Bilimleri Dergisi. 1(2) (2019), 103-111.

- [17] S. Ata, M.E. Boyacıoğlu, R. Şahin, A. Kahraman, ORÇ ile düşük sıcaklıklı ısı kaynaklarından elektrik üretilmesinde ıslak ve yeni nesil akışkanların çevresel ve termodinamik performanslarının karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 3(1) (2021), 13-23. doi:10.47112/neufmbd.2021.6
- [18] K. Erentürk, MATLAB-based GUIs for fuzzy logic controller design and applications to PMDC motor and AVR control, *Computer Applications in Engineering Education*. 13 (2005), 10-25. doi:10.1002/cae.20026
- [19] S.C. Chi, J.Y. Teng, A Fuzzy Q-Analysis taguchi method for parameter design with multiple quality characteristics, *Experimental Techniques*. 32 (2008), 36-45. doi:10.1111/j.1747-1567.2007.00185.x
- [20] P. Ray, B.J. Mac Donald, Determination of the optimal load path for tube hydroforming processes using a fuzzy load control algorithm and finite element analysis, *Finite Elements in Analysis and Design*. 41 (2004), 173–192. doi:10.1016/j.finel.2004.03.005
- [21] M. Tinkır, Ü. Önen, M. Kalyoncu, Modeling of Neuro-Fuzzy Control of A Flexible Link, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 224(5) (2010), 529–543. doi:10.1243/09596518JSCE785
- [22] F.B. Liu, A fuzzy approach to the convective longitudinal fin array design, *International Journal of Thermal Sciences*. 44 (2005), 211-217. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2004.08.004
- [23] M. Kastrevc, R. Pusenjak, Fuzzy Pressure Control of Hydraulic System with Gear Pump Driven by Variable Speed Induction ElectroMotor, *Experimental Techniques*, 29 (2005), 57-62.
- [24] A. Haşıloğlu, M. Yılmaz, Ö. Çomaklı, İ. Ekmekci, Adaptive neuro-fuzzy modeling of transient heat transfer in circular duct air flow, *International Journal of Thermal Sciences*. 43 (2004), 1075–1090. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2004.01.010
- [25] K. Güney, S.S. Gültekin, Artificial neural networks for resonant frequency calculation of rectangular microstrip antennas with thin and thick substrates, *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*. 25 (2004), 9-20. doi:10.1023/B:IJIM.0000045146.70836.ee
- [26] S.K. Jain, P.C. Nayak, K.P. Sudheer, Models for estimating evapotranspiration using artificial neural networks, and their physical interpretation, *Hydrological Processes*. 22 (2008), 2225-223. doi:10.1002/hyp.6819
- [27] D.D. Massie, P.S. Curtiss, Neural-network fundamentals for scientists and engineers, ECOS'01, Istanbul, Turkey, (2001), 4-6.
- [28] A. Parlak, Y. İslamoglu, H. Yaşar, A. Eğrisöğüt, Application of artificial neural network to predict specific fuel consumption and exhaust temperature for a diesel engine, *Applied Thermal Engineering*. 26 (2006), 824-828. doi:10.1016/j.applthermaleng.2005.10.006
- [29] P. Naphon, T. Arisariyawong, S. Wiriyaart, A. Srichat, ANFIS for analysis friction factor and Nusselt number of pulsating nanofluids flow in the fluted tube under magnetic field, *Case Studies in Thermal Engineering*. 18 (2020), 100605. doi:10.1016/j.csite.2020.100605
- [30] M. Esfandyari, A. A. Delouei, A. Jalai, Optimization of ultrasonic-excited double-pipe heat exchanger with machine learning and PSO, *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 147 (2023), 106985. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2023.106985
- [31] R. Beigzadeh, S. Eiamsa-ard, Fuzzy logic to thermal and friction characteristics of turbulent air-flow over diamond-shaped turbulators, *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 120 (2021), 105001. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.105001
- [32] M. S. V. Krishna, K. M. S. Begum, N. Anantharaman, Hydrodynamic studies in fluidized bed with internals and modeling using ANN and ANFIS, *Powder Technology*. 307 (2017), 37-45. doi:10.1016/j.powtec.2016.11.012

Sağlık Sektöründe İlaç Dağıtımını İçin Kullanılacak Olan Dronların Seçiminde ÇKKV Yöntemlerinin Uygulanması

Elif DEMİR ^{1*}  Esra BOZ ² 

¹ KTO Karatay Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalı, Konya, Türkiye

² KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

ÖZET

Geliş Tarihi: 28.02.2024
Kabul Tarihi: 24.04.2024
Yayın Tarihi: 31.12.2024

Anahtar Kelimeler:
Dron seçim problemi,
DEMATEL,
SWARA,
MAUT.

İnsansız Hava Aracı (İHA) genellikle uzaktan kumanda veya otomatik kontrol sistemleriyle yönlendirilen, insansız olarak uçabilen bir hava aracıdır. Dron olarak bilinen İHA'lar, ilk olarak hava araçlarında kullanılmak üzere oluşturulmuş ve ardından farklı alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Dronlar özellikle sağlık sektöründe giderek daha yaygın hale gelmektedir. Sağlık sektöründe, özellikle depolardan eczanelere ilaç teslimatı konusunda sürekli bir aciliyet söz konusudur. Bu yüzden günümüzde acil olarak sipariş edilen ilaçların kullanılması için dronlar tercih edilmeye başlanmıştır. Ancak, bu dronların kullanılmadan önce analiz edilmesi, incelenmesi ve uygun dronun seçilmesi gerekmektedir. Böylelikle Dron Seçim Problemi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada ilgili problem ele alınmış, problemin çözümünde ise Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri incelenmiştir. Bu yöntemler arasında DEMATEL ve SWARA yöntemleri kriter ağırlıklandırma için uygulanmış ve alternatiflerin sıralanması için MAUT yöntemi kullanılmıştır. Devamında, MAUT yöntemi ile bulunan sonuçlar analiz edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, merkez ilaç depolarından eczanelere ilaç dağıtım sürecinde kullanılan dronların seçiminde rol oynayan kriterleri ve önem düzeylerini belirlemek, ayrıca alternatifleri sıralayarak en uygun dronun seçilmesini sağlamak ve böylelikle hem alana hem de literatüre katkıda bulunmaktır.

Multi-Criteria Decision-Making Methods in the Selection of Drones to be Used for Drug Distribution in the Healthcare Sector

Article Info

ABSTRACT

Received: 28.02.2024
Accepted: 24.04.2024
Published: 31.12.2024

Keywords:
Drone selection problem,
DEMATEL,
SWARA,
MAUT.

An Unmanned Aerial Vehicle (UAV), commonly known as a drone, is an aircraft that can fly without a human pilot on board and is typically guided by remote control or automatic control systems. Originally developed for use in aircraft, drones have since found applications in various fields. Drones, particularly in the healthcare sector, are becoming increasingly prevalent. In the healthcare sector, there is a constant urgency, especially in the delivery of drugs from warehouses to pharmacies. Therefore, drones have started to be preferred for the urgent delivery of ordered medications today. However, before using these drones, it is necessary to analyze, examine, and select the appropriate drone. Thus, the Drone Selection Problem arises. This study addresses the relevant problem and examines Multi-Criteria Decision-Making methods for its solution. Among these methods, DEMATEL and SWARA methods are applied for criterion weighting, and the MAUT method is used for ranking alternatives. Subsequently, the results obtained with the MAUT method are analyzed. This study aims to determine the criteria and their importance levels that play a role in the selection of drones used in the distribution process of drugs from central drug depots to pharmacies, to rank the alternatives, and thus to contribute to both the field and the literature.

To cite this article:

Demir, E. & Boz, E. (2024). Sağlık sektöründe ilaç dağıtımını için kullanılacak olan dronların seçiminde ÇKKV yöntemlerinin uygulanması. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 374-392. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.54>

*Sorumlu Yazar: Elif Demir, elfdmr42@hotmail.com



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

"İnsansız Hava Aracı (İHA)" terimi, insanlar tarafından kullanılmayan, uzaktan kumandalı, otonom veya güdümlü hava araçlarını ifade etmektedir [1]. Dron olarak bilinen İHA' lar, ilk olarak hava araçlarında kullanılmak üzere üretilmiştir. Dronlar herhangi bir altyapıya ihtiyaç duymadan rahatlıkla hareket edebilen, tehlikeli bölgelere kolay ulaşabilen yolcusuz araçlar olduğundan dolayı, yerden ve enerjiden tasarruf sağlamaktadır [2]. Dronlar mükemmel hareket kabiliyeti ve özellikleri nedeniyle lojistik, savunma, gözetleme, tarım, sağlık, arama kurtarma ve eğlence sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. Bazı örnekler: 2008 yılında Katrina Kasırgası'nın ardından ABD'de dron, askeri amaçlar dışında insani amaçlarla da kullanılmaya başlandı [4]. Bu olay nedeniyle dronlar insanlığa hizmet aracı olarak görülmeye başlandı. Daha sonra 2010 yılında Parrot şirketi, akıllı telefondan çalıştırılabilen, görüntü ve video kayıt özelliklerine sahip bir dron tanıttı [5]. Dronlar ilk kez 2014 yılında film, televizyon ve yapım şirketleri tarafından görsel yayınlarda kullanıldı [6]. Facebook, en uzak noktalara bile internet olmadan internet sunabilmek için 2017 yılında güneş enerjisiyle çalışan dronlar geliştirmeye başladı [7]. Dronlu bir güvenlik sistemi, ormanlardaki fil popülasyonlarını korumak amacıyla 2018 yılında Hindistan' da geliştirilmiştir. Zipline firması, 2016 yılında Afrika'nın Ruanda eyaletinde ilaç dağıtımına başlamıştır. Ayrıca, Matternet firması, 2012 yılında Haiti'deki mülteci kamplarına ilaç göndermek için insansız hava araçlarını kullanmaya başlamıştır. Bu kullanımın bulguları, iki kilogramlık bir kargoyu on kilometrelik bir mesafeye ulaştırmanın çok pahalı olduğunu göstermektedir [8]. Zipline, dron ile daha uzun mesafeler taşımanın daha etkili olduğunu keşfetmiş ve günde ortalama 1400 kan örneği Ruanda'daki dağıtım merkezine 75 km mesafede bulunan hastanelere taşımıştır [9]. ABD ve diğer ülkeler, Zipline'in dron taşımacılığıyla Ruanda'da nüfusun %90' ından fazlasına ulaşma yeteneğine sahip olduğu için bu hizmeti kullanmaya teşvik edilmiştir [10]. Sağlık sektöründe acil durumlarla karşılaşılması, özellikle depolardan eczanelere ilaç tedarikinin hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi, eczaneler için oldukça önemlidir. Bu nedenle günümüzde özellikle acil ilaç siparişleri için dron kullanımı tercih edilmeye başlanmıştır. Ancak bu dronların kullanımından önce, eczacıların ihtiyaçları doğrultusunda kapsamlı bir analiz ve inceleme sürecini tamamlamaları gerekmektedir. Bu analiz ve inceleme doğrultusunda verilmesi gereken karar, ilaç teslimatında kullanılacak olan dronun uygunluğu kararıdır. Böylelikle Dron Seçim Problemi ortaya çıkmış olmaktadır.

Bu çalışmada Dron Seçim Problemi incelenmiş olup, problemin çözümünde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmıştır. ÇKKV yöntemleri arasından ağırlıklandırma için kullanılan yöntemlerden olan DEMATEL ve SWARA yöntemleri uygulanmış ve seçilen kriterlerin önem ağırlıkları iki yöntemle de ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu çalışmada ilk olarak, eczacıların dron seçerken önem verdikleri hususların belirlenmesi amaçlanmış ve DEMATEL yöntemi kullanılarak en etkili ve en etkisiz kriterler belirlenmiştir. Bu kriterlerin belirlenmesi için eczacı ve ecza deposunda görevli beş uzman kişinin görüşüne başvurulmuştur. Uzmanlar seçilirken, uzun süredir sektörde çalışmış olmalarına dikkat edilmiştir. Çünkü tecrübeli eczacılar ve ecza deposu çalışanları, kriterlerin ne kadar önemli olduğunu daha iyi anlayabilmekte ve bu kriterleri seçerken derinlemesine analiz edebilmektedir.

Bu çalışmada uygulanan yöntem olan DEMATEL yöntemi, karmaşık bir yapısal modeldeki faktörler arasında nedensellik ilişkilerini kurarak ve analiz ederek sistemin etkisini değerlendirmeye yardımcı olan kapsamlı bir yöntemdir [11]. Ayrıca bu çalışmada SWARA yöntemi ise kriterlerin oransal olarak birbirlerine olan üstünlüklerin hesaba katılmasına dayanan bir kriter ağırlığı belirleme yöntemidir [11]. Bu çalışmada SWARA yöntemine başvurulmasının nedeni, bu yöntemin uzmanların sürece katılmalarını sağlamasıdır [11]. Bu yaklaşımın uygulanması için beş uzman görüşü alınmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Sonuç olarak, kriterlerin ağırlıkları DEMATEL ve SWARA yöntemlerini kullanarak elde edildikten sonra Ağırlık Ortalama yöntemi kullanılmıştır. Sonuca ulaşmak için dron alternatiflerinin (seçeneklerinin) sıralanması, ÇKKV

yöntemlerinden biri olan MAUT yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MAUT yöntemi sistematik bir yaklaşımdır ve bir karara varmak, ortak bir temel sağlamak için bir dizi değişkeni tanımlar ve analiz eder [11]. Böylece, sonuç olarak yedi farklı alternatif arasından en iyisi seçilmiştir.

Mevcut literatürde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri konusunda oldukça fazla çalışma bulunmaktadır [12,13,14]. Ayrıca, ecza depolarından eczanelere ilaç taşınmasına yönelik olarak dron seçimi ile ilgili bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Belirtilen süreç de sağlık sektöründe uygulanmaktadır ancak özele inildiği zaman diğer süreçlerle birbirinden farklı durumdadır. Bu yüzden bu çalışma literatürde ecza depoları ile eczaneler arasındaki ilaç taşınmasında kullanılan dronların seçimine yönelik literatürde ilk çalışmadır. Bu çalışma ile, dron seçimi için oluşturulan bazı kriterler literatüre eklenmiştir. Ayrıca, DEMATEL, SWARA ve MAUT yöntemleri bütünsel olarak ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır. Bu yöntemlerin bir arada kullanılması; problemin daha kapsamlı olarak incelenmesini, çıktıların daha güvenli olmasını, karar alma sürecinin daha esnek ve uyarlanabilir olmasını sağlar. Dahası bu durumda kriterler daha etkin bir şekilde yönetilebilir, böylelikle karar alma süreci daha geniş bir perspektif kazanır. Hem literatürdeki hem de alandaki dron çeşitleri arttıkça, dronların seçimi ile ilgili de bir karmaşa oluşmaktadır. Bu yüzden bu çalışmanın öncelikli amacı bu karmaşayı gidermek, özellikle sağlık sektöründe eczanelerde kullanılacak olan dronun seçimi için literatüre katkıda bulunmak ve ilgili alandaki uzmanlara da destek olmaktır.

Bu çalışmanın dayandığı araştırma sorunları aşağıda belirtildiği üzeredir:

1. Ecza depolarından eczanelere ilaç dağıtımı sürecinde dronlar ile dağıtım yapılması durumunda kullanılacak olan dronların seçiminde etki eden kriterler neler ve bu kriterlerin önem düzeyleri nedir?
2. Dron seçimi için yeni bir ÇKKV yaklaşımı önerilebilir mi?
3. Mevcut bulunan alternatif dronlar arasından karar verici görüşlerine göre Dematel, Swara ve Maut yöntemlerinin entegre olarak kullanılması ile hangi dron seçilir?

Bu çalışma izleyen şekilde belirtildiği üzere ilerlemektedir: İkinci bölümde literatür taraması sunulmuş, literatürde mevcut bulunan çalışmalar aktarılmış ve bu çalışmaların literatüre katkıları da ayrıca belirtilmiştir. Sonraki bölümde kriter seçiminden bahsedilmiş, kriterlerin neler olduğundan ve nasıl belirlendiği ifade edilmiştir. Ardından, çalışmada kullanılan ÇKKV yöntemleri ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Devamında bulgulara yer verilmiş, yöntemlerden ayrı ayrı elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Son olarak sonuç bölümünde belirtildiği gibi çalışmanın sonucu, kısıtlılıkları ve gelecek çalışmalar için öneriler yer almaktadır.

LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Literatürde dron özelinde yapılan pek çok çalışma bulunmaktadır. Ancak bunlar genellikle bir dronun teknik konuları ile ilgili olmakla birlikte dronun dağıtım problemlerinde kullanılmasıyla ilgili olabilmektedir. Yapılan alan araştırması kapsamında aşağıda belirtilen çalışmalara ulaşılmaktadır. Ancak burada verilen çalışmalar örnek niteliğinde olup literatürün tamamı eklenmemiştir.

Kahveci ve Can [15] tarafından yürütülen çalışmada İHA' lara yönelik çeşitli araştırmalarda bulunulmuştur. Yazarlar İHA' ların yasal çerçeveleri konusunda toplu çalışmaları inceleyerek, Türkiye ve Dünyadaki İHA mevzuatına ilişkin durumu belirlemiş; askeri, sivil ve bilimsel amaçlı kullanımlarının gelecekte daha fazla gündeme geleceğini ifade etmişlerdir. Koshta vd. [16] tarafından yürütülen çalışmada, Covid-19 nedeniyle ülkelerin karantinaya alınması ve ulaşım araçlarının malları satıcıdan alıcıya taşıma konusunda zorluk yaşaması nedeniyle, insanların dronlar aracılığıyla gıda, ilaç ve diğer temel ihtiyaçlara erişmesini ele almışlardır. Singireddy vd. [17] tarafından yürütülen çalışmada Amazon'un en yeni hizmeti olan Amazon Prime Air evlere 30 dakikalık teslimat sunan dronlarına

yönelik bir teknoloji yol haritası oluşturmasını ele almışlardır. Çalışma neticesinde dronların mümkün olan her konuda insanlara yardımcı olabildiği kanıtlanmıştır. Koiwanit [18] tarafından yürütülen çalışmada Tayland'da dron teslimatına ilişkin bir yaşam döngüsünü incelemiştir. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi yöntemi olan CML2001 çalışmada kullanmış ve sonuç olarak dron teslimatını kullanan çevrimiçi alışveriş sistemlerinin en çevre dostu tedarik seçeneklerinden biri olduğuna ulaşılmıştır. Yoo vd. [19] tarafından yürütülen çalışmada 296 ABD'li tüketicinin katılım sağladığı çevrimiçi anket aracılığıyla dron teslimat hizmetine yönelik tüketicilerin tutum ve niyetlerini etkileyen faktörlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu anket sonucunda performans ve gizlilik riskinin yanı sıra hız ve çevre dostu olması dron teslimatının belirlenmesinde olumlu etkiye sahip olduğu, ancak müşterinin ikamet ettiği bölgeye göre farklılıklar oluşturacağı sonucuna varılmıştır. Rabta vd. [20] tarafından yürütülen çalışmada sağlık ekiplerinin ulaşılması zor konumlara tıbbi yardımlarda dron kullanım uygulaması ele alınmıştır. Çalışmada tıbbi yardım malzeme paketinin teslimatına yönelik bir optimizasyon modeli sunulmuştur. Bu model doğrultusunda taşıma mesafesinin uzatılmasına yönelik şarj istasyonlarının kurulması gerektiği ifade edilmiştir. Yılmaz [21] tarafından yürütülen çalışmada beklenmeyen afet olaylarına karşın etkilerin analiz edilmesi ve izlenmesi için İHA araçlarının kullanım alanları belirlenmiştir. Bu araştırma ile; insani yardım lojistiği ve insani yardım araçlarının mevcut ve olası kullanımları hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca coğrafik engellerle başa çıkmanın yolları ve İHA araçlarının kullanımı araştırılmıştır. Hi vd. [22] tarafından yürütülen çalışmada dron teslimatında taşınacak ilaçların kalitesi üzerindeki etkisi test edilmiştir. Tıbbi ürünlerin dron ile taşınmasının mümkün olduğuna dair destekleyici kanıtlar sunulmuştur. Yapılan testlerin güvenli uçuş süresinin ve menzilin, uçuş sonrası ilacın kalitesinin, ilacın uçakta yaşadığı koşulların, dron tedarik zincirinin güvenliğinin ve dron arızasının hem ilaç hem de çevre üzerindeki etkisinin belirlenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Raj ve Sah [23] tarafından yürütülen çalışmada, dron kullanımı trafik yoğunluğunu önleyerek teslimat süresini kısaltabilir ve bilinen ulaşım yöntemlerine kıyasla karbon ayak izini azaltabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Zailani vd. [24] tarafından yürütülen çalışmada sağlık sisteminde tıbbi malzemelerin dağıtımının çok büyük bir potansiyele sahip olduğu düşünüldüğünde, dron taşımacılığının anne sağlığı üzerindeki olumlu etkisine dair bilimsel kanıtlar incelenmiştir. Chung [25] tarafından yürütülen çalışmada sivil uygulama alanlarında dron ve kamyon operasyonlarının optimizasyonu ile ilgili yöntemler araştırılmıştır. Ergunşah ve Koşunalp [26] tarafından yürütülen çalışmada İHA'ların gelişen teknolojiyle birçok alana yayılması detaylı bir şekilde incelenmiş ve İHA'lara genel bir değerlendirme yaparak önemli hususlar ve İHA'ya dayalı çevresel uygulamalar sunulmuştur. Bu çalışma İHA alanında çalışma yapacak araştırmacılara temel bilgileri kazandırıp yol gösterici olmayı amaçlamaktadır. Osakwe vd. [27] tarafından yürütülen çalışmada gelecek yıllarda dron kullanımı göz önünde bulundurularak Avrupalı Y kuşağı tüketicilerinin dron kullanımındaki tercihlerine yönelik tutum ve arzularının etkisi araştırılmıştır. Zhu vd. [28] tarafından yürütülen çalışmada beklenmedik bir felaketin ardından İHA'ların acil yardım malzemelerini ihtiyaç duyulan yerlere nasıl dağıtılacağı araştırılmıştır. Rave vd. [29] tarafından yürütülen çalışmada birden fazla eczanenin tedarikçisi olan bir toptancının ilaçların acil teslimatı için dronları entegre etmeyi planladığı bir sorun üzerinde durulmuştur. Bu sorunun sonuçları doğrultusunda en az %91,4'lük bir tedarik oranı ve hizmet seviyesi ile %19,6'ya kadar maliyet tasarrufu elde edildiği, öte yandan talep artması ve dron özelliklerinin iyileştirilmesiyle %99'un üzerinde tedarik oranı ve hizmet seviyesi ile maliyetler %51,7'ye kadar azaltılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Atılğan ve Bozkurt [30] tarafından yürütülen çalışmada dron aracılığıyla ürün tedarikine ilişkin değişkenlerin tüketici tutum ve tavırları üzerindeki etkisi incelemiş, 294 bireyle yapılan anket sonucunda istatistiksel analizler yapılmıştır. Aktaş ve Kabak [31] tarafından yürütülen çalışmada teslimat operasyonları için kullanılacak olan dronun seçimine odaklanılmış ve bu seçim için ÇKKV yöntemlerinden olan WASPAS yöntemine dayanan bir analitik model önerilmiştir.

İncelenen çalışmalar ışığında, genel olarak bakıldığında literatürde dron özelinde pek çok çalışma olduğu tespit edilmiştir. Sağlık sektörü olarak incelendiği zaman ise hastalara dron ile ilaç taşıma, müşteri beklentileri, sağlık sektöründe dron seçimi gibi çalışmaların olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, özele inildiği zaman, bu çalışmada yapıldığı gibi ecza depolarından eczaneler arasındaki taşımalar için dron seçimine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışma, bu spesifik noktayı aydınlatmayı amaçlamaktadır.

KRİTER SEÇİMİ (SELECTION OF CRITERIA)

İlaç dağıtımı için kullanılacak olan dron seçimi için ilgili alanın araştırılması esnasında, çok az çalışmaya rastlanmış olup ilgili makalelerden kriterler incelenmiş ve uzman kişilerle görüşülerek bir son kriter yapısı oluşturulmuştur. Bu görüşmeler ecza depolarından eczanelere ilaç teslimatı sürecinde dikkate alınması gereken hususları ve teslimat sürecinde yapılacak iyileştirmeleri kapsamaktadır. Bu bağlamda Tablo 1’de verildiği üzere genel anlamda; hız, ağırlık, uçuş süresi, fiyat, engel sensörü, otomatik rota ve boyut olmak üzere yedi ana kriter oluşturulmuştur.

Tablo 1

Kriter tanımları

KRİTER	TANIM	ÇALIŞMA	YÖN
Hız (C1)	Depo ile eczane arasında geçen süreyi etkilemektedir. İlaç ihtiyacı acil olabilmesinden dolayı, hız önemli bir faktördür.	[32]	Fayda
Ağırlık (C2)	Dronun taşıyabileceği maximum ağırlık kapasitesi	[32]	Fayda
Uçuş Süresi (C3)	Dronun ecza deposu ile eczane arasında ilaç ulaştırmak için geçirdiği süre.	[32], [33]	Fayda
Fiyat (C4)	Dronu satın alacak kişinin karşılığında ödemek zorunda olduğu meblağ.	[32], [33]	Maliyet
Engel Sensörü (C5)	Dronların uçuşu esnasında karşılaşacakları engeller karşısında devreye giren sensörü ifade etmektedir. Araç engelle ne kadar duyarlı olursa o kadar sağlıklı bir uçuş gerçekleştirir.	Uzman görüşü	Fayda
Otomatik Rota (C6)	Dronların programlanan koordinatları takip ederek otomatik bir şekilde belirli doğrultularda ilerlemesidir.	Uzman görüşü	Fayda
Boyut (C7)	İlaç taşımada kullanılacak dronların boyutu taşınacak ilaçla doğru orantılı olduğu için önemli bir kriterdir.	[32]	Fayda

YÖNTEMLER (METHODS)

Bu çalışmada, ilaç dağıtımı için kullanılacak olan dronların seçiminde ÇKKV yöntemlerden üç yöntem bütünsel olarak uygulanmaktadır. Bu yöntemler içerisinde ilk olarak DEMATEL ve SWARA yöntemi kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Bu yöntemlerin tercih edilmesinin sebebi kriterlerin neden-sonuç ilişkilerini, ikili karşılaştırmaya dayanarak AHP yöntemine göre oldukça az sayıda karşılaştırma ile sonuca ulaşılıyor olmasıdır. Bu iki yöntemle ayrı ayrı belirlenen kriterlerin ağırlıklarının ortalaması Puan Ortalama Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen ortak kriter ağırlıklarının sıralanması için MAUT yöntemine başvurulmuştur. MAUT yöntemi çok sistematik bir yöntem olup bir karar verme probleminde kriterler arasında denge ve uzlaşma sağlamak için etkili ve kabul edilebilir bir çözüm sağlar. Kullanılan üç yöntemin sonuçları doğrultusunda dron seçim problemi için ilgili çözüm uygulanmıştır.

DEMATEL ile Kriter Ağırlıklandırma

DEMATEL, özellikle karmaşık bir yapısal modeldeki faktörlerin nedensellik ilişkilerini kurarak ve analiz ederek sistemin etkisini değerlendirmeye yardımcı olan bir yöntemdir [34]. DEMATEL yönteminde dolaylı ilişkiler, uzlaşmacı bir neden-sonuç modeli kullanır. Bu, karmaşık sistemlerin

neden-sonuç ilişkilerini daha iyi kavrayabilir ve analiz edebilir [35]. Bu yaklaşım, uzmanların bilgisi kullanılarak yapısal bir modelin geliştirilmesi ve analiz edilmesi için kullanılır [36]. DEMATEL, kriter ağırlıklarını belirlemede başarılı olsa da alternatiflerin derecelendirilmesi için ÇKKV yöntemleriyle birlikte kullanılması çok daha uygundur.

DEMATEL yöntemi altı adımdan oluşmaktadır [37];

Adım 1: Direkt İlişki Matrisi

İlk adımda, uzmanların kriterler arasındaki ilişkiyi değerlendirebilmesi için ikili karşılaştırma ölçeği kullanılır. Elde edilen değerler matrisi yerleştirilir ve böylece köşegenleri sıfır olan asimetrik bir matris oluşturulur. Oluşturulan matris direkt ilişki matrisi (X) olarak adlandırılır.

$$X = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 2: Toplam ilişki matrisi

Direkt ilişki matrisini elde ettikten sonra Eşitlik (2)'de gösterildiği gibi, her sütun ve satır için en yüksek değer bulunur.

$$S = \max (\max \sum_{i=1}^n X_{ij}, \sum_{i=1}^n X_{ij}) \quad (2)$$

Adım 3: Eşitlik (3) ile gösterildiği gibi C matrisi birim matristen çıkarılır, tersi alınır ve ardından tekrar C matrisi ile çarpılır.

$$F = C + C^2 + C^3 + \cdots + C^H = C(1 - C)^{-1} \quad (3)$$

Bunun sonucunda toplam ilişki matrisi (F) bulunur.

Adım 4: Bu adımda, toplam ilişki matrisi (F), etkileyen ve etkilenen faktör gruplarını bulmak ve net etki derecelerini hesaplamak için bulunur. Daha sonra, satır ve sütun toplamaları gösterilir.

Her bir kriter için bu değerlerin hesaplanması gerçekleştirilir. Satırların toplamı (Di) ve sütunların toplamı (Ri), bir kriterin diğer kriterlerin toplamını doğrudan veya dolaylı olarak etkilediğini ifade etmektedir. Kriterler özelinde Di+Ri gönderilen ve alınan etki değerinin yanı sıra Di-Ri kriterinin sistem üzerindeki toplam etkisini gösterir. Di+Ri kriterin sistem içinde ne kadar önemli olduğunu gösterir. Di-Ri değeri pozitif olduğunda etkileyen, negatif olduğunda etkilenen anlamına gelir.

Adım 5: Kriter ağırlıklarını elde etmek için kökteki Di+Ri ve Di-Ri karesinin toplamı alınır.

$$W_i \sqrt{(D_i + R_i)^2 + (D_i - R_i)^2} \quad (4)$$

Devamında, her bir ağırlık, toplam ağırlık miktarına bölünür.

$$W_i \frac{W_{ia}}{\sum_{i=1}^n W_{ia}} \quad (5)$$

Böylece kriter ağırlıkları belirlenebilir. Devamında kriterlerin ağırlıklarına göre faktörler sırası bulunur.

Adım 6: Bu aşamada etki yönünün dağılım diyagramını çizmek için matrisin eşiğini belirlemek gerekir. Eşik değerleri uzmanlar tarafından bulunabilir; ancak böyle bir durum yapılamadığında ise toplam ilişki matrisi ortalamasına ulaşılabilir.

SWARA ile Kriter Ağırlıklandırma

Keršulienė, Zavadskas ve Turskis tarafından 2010 yılında geliştirilen SWARA yöntemi literatürde uzman odaklı olarak bilinen bir yaklaşımdır. ÇKKV problemlerinde kriter ağırlıklarının

belirlenmesi için son zamanlarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir [38]. SWARA, uzmanların değerlendirme kriterlerinin önem oranı ile ilgili görüşlerini karar verme sürecine dahil etmelerine izin verir, bu yöntemin temelini oluşturan uzmanların belirledikleri önem oranlarıdır [39]. SWARA yöntemi beş adımdan oluşmaktadır [40-42];

Adım 1. Kriterlerin önemliliklerine göre sıralanması: Kriterler beklenen önemleri göz önünde bulundurularak azalan (önemliden önemsizye doğru) bir şekilde sıralanır.

Adım 2. Kriterlerin başlangıç önceliklerinin belirlenmesi: Karar verici, ikinci kriterden başlayarak her bir kriterin kendinden önceki veya daha önemli olduğu düşünülen kriterlere göre (0,1] aralığında değerlendirilir. Değerlendirilmenin “1” olması kriterlerin eşit önemde olduğu anlamına gelir. Sonuç olarak s_j değeri elde edilmiş olur.

Adım 3. K_j katsayısının hesaplanması: Üçüncü adımda k_j değeri aşağıdaki Eşitlik (6) aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (6)$$

Adım 4. Başlangıç ağırlıklarının tespiti: Eşitlik (7) aracılığıyla q_j önem ağırlığı elde edilir.

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (7)$$

Adım 5. Göreli ağırlıkların hesaplanması: Son adımda ise kriterlerin önem ya da göreceli ağırlıkları Eşitlik (8) aracılığıyla bulunur. Burada n , kriter sayısını gösterir.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (8)$$

MAUT ile Alternatiflerin Sıralanması

MAUT (Multi Attribute Utility Theory) yöntemi karar vermede birden çok ve birbiriyle çatışan kriterlere sahip olan problemlere yönelik maksimum fayda sağlayarak ortak bir sonuca ulaşmak için kullanılan çok kullanışlı bir yöntemdir. Literatürde MAUT, risk tercihlerinin ve belirsizliğin ÇKKV yöntemlerine nasıl dahil edileceğine dair daha titiz bir yaklaşım olarak kabul edilir [43].

MAUT yönteminde nitel kriterler, nicel değerlere dönüştürülerek işleme dahil edilir, kriterler birbirinden bağımsız bir şekilde telafi edici yöntem olarak ele alınır. Bu yöntemin avantajı, sonucu daha doğru ve gerçekçi hale getirmesi için karar vericilere hareket özgürlüğü sağlaması ayrıca belirsizliği dikkate alıp kapsamlı olması ve sürecin her adımında her sonucun tercihlerini hesaba katma ve dahil etme yeteneğine sahip olmasıdır. MAUT yöntemi altı adımdan oluşmaktadır [43];

Adım 1. Kriterlerin ve Alternatiflerin Oluşturulması: İlk olarak kriterler ve karar verme sürecine yardımcı olacak kriterler veya alternatifler belirlenmelidir.

Adım 2. Ağırlık Derecelerinin Belirlenmesi: Ağırlık değerleri (w_i), alternatiflerin doğru olarak değerlendirilmesini sağlar. w_i değerinin toplamının 1'e eşit olması gerekmektedir.

$$\sum_i^m w_j = 1 \quad (9)$$

Adım 3. Karar Matrisi: Kriterlerin değer ölçüleri belirlenir. Nitel kriterler için ikili karşılaştırmalar dikkate alınırken, nicel kriterler için nicel değerler dikkate alınarak bu seçimler yapılır.

Adım 4. Normalize Edilmiş Fayda Değerlerinin Hesaplanması: Değerler yerleştirildikten sonra karar matrisine atanan normalize etme süreci başlar. Öncelikle, her nitelik için en iyi ve en kötü değerler belirlenir. Diğer değerlerin hesaplanması için en yüksek değer 1, en düşük değer 0'dır ve aşağıdaki Eşitlik (10) kullanılır.

$$u_i(x_i) = \frac{x - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \quad (10)$$

Adım 5. Toplam Fayda Değerinin Hesaplanması: Fayda değerlerinin belirlenmesi, normalizasyon işleminin hemen ardından gerçekleştirilir. Yarar fonksiyonu Eşitlik (11) kullanılarak çözülür.

$$U_{(x)} = \sum_i^m u_i(x_i) * w_j \quad (11)$$

Adım 6. Alternatiflerin Sıralanması: Kriterlerin ağırlığı toplanır ve en iyi alternatif sıralaması seçilir.

BULGULAR (FINDINGS)

Bu çalışma, ecza depolarından eczanelere ilaç tedarikinde kullanılacak olan dron seçimi uygulamasını incelemektedir. Detaylı alan incelemeleri ve uzman görüşmeleri sonucunda tercih edilecek olan dron seçimine yönelik yedi kriter belirlenmiştir. Bu kriterler sırasıyla Hız (C1), Ağırlık (C2), Uçuş Süresi (C3), Fiyat (C4), Engel Sensörü (C5), Otomatik Rota (C6) ve Boyut (C7) olarak belirlenmiştir. Bu bölümde değerlendirme yapabilmek için alanında uzman ve 10 yıldan fazla bir süredir ecza deposunda çalışan iki uzman görüşü, en az 15 yıl tecrübeye sahip üç eczacı ile görüşülmüştür. Karar vericilerin nitelikleri aşağıda belirtildiği üzeredir:

Karar Verici 1: Üniversitelerin eczane hizmetleri bölümünden mezun, yerli bir ecza deposunda operasyon müdürü olarak görev yapmaktadır. 12 yıllık ecza deposu tecrübesine sahiptir.

Karar Verici 2: Yerli bir ecza deposunda lojistik müdürü olarak görev yapmaktadır. Lojistik sektöründe 10 yıldır ve çalıştığı ecza deposunda dört yıllık iş tecrübesine sahiptir.

Karar Verici 3: Eczacılık fakültesinden mezun, doktorasını bitirmiş ve bu sektörde 23 yıllık tecrübeye sahiptir.

Karar Verici 4: Eczacılık fakültesinden mezun ve bu sektörde 17 yıllık tecrübeye sahiptir.

Karar Verici 5: Eczacı hizmetleri yüksekokulundan mezun, eczanede kalfa olarak çalışmaktadır. Bu sektörde 15 yıllık tecrübeye sahiptir.

DEMATEL Yöntemi Sonuçları

Beş uzman görüşünün ikili karşılaştırmalar ölçeği ile yapmış olduğu değerlendirmelerin ortalamaları alınarak kriterlerin birbirini hangi ölçüde etkiledikleri tespit edilmiştir. İkili karşılaştırmalar 0-4 aralığında yapılmış olup, değer tanımları Tablo 2'de belirtilmiştir [44], ayrıca ilgili karar matrisi

Tablo 3'te ifade edilmiştir.

Tablo 2

İkili karşılaştırma değer tanımları [42]

DEĞER	TANIM
0	Etkisiz
1	Düşük Etki
2	Orta Dereceli Etki
3	Yüksek Etki
4	Çok Yüksek Etki

Tablo 3

İlişki matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Sütun T.
C1	0	2	3	3	1	1	4	14
C2	3	0	2	4	1	1	1	12
C3	3	4	0	3	2	2	4	18
C4	1	2	2	0	1	1	3	10
C5	2	4	3	4	0	2	3	18
C6	2	4	3	4	2	0	3	18
C7	1	2	1	2	1	1	0	8
Satır T.	12	18	14	20	8	8	18	

Karar matrisindeki sayılar, matrisin satır ve sütun toplamlarındaki en yüksek değer olan 20 sayısına bölünmüş ve Tablo 4'teki normalize edilmiş doğrudan ilişki matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 4

Normalize edilmiş doğrudan ilişki matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0,000	0,100	0,150	0,150	0,050	0,050	0,200
C2	0,150	0,000	0,100	0,200	0,050	0,050	0,050
C3	0,150	0,200	0,000	0,150	0,100	0,100	0,200
C4	0,050	0,100	0,100	0,000	0,050	0,050	0,150
C5	0,100	0,200	0,150	0,200	0,000	0,100	0,150
C6	0,100	0,200	0,150	0,200	0,100	0,000	0,150
C7	0,050	0,100	0,050	0,100	0,050	0,050	0,000

Tablo 5, birim matrsten normalize edilmiş doğrudan ilişki matrisinin değerlerini çıkararak toplam ilişki matrisini elde etmek için kullanılmıştır. Tablo 6'da gösterildiği gibi, elde edilen değerlerin tersi alınarak ters matris oluşturulmuştur. Tablo 7'de gösterilen toplam etki matrisi, normalize edilmiş doğrudan ilişki matrisindeki değerler ile ters matrisin çarpılması yoluyla oluşturulmuştur.

Tablo 5

Toplam ilişki matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1,000	-0,100	-0,150	-0,150	-0,050	-0,050	-0,200
C2	-0,150	1,000	-0,100	-0,200	-0,050	-0,050	-0,050
C3	-0,150	-0,200	1,000	-0,150	-0,100	-0,100	-0,200
C4	-0,050	-0,100	-0,100	1,000	-0,050	-0,050	-0,150
C5	-0,100	-0,200	-0,150	-0,200	1,000	-0,100	-0,150
C6	-0,100	-0,200	-0,150	-0,200	-0,100	1,000	-0,150
C7	-0,050	-0,100	-0,050	-0,100	-0,050	-0,050	1,000

Tablo 6*Ters matris*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1,171	0,329	0,319	0,397	0,164	0,164	0,423
C2	0,286	1,211	0,264	0,413	0,151	0,151	0,278
C3	0,354	0,476	1,244	0,479	0,238	0,238	0,487
C4	0,177	0,269	0,230	1,200	0,135	0,135	0,315
C5	0,318	0,484	0,380	0,525	1,151	0,242	0,452
C6	0,318	0,484,	0,380	0,525	0,242	1,151	0,452
C7	0,154	0,237	0,166	0,258	0,118	0,118	1,150

Tablo 7*Toplam etki matrisi*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0,171	0,329	0,319	0,397	0,164	0,164	0,423
C2	0,286	0,211	0,264	0,413	0,151	0,151	0,278
C3	0,354	0,476	0,244	0,479	0,238	0,238	0,487
C4	0,177	0,269	0,230	0,200	0,135	0,135	0,315
C5	0,318	0,484	0,380	0,525	0,151	0,242	0,452
C6	0,318	0,484	0,380	0,525	0,242	0,151	0,452
C7	0,154	0,237	0,166	0,258	0,118	0,118	0,150

Tablo 8’de toplam etki matrisindeki satır (D) ve sütun (R) toplamaları alınarak D, R, Di+Rj ve Di-Rj değerleri bulunmuştur. Böylece etkileyen ve etkilenen kriterler belirlenmiştir. Yine toplam ilişki matrisinin aritmetik ortalaması alınarak 0,286 eşik değeri elde edildi. Tablo 9 toplam etki matrisinde eşik değerin üzerindeki değerlere dikkat çekiyor.

Tablo 8*Toplam etki matrisi*

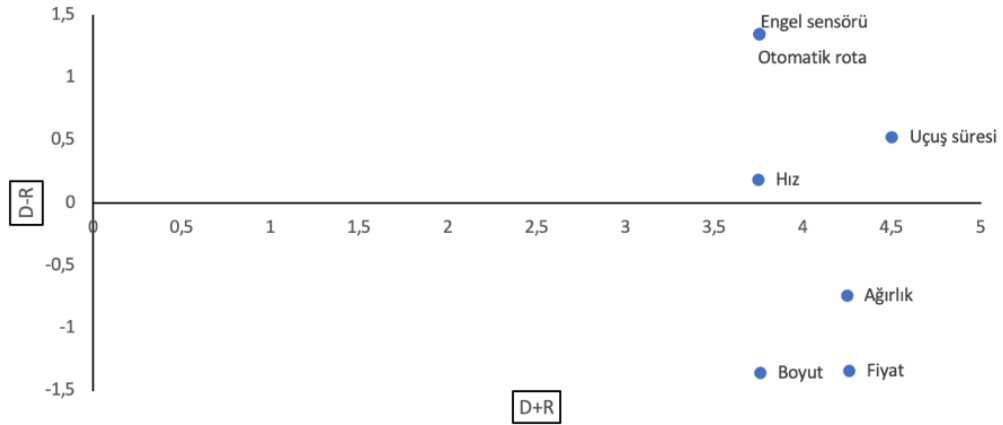
	D	R	D+R	D-R	Etki Grubu
C1	1,967	1,778	3,746	0,189	Etkileyen
C2	1,754	2,490	4,244	-0,735	Etkilenen
C3	2,516	1,983	4,499	0,533	Etkileyen
C4	1,461	2,797	4,258	-1,337	Etkilenen
C5	2,552	1,199	3,752	1,353	Etkileyen
C6	2,552	1,199	3,752	1,353	Etkileyen
C7	1,201	2,556	3,757	-1,355	Etkilenen

Tablo 9*Eşik değerinin üzerindeki değerler*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0,171	0,329	0,319	0,397	0,164	0,164	0,423
C2	0,286	0,211	0,264	0,413	0,151	0,151	0,278
C3	0,354	0,476	0,244	0,479	0,238	0,238	0,487
C4	0,177	0,269	0,230	0,200	0,135	0,135	0,315
C5	0,318	0,484	0,380	0,525	0,151	0,242	0,452
C6	0,318	0,484	0,380	0,525	0,242	0,151	0,452
C7	0,154	0,237	0,166	0,258	0,118	0,118	0,150

D-R kriterlerinde negatif değerli olanlar diğer kriterlere göre daha fazla etkilenir. D-R’deki pozitif değerli kriterler (hız, uçuş süresi, engel sensörü ve otomatik rota), (fiyat ağırlık ve boyut) gibi diğer kriterleri daha fazla etkiler. Bu etkileri gösteren etki diyagramı Şekil 1’ de ifade edilmiştir. Diğer kriterleri en fazla etkileyen kriterler 1,353 değeri ile “engel sensörü ve otomatik rota” olmuştur. Diğer kriterler ağırlık, fiyat ve boyuttan etkilenir. Boyut kriteri-1,355 değeri ile en büyük etkiyi gösterir. Elde

edilen sonuçlar doğrultusunda kriterlerin önem ağırlıkları Tablo 10’da verilmiştir.



Şekil 1
Dematel etki diyagramı

Tablo 10
DEMATEL yöntemi kriter ağırlıkları

Kriterler	w_i
C1	0,116
C2	0,154
C3	0,170
C4	0,165
C5	0,132
C6	0,132
C7	0,132

SWARA Yöntemi Sonuçları

Swara yönteminin uygulanması için öncelikle beş uzman kişinin değerlendirmeleri sonucunda kriterlerin beklenen önemleri göz önünde bulundurularak azalan (önemliden önemsiz) bir şekilde sıralama yapılmıştır. Daha sonra kriterlerin başlangıç öncelikleri (0,1] aralığında her uzman tarafından ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Karar Verici 1, Karar Verici 2, Karar Verici 3, Karar Verici 4 ve Karar Verici 5 'in kriterleri bilgi ve tecrübe çerçevesinde önemlerine göre azalan bir düzende sıralaması ve önem sıralaması yapılan kriterlerden elde edilen nihai sonuçlar Tablo 11, Tablo 12, Tablo 13, Tablo 14 ve Tablo 15’ de verilmiştir.

Tablo 11
Karar verici 1'in elde ettiği nihai sonuçlar

KRİTERLER	ÖNEM SIRASI	S_j	K_j	Q_j	w_j
C1	1		1,000	1,000	0,298
C2	6	0,200	1,200	0,236	0,070
C3	4	0,400	1,400	0,397	0,118
C4	2	0,500	1,500	0,667	0,199
C5	5	0,400	1,400	0,283	0,085
C6	3	0,200	1,200	0,556	0,166
C7	7	0,100	1,100	0,215	0,064

Tablo 12*Karar verici 2'nin elde ettiği nihai sonuçlar*

KRİTERLER	ÖNEM SIRASI	Sj	Kj	Qj	Wj
C1	2	0,400	1,400	0,714	0,180
C2	7	0,100	1,100	0,360	0,091
C3	3	0,200	1,200	0,595	0,150
C4	1		1,000	1,000	0,253
C5	5	0,050	1,050	0,436	0,110
C6	6	0,100	1,100	0,396	0,100
C7	4	0,300	1,300	0,458	0,116

Tablo 13*Karar verici 3'ün elde ettiği nihai sonuçlar*

KRİTERLER	ÖNEM SIRASI	Sj	Kj	Qj	Wj
C1	2	0,500	1,500	0,667	0,189
C2	4	0,250	1,250	0,427	0,121
C3	5	0,150	1,150	0,371	0,105
C4	1		1,000	1,000	0,284
C5	7	0,200	1,200	0,238	0,068
C6	6	0,300	1,300	0,285	0,081
C7	3	0,250	1,250	0,533	0,151

Tablo 14*Karar verici 4'ün elde ettiği nihai sonuçlar*

KRİTERLER	ÖNEM SIRASI	Sj	Kj	Qj	Wj
C1	1		1,000	1,000	0,217
C2	5	0,200	1,200	0,507	0,110
C3	2	0,100	1,100	0,909	0,198
C4	4	0,150	1,150	0,608	0,132
C5	7	0,100	1,100	0,419	0,091
C6	3	0,300	1,300	0,699	0,152
C7	6	0,100	1,100	0,461	0,100

Tablo 15*Karar verici 5'in elde ettiği nihai sonuçlar*

KRİTERLER	ÖNEM SIRASI	Sj	Kj	Qj	Wj
C1	1		1,000	1,000	0,245
C2	7	0,300	1,300	0,267	0,065
C3	4	0,200	1,200	0,583	0,143
C4	3	0,100	1,100	0,699	0,171
C5	5	0,400	1,400	0,416	0,102
C6	6	0,200	1,200	0,347	0,085
C7	2	0,300	1,300	0,769	0,188

Tablo 16'da karar vericilerin kriterleri kendi önem sıralarına göre sıraladıktan sonra elde edilen sonuçlara göre kriterlerin önem ağırlıkları gösterilmektedir.

Elde edilen bulgular sonucunda en önemli kriter 0,222 önem ağırlığına sahip “Hız” kriteri olmuştur. Sırasıyla 0,200 önem ağırlığına sahip “Fiyat” ve 0,139 önem ağırlığına sahip “Uçuş Süresi” olmuştur.

Puan Ortalama Yöntemi Sonuçları

Puan ortalama yöntemi, kullanımı kolay ve yaygın bir toplama tekniğidir. Kullanılan farklı

Tablo 16*Kriter önem ağırlıkları*

KRİTERLER	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	AĞIRLIKLAR
C1	0,298	0,180	0,189	0,217	0,245	0,222
C2	0,070	0,091	0,121	0,110	0,065	0,089
C3	0,118	0,150	0,105	0,198	0,143	0,139
C4	0,199	0,253	0,284	0,132	0,171	0,200
C5	0,085	0,110	0,068	0,091	0,102	0,090
C6	0,166	0,100	0,081	0,152	0,085	0,112
C7	0,064	0,116	0,151	0,100	0,188	0,116

yöntemlere göre alternatiflerin aritmetik ortalamasına dayalı bir çözüm sunar. DEMATEL ve SWARA yöntemleriyle elde edilen kriterlerin ağırlıkları, bu yöntem kullanılarak nihai ağırlıkları belirlenmiş ve yöntemin sonuçları Tablo 17’ de gösterilmiştir.

Tablo 17*Puan ortalama yöntemi sonuçları*

KRİTER	AĞIRLIKLARI
C1	0,169
C2	0,122
C3	0,155
C4	0,183
C5	0,111
C6	0,122
C7	0,124

MAUT Yöntemi Sonuçları

Puan ortalama yöntemi sonuçlarının elde edilmesi ile MAUT yöntemi için analizler yapılmıştır. Bu yöntem ile sonuç olarak en uygun dronun belirlenmesi sağlanmaktadır. Araştırmada, ilaç dağıtımında kullanılacak olan dronların isimlerinin açıklanması etik standartlara uygun olmadığı için A1,A2,A3...,A7 olarak ifade edilmiştir. Tablo 18’de verilen karar matrisi, kullanılacak olan dronların verilerini içeren kapsamlı bir araştırma sonucunda oluşturulmuştur. Bu araştırmada dron üreten şirketler ve ürünlerinin özelliklerine ulaşılmış olup marka ismi verilmemesi gerekliliğinden dolayı her bir dron çeşidi A1, A2,...,A7 olarak isimlendirilmiştir. Matriste “C” değerleri kriterleri, “A” değerleri ise önceden belirlenmiş olan yedi dronu temsil eder.

Tablo 18*Karar matrisi*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	160	2130	19	43670	70	7	750
A2	180	1388	23	38640	60	5	500
A3	140	1750	17	36430	50	4	625
A4	150	3060	20	35970	40	9	875
A5	170	4200	45	62500	50	9	950
A6	110	2750	30	41500	45	10	900
A7	130	1800	25	38000	50	6	775

Her kriter için en iyi ve en kötü değerler belirlenmiştir. Tablo 19’ da en iyi ve en kötü değerler gösterilmiştir.

Tablo 19*En iyi ve en kötü değerler*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
En iyi	180	4200	45	35970	70	10	950
En kötü	110	1388	17	62500	40	4	500

Matriste en iyi değere sahip olanlara “1” değeri, en kötü değere sahip olan rakamlara ise “0” değeri verilmektedir. Diğer değerler ise elde edilen normalize edilmiş karar matrisinde Tablo 20’de gösterilmektedir.

Tablo 20*Normalize edilmiş karar matrisi*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	0,714	0,494	0,071	0,710	1,000	0,500	0,444
A2	1,000	0,312	0,214	0,899	0,667	0,167	1,000
A3	0,429	0,401	0,000	0,983	0,333	0,000	0,722
A4	0,571	0,721	0,107	1,000	0,000	0,833	0,167
A5	0,857	1,000	1,000	0,000	0,333	0,833	0,000
A6	0,000	0,645	0,464	0,792	0,167	1,000	0,111
A7	0,286	0,413	0,286	0,923	0,333	0,333	0,389

Normalize edilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra, tüm basamaklar Puan Ortalama Yöntemi sonuçlarında bulunan kriterlerle çarpılarak toplam normalize fayda değeri matrisi elde edilir. Karar verme matrisini belirlemek için bu matris gereklidir. Tablo 21 bu sonuçları göstermektedir.

Tablo 21*Toplam fayda değeri matrisi*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
A1	0,389	0,162	0,003	0,383	1,005	0,166	0,128
A2	1,005	0,060	0,027	0,728	0,327	0,016	1,005
A3	0,118	0,102	0,000	0,951	0,069	0,000	0,400
A4	0,226	0,399	0,007	1,005	0,000	0,586	0,016
A5	0,634	1,005	1,005	0,000	0,069	0,586	0,000
A6	0,000	0,302	0,141	0,509	0,016	1,005	0,007
A7	0,050	0,109	0,050	0,787	0,069	0,069	0,095

Son aşama olan ve en ideal seçim karar matrisi, normalize edilmiş toplam fayda değeri matrisinin oluşturulmasıyla tamamlanır. Bu matriste tüm “C” değerleri toplanarak ilaç dağıtımında kullanılacak olan dronların sıralaması elde edilmektedir. Elde edilen ideal dron sıralamaları Tablo 22’de ifade edilmiştir.

Tablo 22*En ideal seçim karar matrisi*

	TOPLAM	EN İDEAL DRON SIRALAMASI
A1	2,236	4.
A2	3,168	2.
A3	1,64	6.
A4	2,239	3.
A5	3,299	1.
A6	1,98	5.
A7	1,229	7.

MAUT yöntemi analizi sonuçlarına göre Tablo 22’de elde edilen veriler ışığında ilaç dağıtımında kullanılacak olan en ideal dron sıralamasında, A5 seçeneği en ideal dron olmuştur.

Bununla birlikte, ilaç dağıtımında kullanılacak olan dron sıralaması ise $A5 > A2 > A4 > A1 > A6 > A3 > A7$ olarak belirlenmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre sağlık sektöründe eczaneler ve ecza depoları arasındaki taşımlar için kullanılacak olan dronların seçimi için en önemli kriter “Fiyat” olarak belirlenmiştir. Ardından ikinci en önemli kriter ise “Hız” olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalardan daha farklıdır [23], [32], [33]. Bunun nedeni ise diğer çalışmalarda kaos ve afet durumları gibi bazı özel dönemlerde ilaç taşımaları için ya da sağlık sektörünün dışında ürün teslimatları için dron kullanımının analiz edilmesidir. Belirtilen durumlarda maliyet arka plana atılıp, hastalara ulaşım söz konusu olduğu için ulaşım ile ilgili kriterler ya da müşteriye ürünlerin daha hızlı ve kaliteli bir şekilde teslim edilmesi amaçlanmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER (RESULTS AND RECOMMENDATIONS)

Dronlar hızla gelişen teknoloji nedeniyle önümüzdeki yıllarda dünya çapında yaygın bir trend haline gelecek olan sağlık sektörünün vazgeçilmez bir parçası olmaktadır. Ulaşılması güç ve zorlu bölgelere tıbbi malzeme tedarikinde dron kullanımı hızlı ve güvenilir sonuçlar vermektedir. Özellikle ecza depolarından eczanelere ilaç taşınmasında beklenen ilaçların zamanında teslim edilememesi, farklı konumlardaki eczanelere aynı gün içinde ilaç teslim edilememesi, bu sebeple taşıma maliyetlerinde artış olması gibi sorunlarla karşılaşmıştır. Bu nedenle; ilaç taşınmasını kolaylaştıracak, performansların artırılmasına yönelik dron teknolojisi, ecza depolarından eczanelere ilaç teslimatı açısından önemli bir hamle olmuştur.

Bu çalışmada ilaç teslimatı için dron kullanımı tercih etmek isteyen ecza depoları ve eczaneler için dron seçiminde etkili olan kriterler vurgulanmakta ve bu seçime göre bir karar verme yaklaşımı aktarılmaktadır. Bu yaklaşımın genel kapsamı DEMATEL, SWARA ve MAUT yöntemlerini içermektedir. Önerilen çerçeveye ilaç dağıtımı için kullanılacak olan dron seçimine ilişkin yedi ana kriter değerlendirilmektedir. Uzmanlar tarafından karşılaştırmalı olarak değerlendirilen özellikler DEMATEL ve SWARA yöntemi ile ağırlıklandırılmaktadır. Elde edilen ağırlık değerlerinin, Puan Ortalama Yöntemi ile ağırlıklarının ortalaması elde edilmektedir. Ardından ulaşılan veriler bir araya getirilerek MAUT yöntemi ile alternatifler sıralanmaktadır. Bu sonuçlara göre dron seçim probleminde “Fiyat” en önemli kriter olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni ilaç tedarikinde karşılaşılan sorunların en büyük nedeni maliyetler olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum ise alternatiflerin seçimine yansımaktadır. Uygulamalarda DEMATEL, SWARA ve MAUT sonuçlarına göre tek bir alternatif karar vericilerin dron seçimi değerlendirmelerine göre sağlamaktadır. Bu alternatif ise “Alternatif 5” olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada, karar vericilerin ecza depolarından eczanelere ilaç taşımak amacıyla dronları seçmek için yapılan değerlendirmelere dayanan yeni bir ÇKKV modeli önerilmiştir. Bu konu daha önce literatürde incelenmemekle birlikte, çözüm yaklaşımı sunulan problem için DEMATEL, SWARA ve MAUT yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırılması ile literatüre katkıda bulunulmuştur.

Önerilen çerçevenin farklı yönetsel etkileri bulunmaktadır: Dron seçiminde verimlilik ve etkililik eczaneler için ilaç satışlarını ve müşterileri tatmin düzeyini artırabilen önemli bir unsur olmakla birlikte acil durumlar için hastaların daha hızlı ilaçlara ulaşmasını sağlayabileceği için farklı bir önem arz etmektedir. Bu çalışmada önerilen çerçeve uygulanarak eczacılar ya da ecza depolarında çalışan uzmanlar dron kullanımı durumunda kararlarını doğru bir şekilde verebilir durumda olacaklardır. Çünkü, dron seçiminde nelere dikkat edilmesi gerektiği, hangi hususların önemli olduğu ve bu konuların nasıl değerlendirileceği kararlarında bu çalışmada ifade edilen yöntem kullanılabilir durumdadır.

Bu çalışma bazı sınırlılıklara sahiptir. Bunlardan birincisi çalışmadaki uygulamanın beş uzman ile yapılmış olması iken ikincisi karar verme sürecinde herhangi bir belirsiz ortamın düşünülmemesidir.

Gelecek çalışmalarda bu çalışmanın devamı olarak, önerilen kriterler farklı ÇKKV yöntemleri ile çözülerek sonuçları bu çalışmanın sonuçları ile kıyaslanabilir. Ayrıca belirtilen kriterlere yeni ve farklı kriterler eklenerek bu çalışmada ifade edilen süreçler yeniden değerlendirilebilir. Bir başka açıdan değerlendirme sürecine belirsizlik faktörü eklenerek farklı durumlar altındaki dron seçim problemi ele alınabilir.

Etik Beyan (Ethics Committee Approval)

Bu çalışma Dr. Esra Boz'un danışmanlığında Elif Demir'in KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalında 2024 yılında tamamladığı "Sağlık Sektöründe İlaç Dağıtımı için Kullanılacak Olan Dronların Seçiminde ÇKKV Yöntemlerinin Uygulanması" başlıklı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Yazar Katkıları (Author Contributions)

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) E.D. (%80) – E.B. (%20)

Veri Toplama (CRediT 2) E.D. (%80) – E.B. (%20)

Araştırma -Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) E.D. (%70) – E.B. (%30)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) E.D. (%80) – E.B. (%20)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) E.D. (%50) – E.B. (%50)

Finansman (Financing)

Çalışma herhangi bir kurum tarafından finanse edilmemiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarların bu çalışma için beyan ettikleri herhangi bir çıkar çatışması yoktur. (The authors have no conflicts of interest to disclose for this study.)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 9 Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] J. M. Glover, Drone University, *DroneUniversity*, 2016. ISBN-10: 0692316035; ISBN- 13: 978–0692316030
- [2] A. Otto, N. Agatz, J. Campbell, B. Golden, E. Pesch, Optimization approaches for civil applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) or aerial drones: A survey, *Networks*. 72(4) (2018), 411-458. doi:10.1002/net.21818
- [3] M. Ekici, A. Ç. Seçkin, A. Özek, C. Karpuz, Warehouse drone: indoor positioning and product counter with virtual fiducial markers, *Drones*. 7(1) (2022), 3. doi:10.3390/drones7010003
- [4] P. Basu, Digital transformation with drones the unmanned aerial vehicles, *The Management Accountant Journal*. 56(10) (2021), 76-81.
- [5] S. J. Kim, Y. Jeong, S. Park, K. Ryu, G. Oh, A Survey of Drone use for Entertainment and AVR (Augmented and Virtual Reality). In: Jung, T., tom Dieck, M. (eds) Augmented Reality and Virtual Reality. Progress in IS. Springe, (2018), 339-352.
- [6] G. A. Foster, Drone Intimacies and the Everyday, Master of Arts, *Graduate School of Vanderbilt University*, Nashville, Tennessee, 2023.
- [7] N. Parvaresh, M. Kulhandjian, H. Kulhandjian, C. D'Amours, B. Kantarci, A tutorial on AI-powered 3D deployment of drone base stations: State of the art, applications and challenges, *Vehicular Communications*. 36 (2022), 100474. doi:10.1016/j.vehcom.2022.100474
- [8] G. Greenwald, NSA collecting phone records of millions of Verizon customers daily. *The Guardian*. 6(6) (2013), 2013.
- [9] E. Ackerman, E. Strickland, Medical delivery drones take flight in east Africa. *IEEE Spectrum*. 55(1) (2018), 34-35. doi:10.1109/MSPEC.2018.8241731
- [10] J. Stewart, Blood-carrying, Life-saving Drones Take off for Tanzania, (2017). URL <https://www.wired.com/story/zip-line-drone-delivery-tanzania>.
- [11] F. Ecer, Çok Kriterli Karar Verme Geçmişten Günümüze Kapsamlı Bir Yaklaşım, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, (2020).
- [12] T. Alkan, S. S. Durduran, (2020). Konut seçimi sürecinin AHP temelli TOPSIS yöntemi ile analizi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 2(2) (2020), 12-21. doi:10.47112/neufmbd.2020.2
- [13] B. Efe, L. Efe, Hastaların acil servis seçimi İçin Q seviyeli bulanık MAIRCA yöntemi önerisi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5(2) (2023), 246-256. doi:10.47112/neufmbd.2023.26
- [14] M. A. Sayar, H. Z. Selvi, İ. Buğdaycı, Suruç çadırkent alanının analitik hiyerarşi yöntemiyle belirlenmesi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 1(1) (2019), 20-31.
- [15] M. Kahveci, N. Can, İnsansız hava araçları: tarihçesi, tanımı, dünyada ve Türkiye'deki yasal durumu, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 5(4) (2017), 511-535. doi:10.15317/Scitech.2017.109
- [16] N. Koshta, Y. Devi, C. Chauhan, Evaluating barriers to the adoption of delivery drones in rural healthcare supply chains: preparing the healthcare system for the future, *IEEE Transactions on Engineering Management*. 71 (2024), 13096-13108. doi:10.1109/TEM.2022.3210121
- [17] S. R. R. Singireddy, T. U. Daim, Technology roadmap: Drone delivery–amazon prime air, *Infrastructure and Technology Management: Contributions from the Energy, Healthcare and Transportation Sectors*, (2018), 387-412. doi:10.1007/978-3-319-68987-6_13
- [18] J. Koiwanit, Analysis of environmental impacts of drone delivery on an online shopping system, *Advances in Climate Change Research*. 9(3) (2018), 201-207. doi:10.1016/j.accre.2018.09.001

- [19] W. Yoo, E. Yu, J. Jung, Drone delivery: Factors affecting the public's attitude and intention to adopt, *Telematics and Informatics*. 35(6) (2018), 1687-1700. doi:10.1016/j.tele.2018.04.014
- [20] B. Rabta, C. Wankmüller, G. Reiner, A drone fleet model for last-mile distribution in disaster relief operations, *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 28 (2018), 107-112,.doi:10.1016/j.ijdr.2018.02.020
- [21] Ü. Yılmaz, İnsani yardım lojistiği faaliyetlerinde insansız hava araçlarının kullanım alanları, *Türkiye Mesleki ve Sosyal Bilimler Dergisi*. 2 (2019), 43-54. doi:10.46236/jovosst.623075
- [22] M. S. Y. Hii, P. Courtney, P. G. Royall, An evaluation of the delivery of medicines using drones, *Drones*. 3(3) (2019), 52. doi:10.3390/drones3030052
- [23] A. Raj, B. Sah, Analyzing critical success factors for implementation of drones in the logistics sector using grey-DEMATEL based approach, *Computers & Industrial Engineering*. 138 (2019), 106118. doi:10.1016/j.cie.2019.106118
- [24] M. A. H. Zailani, R.Z.A.R. Sabudin, R. A. Rahman, I.M. Saiboon, A. Ismail, Z. A. Mahdy, Drone for medical products transportation in maternal healthcare: A systematic review and framework for future research, *Medicine*. 99(36) (2020). doi:10.1097/MD.00000000000021967
- [25] S. H. Chung, B. Sah, J. Lee, Optimization for drone and drone-truck combined operations: A review of the state of the art and future directions, *Computers & Operations Research*. 123 (2020), 105004. doi:10.1016/j.cor.2020.105004
- [26] Ş. Ergunşah, S. Koşunalp, İnsansız hava araçları tabanlı çevresel uygulamalara genel bir bakış, *Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri ve Bilgisayar Bilimleri Dergisi*. 6(1) (2022), 43-53. doi:10.33461/uybisbbd.1082689
- [27] C. N. Osakwe, M. Hudik, D. Říha, M. Stros, T. Ramayah, Critical factors characterizing consumers' intentions to use drones for last-mile delivery: Does delivery risk matter?, *Journal of Retailing and Consumer Services*. 65 (2022), 102865. doi:10.1016/j.jretconser.2021.102865
- [28] T. Zhu, S. Boyles, A. Unnikrishnan, Two-stage robust facility location problem with drones, *Transportation Research Part C*. 137 (2022), 103563. doi:10.1016/j.trc.2022.103563
- [29] A. Rave, P. Fontaine, H. Kuhn, Drone Network Design for Emergency Resupply of Pharmacies and Ambulances, (2023). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4569199>
- [30] K. Ö. Atılgan, M. Bozkurt, Tüketicilerin Drone Aracılığıyla Ürün Dağıtımına Yönelik Tutumlarının İncelenmesi. *Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20,1 (2023), 152-135.
- [31] A. Aktas, M. Kabak, An Application of Interval Valued Pythagorean Fuzzy WASPAS Method for Drone Selection to Last Mile Delivery Operations. In: Erdebilli, B., Weber, GW. (eds) *Multiple Criteria Decision Making with Fuzzy Sets. Multiple Criteria Decision Making*. Springer, Cham. (2022) https://doi.org/10.1007/978-3-030-98872-2_12
- [32] D. Banik, N. U. Ibne Hossain, K. Govindan, F. Nur, K. A. Babski-Reeves, Decision support model for selecting unmanned aerial vehicle for medical supplies: Context of COVID-19 pandemic, *The International Journal of Logistics Management*. 34(2) (2023), 473-496.
- [33] M. S. Khan, S. I. A. Shah, A. Javed, N. M. Qadri, N. Hussain. Drone selection using multi-criteria decision-making methods. In 2021 International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technologies (IBCAST) (2021), 256-270. IEEE.
- [34] W. W. Wu, Y.T. Lee, Developing global managers' competencies using the Fuzzy DEMATEL method, *Expert Systems with Applications*. 32 (2007), 499-507, doi:10.1016/j.eswa.2005.12.005
- [35] E. Aksakal, M. Dağdeviren, ANP ve DEMATEL yöntemleri ile personel seçimi problemine bütünleşik bir yaklaşım, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 25(4) (2010), 905-913.
- [36] J. J. H. Liou, L. Yen, G. H. Tzeng, Building an effective safety management system for airlines, *Journal of Air Transport Management*. 14 (2008), 20-26. doi:10.1016/j.jairtraman.2007.10.002

- [37] S. Karaoğlu, DEMATEL ve VIKOR yöntemleriyle dış kaynak seçimi: otel işletmesi örneği, *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*. 55 (2016), 9-24.
- [38] V. Keršulienė, E. K. Zavadskas, Z. Turskis, Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis, *Journal of Business Economics and Management*. 11(2) (2010), 243-258
- [39] M. Alimardani, S. Hashemkhani Zolfani, M. H. Aghdaie, J. Tamošaitienė, A novel hybrid SWARA and VIKOR methodology for supplier selection in an agile environment, *Technological and Economic Development of Economy*. 19(3) (2013), 533-548, doi:10.3846/20294913.2013.814606
- [40] A. Ruzgys, R. Volvačiovas, Č. Ignatavičius, Z. Turskis, Integrated evaluation of external wall insulation in residential buildings using SWARA-TODIM MCDM method, *Journal of Civil Engineering and Management*. 20(1),(2014), 103-110, doi:10.3846/13923730.2013.843585
- [41] B. Ecer, Kararsız bulanık dilsel terimler temelli SWARA yöntemi ile ülke değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırılması, *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri-MS Excel® ve Software Çözümlü Uygulamalar*, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, (2021). ss. 217-229.
- [42] A. Aktaş, Prioritization of districts in terms of disaster preparedness planning: A case study for the expected Istanbul earthquake, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 11(3) (2022), 880-892.
- [43] Z. Tunca, N. Ömürbek, H. G. Cömert, E. Aksoy. Opec ülkelerinin performanslarının çok kriterli karar verme yöntemlerinden Entropi ve Maut ile değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*. 7(14) (2016), 1-12. doi:10.21076/vizyoner.245987
- [44] E. Özceylan, B. Özkan. DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) Yöntemi ile Lojistik Performans Endeksi Kriterlerinin Değerlendirilmesi. *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri - MS Excel Çözümlü Uygulamalar*, Ankara: Nobel Yayınevi, (2020), ss. 61-73.

İlkokul Öğrencileri Arasında Harita ve Atlasların Kartografik Kaynak Olarak Kullanımında Öğretmenlerin Etkisi: Kuzey Makedonya Örneği

Edmond JONUZI^{1*}  Hüseyin Zahit SELVİ² 

¹ Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Konya, Türkiye

² Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 11.03.2024
Kabul Tarihi: 15.06.2024
Yayın Tarihi: 31.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Kartografik kaynaklar,
Eğitim araçları,
Pedagojik stratejiler,
İlkokul eğitimi.

ÖZET

Bu çalışma, ilkokul ortamında harita ve atlasların eğitim araçları olarak etkili bir şekilde uygulanmasını kolaylaştırmada öğretmenlerin rolünü incelemektedir. Öğretmenlerin kartografik kaynakların kullanımı üzerindeki etkisini araştırarak, çalışma öğretmenler tarafından benimsenen pedagojik stratejilere ve çocukların mekansal okuryazarlık becerilerini artırmaya yönelik etkilerine ışık tutmayı amaçlamaktadır. Araştırma, öğretmenlerin uygulamaları, algıları ve öğretim teknikleri hakkında veri toplamak amacıyla ilkokul öğretmenleri için ön-atlas anketi ve son-atlas anketi içeren karma bir yöntem yaklaşımı kullanmaktadır. Bu araştırmanın bulguları, harita ve atlasların ilkokul müfredatında en iyi şekilde kullanılmasını arzulayan öğretmenler ve politika yapıcılar için kanıta dayalı önerilerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Aynı zamanda, bu çalışmanın sonuçları, ilkokul öğrencileri için özel olarak tasarlanmış bir atlasın geliştirilmesi gerekliliğiyle ilişkilendirilecek, eğitim sistemi içinde bu tür kaynakların şu anki eksikliğine çözüm olma amacını taşımaktadır. İlkokul öğretmenlerine uygulanan iki anket, tez çalışması çerçevesinde formüle edilen hipotezler ve araştırma sorularıyla uyumludur. Ardından, elde edilen sonuçlara dayalı olarak bu hipotezlerin doğrulanması veya çürütülmesi konusunda bir tartışma ortaya çıkmıştır. Öğretmenlerin sınıf ortamında kartografik materyallerin entegrasyonu üzerindeki etkisi, büyük önem arz etmektedir.

The Impact of Teachers on the Utilization of Maps and Atlases as Cartographic Resources among Primary School Pupils: Example of North Macedonia

Article Info

Received: 11.03.2024
Accepted: 15.06.2024
Published: 31.12.2024

Keywords:

Cartographic resources,
Educational tools,
Pedagogical strategies,
Primary school education.

ABSTRACT

This study examines the role of teachers in facilitating the effective implementation of maps and atlases as educational tools within the primary school setting. By investigating the influence of teachers on the utilization of cartographic resources, the study aims to provide insights into the pedagogical strategies employed by teachers and their impact on enhancing children's spatial literacy skills. The research employs a mixed-methods approach, including pre-atlas questionnaire and post-atlas questionnaire for primary school teachers to gather data on teachers' practices, perceptions, and instructional techniques. Findings from this research will contribute to the development of evidence-based recommendations for teachers and policymakers seeking to optimize the use of maps and atlases in primary school curricula. Simultaneously, the outcomes of this study will be correlated with the pressing requirement to develop an atlas specifically tailored for primary school pupils, aiming to address the current dearth of such resources within the educational system. The two questionnaires administered to primary school teachers are aligned with the hypotheses and research questions formulated within the framework of the diploma study. Subsequently, a discussion ensued regarding the validation or refutation of these hypotheses based on the obtained results. The impact of teachers on the integration of cartographic materials within the classroom setting appears to be of paramount significance.

To cite this article:

Jonuzi, E. & Selvi, H.Z. (2024). The impact of teachers on the utilization of maps and atlases as cartographic resources among primary school pupils: Example of North Macedonia. *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, 6(3), 393-410. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.55>

*Sorumlu Yazar: Edmond Jonuzi, edmondjonuzi1@gmail.com



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

INTRODUCTION

It is crucial to maintain an openness towards acquiring new approaches and innovations within the teaching and learning process [1]. Constructivism, as a theoretical perspective on learning and development, underscores the active engagement of the learner in constructing understanding and comprehending the world around them, wherein the acquisition of information alone is insufficient for knowledge formation; instead, knowledge is synthesized by assimilating new information or ideas into the pre-existing cognitive framework of the learner [2-4]. Critical thinking abilities, such as using concepts, employing principles, predicting impacts, and problem-solving, are all categorized as fairly good, while creative thinking ability, including making decisions, working within competency limits, and thinking divergently, also falls within a fairly good category [5]. Education, being an essential factor in improving human quality, necessitates various efforts to enhance the quality of the community [6]. In primary schools, teachers bear the responsibility of imparting fundamental concepts and skills, and play a critical role in building pupils' fundamental knowledge and abilities to their pupils [5, 7]. Education constitutes the process through which knowledge, skills, values, and attitudes are transmitted from one generation to the next, ensuring their continuity among human being [8]. Consequently, education strives to establish a foundation for social, moral, and economic advancement. The primary objective of education is to ensure equitable access to quality education for all children within the age range of primary school attendance [9]. Children necessitate an education system that safeguards their social, ethical, and economic well-being, serving as an authentic catalyst for societal transformation. Such an education system empowers each individual learner to recognize and embrace their unique potential, enabling them to lead a life of dignity [10]. Teaching, both as a specialized field within primary education and as a profession in general, has consistently held a distinctive position, not only within the higher education system but also in everyday life [11]. It is widely acknowledged that while good teaching resources cannot supplant the role of a teacher, teachers leverage these resources to effectively attain their teaching and learning objectives [12]. A teacher who possesses sufficient and pertinent teaching resources exhibits greater confidence, effectiveness, and productivity [13]. Instructional materials play a vital role in the process of learning and that the implementation of the curriculum would be significantly hindered without their presence [14]. The classroom can be considered a natural setting conducive to the development and learning of children [15]. Children engaged in small group work exhibit heightened focus in their learning activities, avail themselves of opportunities to assist one another with comparable tasks, and demonstrate decreased reliance on the teacher for support and guidance in their learning endeavors [16]. Children exhibited limited effectiveness in engaging with group work, and a substantial number of them continued to rely on the teacher for procedural guidance, answers to inquiries, and validation of task completion [17]. It is crucial to acknowledge that the assignment of both teachers and pupils or students within schools and school districts is not a random process [18, 19]. Teachers possess the ability to ascertain whether students have comprehended the subject matter and whether they can construct an appropriate framework for assimilating new information [20]. Teachers can facilitate the enhancement of pupils' and students' critical thinking abilities and creativity by incorporating mind mapping techniques, in conjunction with other instructional methods, in alignment with the principles of the constructivist approach [21]. Mind mapping is a cognitive tool and organizational technique employed for note-taking purposes, enabling individuals to effectively structure and organize factual information and thoughts [22]. The mind mapping technique and materials associated with mind maps were pioneered by Tony Buzan in the late 1960s [23]. Mind mapping is rooted in the utilization of words, images, and colors as foundational component [24]. Teachers endeavoring to address the needs and enhance the learning outcomes of their students must take into consideration the defining characteristics that shape the contemporary student population [25]. Geographic education strives to foster an understanding of the intricate system of

geographical space, encompassing the principles governing both natural and human phenomena [26]. A school world atlas often serves as the initial systematic cartographic resource that students encounter during their educational journey [27]. A map serves as an essential instrument for geographers and functions as a fundamental document in numerous geography teaching endeavors [28]. Traditionally, the practice of creating simple maps and the utilization of atlases have constituted significant, if not primary, components of geography education, particularly at the elementary and intermediate school levels [29]. The intended recipients of school atlases are students; nevertheless, the interpretation of school atlas content relies on the guidance of their teachers. Teachers play a pivotal role in shaping students' perception, utilization, and comprehension of the atlas's content [26]. The process of reading a map entails the perception of the map itself, utilization of the map's legend, and comprehension of the map's content [27]. The interpretation and comprehension of symbols constitute a significant aspect in the analysis and comprehension of cartographic representations. The purposefully crafted symbols in the atlas enhance young learners' understanding and appreciation of the diverse characteristics of different regions, fostering a sense of connection and familiarity with their country's geography and culture [30]. Maps and atlases are essential visual aids used in primary education to promote children's spatial understanding, navigation skills, and overall geographical literacy. Maps, as fundamental manifestations of cartographic representation, are extensively accessible and widely appreciated across various fields and disciplines; they are employed within the educational system to facilitate a range of pedagogical activities [31-34]. The deliberate and systematic development of map-reading methods is essential for acquiring cartographic competence and fostering cognitive activity in pupils, while theoretical analysis indicates that consistent use of maps in geography lessons enhances their success in understanding cartographic concepts [35, 36]. However, the effective integration of these cartographic resources into the classroom largely depends on the pedagogical approaches adopted by teachers. This study aims to investigate the influence of teachers on the utilization of maps and atlases among primary school children. Specifically, it seeks to identify the instructional techniques employed by teachers, explore their perceptions regarding the use of cartographic resources, and examine the impact of these practices on children's spatial literacy development.

MATERIALS AND METHODS

The study involves a sample of primary school teachers from four diverse primary schools, in the city of Tetovo, North Macedonia. Participants were selected through purposive sampling as part of the primary schools, to ensure representation across different educational contexts and experience levels. Questionnaires are distributed among teachers to gather data on their instructional techniques, utilization of maps and atlases, and perceptions of their effectiveness. Classroom observations are conducted to qualitatively assess the teachers' implementation of cartographic resources and their impact on pupils' engagement and learning outcomes. Questionnaires are conducted with teachers to gain deeper insights into their pedagogical decision-making processes. Collected data from surveys are analyzed using statistical techniques. The data obtained from the questionnaires administered to the teachers is presented through pertinent tables, showcasing the questionnaire results in terms of response percentages and their respective significance. The North Macedonian education system lacked a product tailored specifically for primary school pupils, such as a comprehensive atlas. Existing maps and atlases were outdated in both design and content, and they failed to adequately address the needs of younger pupils. Recognizing this significant gap, a decision was made to create a new atlas from the ground up. This involved designing, compiling, and rigorously testing symbols, maps, and additional materials, such as population representative tables and practice map stickers. The objective was to produce an atlas that is not only visually appealing and modern but also age-appropriate and educationally enriching for primary school pupils in the Republic of North Macedonia.

Participants

A total of 48 primary school teachers, spanning grades two to five, actively participated in the evaluation of pre-atlas and post-atlas questionnaires. The questionnaires consisted of a series of 15 inquiries specifically focusing on the utilization of maps within classroom settings, along with inquiries tailored to the Atlas and its application. The distribution of participants encompassed 8 from the second grade, 10 from the third grade, 15 from the fourth grade, and 15 from the fifth grade. To mitigate potential influences stemming from socio-economic factors and environmental variations, four comparable schools were meticulously selected in the city of Tetova, situated in the northwestern region of North Macedonia. Among these schools, three were situated within the city limits, while one was in a peripheral village. This deliberate selection aimed to ensure a representative and diverse range of contexts for the questionnaire phase.

Designed questionnaires

The pre-atlas questionnaire consists of 15 questions specifically tailored for primary school teachers in lower grades. These questions are designed to assess the significance and necessity of utilizing maps and cartographic materials within the educational system for lower primary school classes. The questions encompass various aspects such as the compilation, design, and use of maps, the content of existing materials, their relationship with maps, the connection between current maps and pupils, and pupils' reactions during the use and learning of maps and similar resources. The overarching aim is to address the longstanding deficiency in the compilation and design of maps and atlases for lower primary school classes. Conversely, the post-atlas questionnaire also comprises 15 questions specifically formulated for primary school teachers in lower grades. These questions pertain to the implemented maps and the atlas specifically created for pupils aged 6 to 10 years in lower primary school classes. The questions revolve around the integration and use of the compiled maps and atlas in the teaching and learning process, their impact on pupils, how pupils respond while working and learning with them, and their role in meeting curriculum requirements through atlas products and similar maps. The pre-atlas questionnaire and the post-atlas questionnaire are expected to yield essential findings, serving to validate and identify the influence of teachers in working with maps and cartographic materials, as well as the significance that teachers hold throughout this entire process. The figures below depict two instances of assessments administered to lower-grade primary school pupils: the pre-atlas test and the post-atlas test, as follows:

PRE – ATLAS/PVETSOR	POST – ATLAS/PVETSOR
PËR ARSIMITARËT E KLASËVE TË CIKELIT TË ULËT TË SHKOLLAVE FILLORE Ju lutemi shënoni me një simbol klasën në të cilën po ligjeroni aktualisht: 2(); 3(); 4(); 5() Pyetje: 1. Sa tërësi e rëndësishme dhe sa tërësi e nevojshme përdorimi i hartave apo atlasëve për nxënësit e shkollave fillore, në procesin edukativo-arsimor? (Ju lutemi përgjigjuni edhe me shkrim). a) Aspak b) Pak c) Mesatarisht d) Shumë _____ _____ _____ 2. A i përdorni dhe sa shpesh i përdorni hartat apo atlasët për gjatë ligjerimit, të mësuarit dhe ushtrimeve me nxënësit? (Ju lutemi përgjigjuni edhe me shkrim). a) Aspak b) Pak c) Mesatarisht d) Shumë _____ _____ _____ 3. Sa janë të njohur dhe a kanë njohuri nxënësit për egzistencën e hartave apo atlasëve për fëmijë të grupmoshure të ndryshme? (Ju lutemi përgjigjuni edhe me shkrim). a) Aspak b) Pak c) Mesatarisht d) Shumë _____ _____ _____ 4. Në librat dhe materialet e punës me të cilat i realizoni planprogramet e juaja mësimore, veçanërisht në librat e shkencave sociale, sa informacion jepet për hartat dhe atlasët për fëmijë? (Ju lutemi përgjigjuni edhe me shkrim). a) Aspak b) Pak c) Mesatarisht d) Shumë _____ _____ _____	PËR ARSIMITARËT E KLASËVE TË CIKELIT TË ULËT TË SHKOLLAVE FILLORE Shënoni me shenjë në cilën klasë ligjeroni: 2(); 3(); 4(); 5() Pyetje: 1. Sa e përfshini atlasin në planet tuaja të mësimit dhe çfarë objektivash specifike mësimore synoni të arrini nëpërmjet atlasit? (Ju lutemi përgjigjuni edhe me shkrim). a) Aspak b) Pak c) Mesatarisht d) Shumë _____ _____ _____ 2. Sa dhe si e ndikon ligjërimin, të mësuarit dhe ushtrimet përdorimi i atlasit në orët mësimore? (Ju lutemi përgjigjuni edhe me shkrim). a) Aspak b) Pak c) Mesatarisht d) Shumë _____ _____ _____ 3. A jeni të përgaditur sa duhet për të ligjësuar dhe të mësuar me hartat dhe atlaset përballë nxënësve në klasën tuaj? (Ju lutemi përgjigjuni edhe me shkrim). a) Aspak b) Pak c) Mesatarisht d) Shumë _____ _____ _____ 4. A përdorni strategji dhe cilat janë disa strategji që përdorni për të angazhuar fëmijët në mësimin nëpërmjet hartave dhe atlasëve? (Ju lutemi përgjigjuni edhe me shkrim). a) Aspak b) Pak c) Mesatarisht d) Shumë _____ _____ _____

Figure 1

First page of pre-atlas questionnaire (left side) and first page of post-atlas questionnaire (right side), administered to primary school teachers – first pages of the pre and post questionnaires

RESULTS

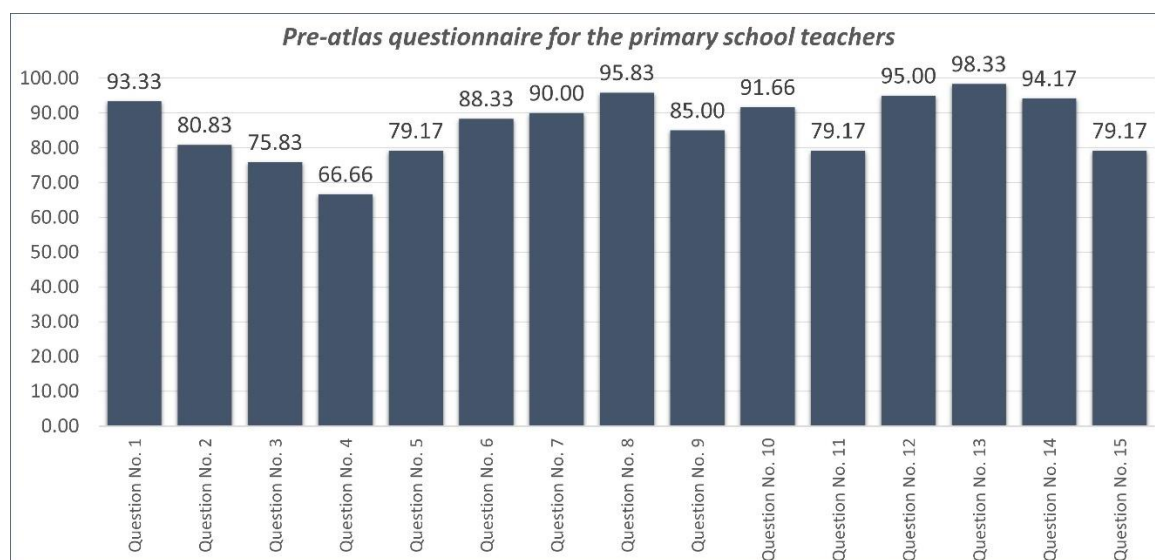
Pre-atlas questionnaire for teachers

A total of 30 teachers from the lower grades of primary schools participated in the pre-atlas questionnaire specifically designed for their needs. The pre-atlas questionnaire involving primary school teachers was conducted prior to the design and compilation of the atlas for primary school pupils. With the completion of the pre-atlas questionnaire for primary school teachers, the results derived from this assessment are now presented in the subsequent Table 1, as follows:

Table 1
Pre-atlas questionnaire for the primary school teachers

Questions	Importance Percentages
1. How important and how necessary is the use of maps or atlases for primary school pupils in the educational process?	93.33 %
2. Do you use and how often do you use maps or atlases during lectures, learning and exercises with pupils?	80.83 %
3. How informed are pupils and are pupils aware of the existence of maps or atlases for children of different age groups?	75.83 %
4. In the books and work materials with which you implement your lesson plans, especially in social science books, how much information is given about maps and atlases for children?	66.66 %
5. Are the use of maps within the materials of social science books sufficient and how sufficient are they for primary school pupils?	79.17 %
6. How much do pupils enjoy using maps that are part of social science books, during lectures, learning and exercises?	88.33 %
7. How much do you think maps and atlases influence the development of children's capacity and perception of various phenomena?	90.00 %
8. How much do you think the use of maps and atlases in the educational process improve and develop pupils' knowledge?	95.83 %
9. How much do you think maps and atlases help you in the realization of your lesson plans and programs?	85.00 %
10. How much do you think that maps and atlases for children will develop the level and productivity of learning among pupils?	91.66 %
11. How much do you think that products such as maps and atlases for children will meet and help the requirements, needs and objectives of the Ministry of Education and Science in North Macedonia?	79.17 %
12. Do you want to work and do you like to work with products such as maps and atlases?	95.00 %
13. How satisfied would you be if you had a children's atlas as a working tool with which you would carry out lessons and curriculum?	98.33 %
14. How effective and efficient would be working with maps and atlases for children in lectures and learning?	94.17 %
15. How much do you think that the maps that are used in social science books are adequate for the age group of pupils of lower grades of primary school?	79.17 %

Based on the information presented in the table, it can be inferred that question number 13 records the highest average importance rating, reaching 98.33%. This rating signifies the level of satisfaction among teachers concerning the availability of an atlas designed for children. Conversely, question number 4 registers the lowest average importance rating, standing at 66.66%. This rating pertains to the information provided in social science books regarding maps and atlases. The percentages presented in the preliminary table regarding the questions in the questionnaire prepared for teachers are also depicted in the chart in Figure 2.

**Figure 2**

Pre-atlas questionnaire for primary school teachers – percentages represented in chart form

The responses most frequently provided by teachers of the lower grade levels of the primary school during the questioning and survey completion are detailed below. These responses are organized based on the ordinal number of the questions, as follows:

Answer 1: Using maps and atlases in lessons improves teaching clarity and efficiency. It's crucial for both primary and secondary school pupils. Integrating them enhances geographic understanding, skills, and knowledge. Maps are especially important for primary pupils' orientation and positioning skills, becoming essential in the curriculum.

Answer 2: In second grade, map usage is limited, mainly determined by prescribed teaching materials. Atlases aren't used at this level. Maps and atlases are introduced only when directly related to teaching topics, more so in lower grades due to limited curriculum content. Maps are occasionally used, but the absence of atlases shows a need for them. Teachers rely on maps in textbooks, but the lack of both resources underscores an educational deficiency.

Answer 3: In early grades, in 2nd and 3rd, pupils know less compared to 4th and 5th grades. Most pupils are familiar with maps but less so with atlases. Few have good knowledge, mainly about maps, due to limited atlas availability in the curriculum.

Answer 4: Textbooks provide valuable information but often lack enough detail, leading teachers to enhance pupils' knowledge. Social science books for lower grades generally have some useful information, but their adequacy depends on the subject and teaching units. Information sufficiency varies, sometimes satisfactory but often average, showing the need for more emphasis on maps and atlases in the curriculum.

Answer 5: Maps are used more in 4th and 5th grades compared to 2nd and 3rd grades. There's a significant emphasis on maps in these higher grades, improving pupils' understanding. However, social science books lack enough maps, showing a need for improvement. Maps from educational materials are often outdated and poorly formatted, highlighting the need for modernization in curriculum resources.

Answer 6: Pupils enjoy using maps in textbooks because there aren't many alternatives like atlases. Their enthusiasm grows when maps are used occasionally, making learning more interesting. This enjoyment increases curiosity and appreciation for maps, suggesting that using diverse resources

could further enhance educational engagement.

Answer 7: Maps and atlases greatly help pupils learn, improving their understanding and thinking skills. They're especially important for younger pupils, fostering curiosity and intelligence. Using maps and atlases is crucial for teaching geography in early education.

Answer 8: Using various tools, like maps and atlases, is crucial for improving education. They make learning more interesting and interactive. Innovations in education, like new textbooks, help develop pupils' skills, improving education continuously.

Answer 9: Maps and atlases are crucial in our curriculum, especially for teachers. While maps are sometimes included in educational materials, the lack of atlases shows their importance. These resources greatly impact how teachers conduct lessons, improving their quality. In social science books, maps are fundamental for educational plans, aiding improvement and emphasizing their vital role in teaching and learning.

Answer 10: Maps and atlases are key for pupils' learning, improving its quality and efficiency. They enhance productivity and learning levels, showing the significant growth achieved through active use of these tools.

Answer 11: Maps and atlases, when matched with class materials and pupils' ages, meet educational requirements. They fulfill Ministry of Education standards and are crucial for meeting educational goals in our country.

Answer 12: We like the maps in our textbooks but want more in different formats, especially atlases. People are excited about using maps and atlases because they're interesting and engaging, showing a big demand for them in educational materials.

Answer 13: Pupils are very happy about having maps, atlases, and other tools in class because they really need them. They're not just satisfied; they really want these resources and would be thrilled to have them. Teachers and pupils would both appreciate and value the introduction of new educational tools like maps and atlases.

Answer 14: Using maps, atlases, and other tools can greatly improve teaching efficiency and effectiveness. It's a productive way to help pupils understand their local areas better, making learning valuable.

Answer 15: Current map materials are insufficient, lacking the necessary information and not meeting educational needs. They have many omissions, errors, and absences, showing a clear need for better resources.

Post-atlas questionnaire for teachers

A total of 18 teachers from the lower grades of primary schools participated in the post-atlas questionnaire specifically designed for their needs. The post-atlas questionnaire involving primary school teachers was conducted after the atlas for primary school pupils had been designed, compiled, and tested with the pupils. This survey was administered after teachers had incorporated the atlas into their classroom teaching and practices. With the completion of the post-atlas questionnaire for primary school teachers, the results derived from this assessment are now presented in the subsequent Table 2, as follows:

Table 2
Post-atlas questionnaire for the primary school teachers

Questions	Importance Percentages
1. How much do you incorporate the atlas into your lesson plans and what specific learning objectives do you aim to achieve through the atlas?	86.11 %
2. How much and how does the use of the atlas in the classroom affect the lecture, learning and exercises?	95.83 %
3. Are you prepared enough to read and learn about maps and atlases in front of pupils in your class?	94.44 %
4. Do you use strategies and what are some strategies you use to engage children in learning through maps and atlases?	87.50 %
5. Do you think that the atlas meets and fulfills the requests, needs and objectives of the Ministry of Education and Science in North Macedonia?	94.44 %
6. How often do you encounter challenges and problems and what are some of the challenges or problems you encountered when using maps and atlases in the classroom and how did you deal with them?	65.28 %
7. How much do you think that the maps, symbols and tables that are used within the atlas are adequate for the age groups of pupils in the lower grades of primary schools?	87.50 %
8. How often do pupils encounter problems when using maps and what are some creative ways you have used in the classroom to engage and encourage children's learning and practice?	79.17 %
9. How satisfied are you with the atlas and are the requirements and needs for the development of lessons through the atlas met?	98.61 %
10. Are the pupils satisfied with the use of maps and atlases during the teaching process and what are the most frequent regimes you receive from pupils in this regard?	97.22 %
11. How often do you use maps and atlases and do you think that their use will develop the level and productivity of pupils' learning?	91.67 %
12. Do maps, symbols, tables and atlases in general affect the increase of interest in pupils to learn and research more?	97.22 %
13. How often pupils want and ask you to work with products such as maps and atlases?	94.44 %
14. How much and how do you encourage pupils to become active users of maps and atlases in the future as well?	100 %
15. How much the effectiveness and efficiency of learning with maps and the atlas for children has increased in lectures and learning?	100 %

Based on the presented table, it is evident that question number 14 and question number 15 showcases the highest average significance associated with the correct answers, reaching 100%. In contrast, question number 6 portrays the lowest average significance attributed to the correct answers, also amounting to 65.28%. The percentages presented in the preliminary table regarding the questions in the questionnaire prepared for teachers are also depicted in the chart in Figure 3.

The responses most frequently provided by teachers of the lower grade levels of the primary school during the questioning and survey completion are detailed below. These responses are organized based on the ordinal number of the questions, as follows:

Answer 1: We try to use it as much as possible, but its limited inclusion in the Ministry of Education's curriculum restricts its use. Still, we use it in almost every lesson related to social sciences.

Answer 2: Using an atlas in class boosts teaching and learning by providing visual aids that deepen understanding and engage pupils. It helps them explore visually, improving comprehension. Using atlases means enriching the educational experience.

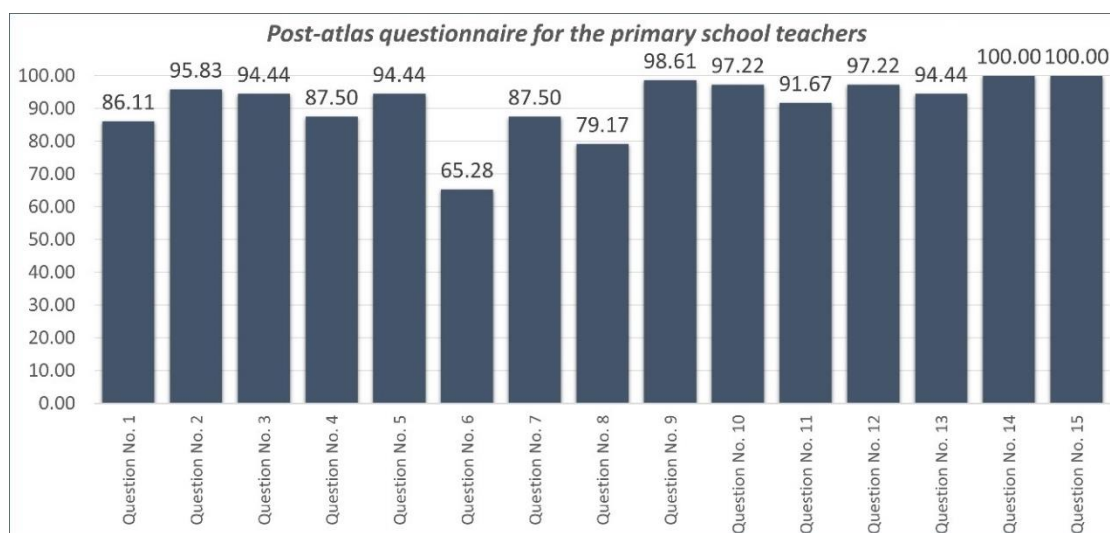


Figure 3

Post-atlas questionnaire for primary school teachers – percentages represented in chart form

Answer 3: I'm confident in teaching pupils about maps, but I'm open to learning more and getting feedback to improve my teaching, because it is a complex duty in principle. Of course, it would be great if there is any training performed for learning new methods of teaching maps.

Answer 4: Using real-world examples and cultural contexts makes the material more relatable and engaging. These strategies help pupils stay curious and participate actively by learning new things and gaining new information.

Answer 5: The atlas meets the Ministry of Education and Science's needs in North Macedonia. It provides comprehensive geographic information and detailed maps, supporting curriculum goals. Overall, it enriches education and helps achieve ministry objectives in North Macedonia.

Answer 6: Encountering challenges with maps and atlases in class is common. Some issues include difficulty keeping pupils engaged. To tackle this, despite challenges, using stickers which are part of the atlas, to ensure effective use of maps in class is very helpful and very interesting.

Answer 7: The atlas's maps, symbols, and tables are suitable for young primary school pupils. They're designed with clear visuals for easy understanding. The atlas effectively supports the educational needs of young learners, helping them explore and understand the country they are living in.

Answer 8: Pupils often struggle with maps due to issues like understanding legends, scale, and directions. For this kind of problem, teamwork and interactivity always helps.

Answer 9: The atlas meets classroom lesson needs well, and satisfaction is purchased. It offers comprehensive and up-to-date geographic information with engaging visuals for pupils. Its user-friendly layout caters to different learning styles, allowing for meaningful exploration.

Answer 10: Pupils are highly satisfied with using maps and atlases in class. They appreciate the visual aids, exploring different regions and cultures, and mastering map-reading skills, and enjoy interactive and hands-on activities facilitated by the atlases.

Answer 11: Integrating them into lessons enhances understanding of geography, history, and culture. Maps help pupils grasp complex concepts visually and appreciate the world.

Answer 12: Using maps, symbols, and tables in class encourages active engagement, sparks curiosity, and motivates further study. Symbols and tables add context and enrich understanding,

prompting pupils to explore further. Overall, their use together with maps boosts pupils' interest in learning and inspires them to seek more knowledge.

Answer 13: Pupils consistently show strong enthusiasm for using maps and atlases in lessons. They eagerly request opportunities to engage with these materials, demonstrating a keen interest in exploring and expanding their understanding.

Answer 14: Encouraging pupils to use maps and atlases enthusiastically now and in the future increases dedication and fosters love for geography and cartography in the future. Creating a supportive environment where pupils can explore at their own pace, fostering curiosity and critical thinking.

Answer 15: The use of maps and atlases has greatly improved children's learning effectiveness and efficiency. These resources engage them deeply with the material, aiding comprehension, and retention of geographical concepts. Using maps promotes curiosity, thus leading to deeper understanding and essential cognitive skill development.

Preliminary findings indicate that a majority of teachers incorporate maps and atlases into their teaching practices, albeit to varying degrees. Some teachers employ interactive map-based activities, while others use atlases for individual or group assignments.

Teachers generally recognize the value of cartographic resources in enhancing children's spatial literacy. However, a subset of teachers expressed concerns about the time required for instruction, limited access to up-to-date maps, and insufficient professional development opportunities.

The study reveals a positive correlation between teachers' effective use of maps and atlases and children's spatial literacy development. Engaging instructional strategies, such as interactive discussions, hands-on map exploration, and collaborative map interpretation, appear to foster pupils' spatial reasoning abilities and geographic knowledge.

DISCUSSION

This study sheds light on the significant role of teachers in optimizing the use of maps and atlases for primary school children. The findings underscore the importance of providing teachers with adequate resources, training, and support to promote effective integration of cartographic resources into the curriculum. Furthermore, policymakers should consider strategies to address challenges faced by teachers, such as limited access to up-to-date maps and professional development opportunities. The findings from both the pre-atlas and post-atlas questionnaires shed light on the pivotal role of maps and atlases in primary school education, particularly in North Macedonia. The discussions provided by the participating teachers offer nuanced insights into the current landscape of map utilization within the curriculum, the challenges encountered, and the perceived effectiveness of integrating cartographic resources into teaching practices.

The variation in participants between the pre-atlas and post-atlas questionnaires is due to their respective administration times. The pre-atlas questionnaire was distributed before the atlas was designed and compiled, whereas the post-atlas questionnaire was administered after the atlas had been completed and tested with primary school pupils. The post-atlas questionnaire was conducted exclusively with teachers from the classes involved in the atlas presentation and the subsequent testing with primary school pupils.

The survey questions for the pre-atlas and post-atlas questionnaires were carefully designed to comprehensively address several key areas related to the use of maps and atlases in primary school education. They were crafted to align with the educational objectives and standards set by the Ministry of Education and Science in North Macedonia, ensuring they capture how maps and atlases support curriculum goals. The questions focus on the practical application of these tools in the classroom,

evaluating how often teachers use them and how they incorporate them into lesson plans. Additionally, they gauge the engagement levels of both teachers and pupils, assessing interest and enthusiasm for these resources. The survey also evaluates the knowledge and awareness levels regarding the existence and use of maps and atlases, identifying potential gaps in knowledge and the need for further training. Questions assess the perceived importance and necessity of these tools, their impact on educational outcomes, and satisfaction levels with their availability and use. The post-atlas questionnaire addresses challenges and problems encountered, and strategies used to overcome them, identifying areas for improvement. Furthermore, questions explore the future use and development of maps and atlases, ensuring the survey considers both current practices and future enhancements. This comprehensive approach ensures the survey effectively informs the design and implementation of educational resources, ultimately enhancing the learning experience for pupils.

The importance percentages in the tables are derived from the responses of the teachers to the pre-atlas and post-atlas questionnaires. Teachers respond to each question on a Likert scale, where higher values indicate greater importance. For each question, the scores from all teachers are averaged by summing the numerical values of the responses and dividing by the total number of responses. This average score is then converted to a percentage by dividing the average score by the maximum possible score on the Likert scale and multiplying by 100. Each question in the questionnaire is designed to assess a specific aspect of the importance or necessity of maps and atlases in the educational process. Teachers respond to these questions, typically on a Likert scale from 1 to 4, where a higher number indicates a higher level of agreement or importance. The responses from all participating teachers are collected. For instance, in the pre-atlas questionnaire, responses from 30 teachers are gathered for each question, and for the post-atlas questionnaire, responses from 18 teachers are gathered for each question too. Each response on the Likert scale is assigned a numerical value. For example, if a 5-point scale is used: Strongly Agree (highly) = 4, Agree (on the average) = 3, Disagree (slightly) = 2, Strongly Disagree (not at all) = 1. For each question, the scores from all teachers are averaged. This involves summing the numerical values of the responses for a question and then dividing by the total number of responses (Figure 4):

$$\text{Average Score for Question} = \frac{\sum (\text{Individual Scores for Question})}{\text{Number of Responses}}$$

Figure 4

Post-atlas questionnaire for primary school teachers – percentages represented in chart form

The average score is then converted to a percentage. If a 4-point Likert scale is used, the percentage can be calculated as follows (Figure 5):

$$\text{Importance Percentage} = \left(\frac{\text{Average Score for Question}}{4} \right) \times 100$$

Figure 5

Importance percentage calculation

This converts the average score to a percentage out of 100, representing the level of importance

as perceived by the teachers. This process is repeated for each question in the questionnaire, resulting in the percentages shown in Table 1 and Table 2. The exact percentages shown in the tables are based on similar calculations, tailored to the specific responses and the scale used in the survey.

To further elucidate the findings from the pre-atlas and post-atlas questionnaires, descriptive statistics were employed to analyze the teachers' responses, providing a comprehensive overview of their perceptions regarding the use of maps and atlases in primary education. The data were collected from 30 teachers for the pre-atlas questionnaire and 18 teachers for the post-atlas questionnaire, and the results were summarized in Table 3 and Table 4 below. The mean, standard deviation, and range of responses were calculated for each question, offering insights into the central tendency and variability of the teachers' opinions. These descriptive statistics highlight the general agreement among teachers on the importance and necessity of maps and atlases, while also identifying specific areas where improvements can be made. For instance, the mean importance rating for question 13 in the pre-atlas questionnaire, which pertains to teachers' satisfaction with the availability of an atlas, was the highest at 3.93 (out of 4), with a relatively low standard deviation of 0.25, indicating strong consensus. Conversely, question 4, regarding the adequacy of information on maps and atlases in social science books, had the lowest mean rating of 2.67, with a higher standard deviation of 0.61, reflecting more varied opinions. Similarly, in the post-atlas questionnaire, the highest mean ratings were observed for questions 14 and 15, both scoring 4.00, suggesting unanimous satisfaction with the atlas's effectiveness in enhancing learning. The lowest mean rating was for question 6, at 2.61, highlighting challenges in using the atlas effectively. These findings underscore the transformative impact of introducing dedicated atlases and the need for ongoing support and resources to maximize their educational benefits.

Table 3

Descriptive Statistics regarding Pre-Atlas questionnaire for the primary school teachers

Question No.	Pre-Atlas Mean	Pre-Atlas SD	Pre-Atlas Range
1	3.73	0.45	3.00 – 4.00
2	3.23	0.63	2.00 – 4.00
3	3.03	0.52	2.00 – 4.00
4	2.67	0.61	2.00 – 4.00
5	3.17	0.65	2.00 – 4.00
6	3.53	0.51	2.00 – 4.00
7	3.60	0.49	3.00 – 4.00
8	3.83	0.38	3.00 – 4.00
9	3.40	0.56	3.00 – 4.00
10	3.67	0.48	3.00 – 4.00
11	3.17	0.65	2.00 – 4.00
12	3.80	0.41	3.00 – 4.00
13	3.93	0.25	3.00 – 4.00
14	3.77	0.43	3.00 – 4.00
15	3.17	0.65	2.00 – 4.00

Table 4

Descriptive Statistics regarding Post-Atlas questionnaire for the primary school teachers

Question No.	Pre-Atlas Mean	Pre-Atlas SD	Pre-Atlas Range
1	3.44	0.61	2.00 – 4.00
2	3.83	0.38	3.00 – 4.00
3	3.78	0.43	3.00 – 4.00
4	3.33	0.49	2.00 – 4.00
5	3.61	0.58	2.00 – 4.00
6	2.61	0.77	1.00 – 4.00
7	3.50	0.62	2.00 – 4.00
8	3.94	0.23	3.00 – 4.00
9	3.72	0.46	3.00 – 4.00
10	3.83	0.38	3.00 – 4.00
11	3.83	0.38	3.00 – 4.00
12	3.94	0.23	3.00 – 4.00
13	4.00	0.00	4.00 – 4.00
14	4.00	0.00	4.00 – 4.00
15	4.00	0.00	4.00 – 4.00

These descriptive statistics highlight the teachers' perceptions and experiences before and after the introduction of the atlas, providing a clear picture of the changes and improvements in their teaching practices and the educational outcomes for pupils.

However, a comparative analysis between Pre-Atlas and Post-Atlas questionnaires has been developed as follows:

Integration of Cartographic Resources in Teaching Practices:

Pre-Atlas Perspective: Teachers underscored the pivotal role of maps and atlases in augmenting pedagogical clarity and efficacy. They articulated the significance of seamlessly integrating these resources to fortify pupils' geographic comprehension and skills, particularly within the lower echelons of primary education.

Post-Atlas Perspective: Teachers delineated concerted endeavors to assimilate atlases into their instructional repertoire, notwithstanding constraints imposed by curricular limitations. They acknowledged that the utilization of atlases enriched pedagogy and scholarly engagement by furnishing visual aids that deepened cognitive apprehension and engendered scholastic involvement.

Accessibility and Utilization Dynamics of Cartographic Materials:

Pre-Atlas Perspective: Teachers voiced apprehensions regarding the paucity of atlases and maps within the educational fabric, especially discernible within lower primary tiers. Noteworthy was the sporadic utilization of maps, primarily contingent upon topical relevance, juxtaposed against a conspicuous dearth of atlases.

Post-Atlas Perspective: Teachers espoused endeavors to incorporate atlases across a spectrum of scholastic contexts, albeit within the confines of a circumscribed curriculum. They underscored endeavors to imbue instructional content with real-world contexts and cultural salience, thereby fostering scholarly engagement and cognitive resonance.

Impacts on Pupils' Cognitive Domain and Engagement:

Pre-Atlas Perspective: Teachers noted the palpable enjoyment evinced by pupils when interfacing with maps ensconced within textbooks, albeit with heightened fervor when confronted with sporadic map usage, thus evincing an exigency for diversified pedagogical resources to galvanize scholarly engagement.

Post-Atlas Perspective: Teachers attested to a heightened level of pupil satisfaction face to face the incorporation of maps and atlases within the pedagogic milieu. Pupils evinced an appreciative disposition towards visual pedagogical aids, interactive learning modalities, and tactile exploration facilitated by atlases, thereby fostering scholastic engagement and mastery of cartographic literacy.

Perceived Efficacy and Efficiency of Cartographic Pedagogy:

Pre-Atlas Perspective: Teachers underscored the salience of maps and atlases in ameliorating pedagogical efficiency and efficacy, particularly in augmenting pupils' comprehension of local geographies and fostering an ethos of scholarly curiosity.

Post-Atlas Perspective: Teachers opined that the incorporation of maps and atlases engendered a discernible enhancement in the effectiveness and efficiency of scholastic praxis. These resources engendered profound scholarly engagement, thereby facilitating cognitive comprehension, retention, and the cultivation of essential cognitive competencies.

Navigating Challenges and Employing Pedagogical Strategies:

Pre-Atlas Perspective: Teachers grappled with challenges such as antiquated and inadequately formatted maps within educational materials. They advocated for curricular modernization and espoused pedagogical strategies aimed at augmenting scholarly engagement.

Post-Atlas Perspective: Teachers acknowledged the omnipresent challenges associated with the utilization of maps and atlases within the pedagogical arena, including impediments to sustained pupil engagement. In response, teachers availed themselves of strategies such as the judicious use of stickers from atlases to optimize map utilization and the cultivation of collaborative learning environments to surmount pedagogical hurdles.

The responses underscore the unanimous agreement among teachers regarding the importance of incorporating maps and atlases into the educational process. The majority of teachers recognize the profound impact of these resources on pupils' spatial literacy, comprehension of geographical concepts, and overall engagement in learning. Such consensus among educators emphasizes the significance of cartographic materials in facilitating effective pedagogy and enhancing pupils' educational experiences.

However, despite the acknowledged benefits, several challenges and limitations associated with the integration of maps and atlases into teaching practices have been articulated. These include constraints imposed by the prescribed curriculum, inadequate access to up-to-date cartographic resources, and a perceived lack of professional development opportunities. Addressing these challenges is imperative to maximize the potential of maps and atlases in enriching the learning environment and promoting spatial reasoning skills among pupils.

Furthermore, the discrepancy between the pre-atlas and post-atlas questionnaire results highlights the transformative impact of introducing dedicated atlases into the classroom. The post-atlas responses reflect a notable increase in the perceived effectiveness and efficiency of teaching practices, as well as heightened satisfaction among both teachers and pupils. This suggests that the availability of specialized cartographic resources not only addresses existing educational needs but also enhances the overall quality of teaching and learning experiences.

The qualitative insights provided by teachers offer valuable recommendations for future educational initiatives aimed at optimizing the use of maps and atlases in primary school settings. Strategies such as incorporating real-world examples, fostering interactive learning environments, and providing targeted professional development opportunities emerge as key avenues for promoting effective map utilization and enhancing spatial literacy among pupils.

CONCLUSIONS

The comprehensive analysis of teachers' perceptions and experiences regarding the use of maps and atlases in primary school education provides valuable insights into the effectiveness and challenges associated with integrating cartographic resources into teaching practices. Through the pre-atlas and post-atlas questionnaires, it becomes evident that maps and atlases play a crucial role in enhancing pupils' spatial literacy, comprehension of geographical concepts, and overall engagement in learning. The unanimous agreement among teachers regarding the importance of incorporating maps and atlases into the educational process underscores the significance of these resources in facilitating effective pedagogy. Despite facing challenges such as curriculum constraints and limited access to up-to-date resources, educators demonstrate a strong commitment to leveraging cartographic materials to enrich the learning environment and promote spatial reasoning skills among pupils. The introduction of dedicated atlases into the classroom has proven to be transformative, resulting in increased satisfaction among both teachers and pupils, as well as heightened effectiveness and efficiency of teaching practices. This highlights the value of specialized cartographic resources in addressing educational needs and enhancing the quality of teaching and learning experiences. Moving forward, it is imperative for educational stakeholders to address the identified challenges and capitalize on the insights shared by educators to optimize the use of maps and atlases in primary school settings. Strategies such as incorporating real-world examples, fostering interactive learning environments, and providing targeted professional development opportunities emerge as key avenues for promoting effective map utilization and enhancing spatial literacy among pupils.

In conclusion, this study highlights the influential role of teachers in facilitating the effective use of maps and atlases among primary school children. The findings emphasize the need for comprehensive support systems to enhance teachers' pedagogical practices and ensure access to up-to-date cartographic resources. By fostering the development of spatial literacy skills, teachers contribute to the overall geographical knowledge and cognitive abilities of pupils. Future research should explore additional factors that may influence the utilization of cartographic resources in primary schools and investigate the long-term impact on pupils' spatial understanding and academic achievement. The findings from this study underscore the indispensable role of maps and atlases in primary school education and highlight the transformative potential of integrating these resources into teaching practices. By addressing the challenges identified and capitalizing on the insights shared by educators, educational stakeholders can work towards creating an enriched learning environment that nurtures pupils' spatial literacy and fosters a deeper understanding of the world around them.

Future studies in the field of cartographic resources utilization in primary school education could explore several avenues to further enhance understanding and inform educational practices. Longitudinal studies could track pupils' spatial literacy development over several years, assessing the sustained benefits of integrating maps and atlases into primary school curricula. Comparative analysis could evaluate the effectiveness of different types of cartographic resources, such as traditional paper maps versus digital atlases, in supporting primary education, investigating their influence on pupil engagement, comprehension, and spatial reasoning skills. Additionally, specialized teacher training programs could be designed and implemented to enhance educators' proficiency in utilizing maps and atlases effectively in the classroom, with evaluations focusing on pedagogical practices and pupil outcomes. Furthermore, research could examine strategies for seamlessly integrating cartographic resources into existing primary school curricula, aligning map-based activities with learning objectives across various subject areas. Emerging technologies, including Geographic Information Systems (GIS) and virtual reality, present opportunities to augment the use of maps and atlases in primary education, enhancing pupil engagement and facilitating interactive learning experiences. Moreover, exploring the role of cultural context in shaping pupils' perceptions and utilization of cartographic resources, and

investigating strategies for making these resources more accessible to diverse learners, can promote cultural sensitivity and inclusive education. Cross-disciplinary collaboration between cartography experts, educators, psychologists, and other relevant disciplines can provide a holistic understanding of the cognitive, social, and pedagogical dimensions of map utilization in primary education, enriching research methodologies and informing evidence-based practices. Lastly, analyzing existing education policies and curriculum standards to advocate for changes that prioritize spatial literacy development and support effective map-based instruction can further advance the integration of cartographic resources into primary school education, ensuring all pupils have access to high-quality resources that foster critical thinking and a deeper understanding of the world around them.

Ethical Declaration

This study is derived from a master's thesis entitled “İlkokul Çağındaki Öğrenciler İçin Atlas Tasarımı: Kuzey Makedonya Örneği” or “Atlas Design for Primary School Pupils: The Example of North Macedonia”, submitted under the supervision of Doç. Dr. Hüseyin Zahit SELVİ on 27/06/2024.

Ethics Committee Approval

Ethical approval was granted by the ethics committee of Necmettin Erbakan University, on 11/05/2023 with the number 2023/07 and Ethics Committee Decision number 13945.

Authors Credit

Research Design (CRediT 1) Author 1 (70%) - Author 2 (30%)

Data Collection (CRediT 2) Author 1 (70%) - Author 2 (30%)

Research - Data Analysis - Validation (CRediT 3-4-6-11) Author 1 (70%) - Author 2 (30%)

Writing the Article (CRediT 12-13) Author 1 (70%) - Author 2 (30%)

Revision and Improvement of the Text (CRediT 14) Author 1 (50%) - Author 2 (50%)

Financing

The study was supported by the Necmettin Erbakan University, Scientific Research Projects Coordination Unit institution with project number 23YL19002.

REFERENCES

- [1] M. Çakmak, An examination of concept maps created by prospective teachers on teacher roles, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2(2) (2010), 2464-2468. doi:10.1016/j.sbspro.2010.03.354
- [2] P. Eggen, D. Kauchak, Educational Psychology: Windows on Classrooms, Fourth Edition, New Jersey: Merrill, 1999.
- [3] D. W. Cheek, Thinking constructively about science, technology, and society education: General introduction and from the creation to the flood, *Suny Press*, 1992.
- [4] S. Basso, S. Margarita, Teaching by doing with concept maps: Integrating Plone and CmapTools, *Proc. of the First Int. Conference on Concept Mapping*, Pamplona, Spain, 2004.
- [5] D. Ramadhani, A. K. Kenedi, Y. Helsa, C. Handrianto, M. R. Wardana, Mapping higher order thinking skills of prospective primary school teachers in facing society 5.0., *Al Ibtida: Jurnal Pendidikan Guru MI*. 8(2) (2021), 178-190. doi:10.24235/al.ibtida.snj.v8i2.8794
- [6] E. G. Carayannis, J. Draper, B. Bhaneja, Towards fusion energy in the Industry 5.0 and Society 5.0 context: Call for a global commission for urgent action on fusion energy, *Journal of the Knowledge Economy*. 12(4) (2021), 1891-1904. doi:10.1007/s13132-020-00695-5
- [7] A. Habók, J. Nagy, In-service teachers' perceptions of project-based learning, *SpringerPlus*. 5 (2016), 1-14. doi:10.1186/s40064-016-1725-4
- [8] J. S. Shiundu, S. J. Omulando, Curriculum: Theory and practice in Kenya, *Oxford University Press*, 1992.
- [9] A. Adan, Institutional factors influencing pupils' academic performance at Kenya certificate of primary examination level in public schools in Mandera East Sub-County, Kenya, Doctoral dissertation, *University of Nairobi*, 2016.
- [10] S. J. Chetalam, Factors affecting performance in Kenya certificate of primary education in Kabarnet Division of Baringo District, Doctoral dissertation, *University of Nairobi*, 2004.
- [11] R. Sinka, Primary School Teachers in the Information Society, *Journal of Universal Computer Science*. 12(9) (2006), 1358-1372.
- [12] H. N. E. Tuimur, B. Chemwei, Availability and Use of Instructional Materials in the Teaching of Conflict and Conflict Resolution in Primary Schools in Nandi North District, Kenya, *Online Submission, International Journal of Education and Practice*. 3(6) (2015), 224-234. doi:10.18488/journal.61/2015.3.6./61.6.224.234
- [13] S. K. Kochhar, Teaching of social studies, *Sterling Publishers Pvt. Ltd*, 2000.
- [14] M. E. Lockheed, A. M. Verspoor, Improving primary education in developing countries, *Oxford University Press for World Bank*, 1991.
- [15] P. Kutnick, P. Blatchford, Effective group work in primary school classrooms, *Dordrecht Springer Science & Business Media*. 3(2) (2014), 1-15. doi:10.1007/978-94-007-6991-5
- [16] T. Blackstone, The Plowden Report, *The British Journal of Sociology*, 18 (1967), 291-302.
- [17] N. Bennett, C. Desforjes, A. Cockburn, B. Wilkinson, The quality of pupil learning experiences, *London: Erlbaum*, 1984. doi:10.4324/9780203125250
- [18] C. T. Clotfelter, H. F. Ladd, J. L. Vigdor, Teacher-student matching and the assessment of teacher effectiveness, *Journal of human Resources*. 41(4) (2006), 778-820. doi:10.2307/40057291
- [19] S. Konstantopoulos, Teacher effects in early grades: Evidence from a randomized study, *Teachers College Record*. 113(7) (2011), 1541-1565. doi:10.1177/0161468111111300708
- [20] Y. Zhao, The use of a constructivist teaching model in environmental science at Beijing Normal University, *The China Papers*. 2 (2003), 78-84.

- [21] Ö. Keles, Elementary teachers' views on mind mapping, *International Journal of Education*. 4(1) (2012), 93. doi:10.5296/ije.v4i1.1327
- [22] T. Buzan, How to mind map, *London, Thorsons*, 2002.
- [23] M. Debbag, B. Cukurbasi, M. Fidan, Use of digital mind maps in technology education: A pilot study with pre-service science teachers, *Informatics in Education*. 20(1) (2021), 47-68. doi:10.15388/infedu.2021.03
- [24] T. Buzan, Mind map: The ultimate thinking tool, *London Thorsons*, 2005.
- [25] C. Strachan, J. Mitchell, Teachers' perceptions of Esri Story Maps as effective teaching tools, *Review of International Geographical Education Online*. 4(3) (2014) 195-220.
- [26] M. Beitlova, S. Popelka, V. Voženílek, K. Fačevicová, B. A. Janečková, V. Matlach, The Importance of School World Atlases According to Czech Geography Teachers, *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 10(8) (2021), 504. doi:10.3390/ijgi10080504
- [27] M. Beitlova, S. Popelka, V. Vozenilek, Differences in thematic map reading by students and their geography teacher, *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 9(9) (2020), 492. doi:10.3390/ijgi9090492
- [28] P. Bailey, Teaching Geography; Teaching Series, *David and Charles: Newton Abbot, UK*, 1974.
- [29] H. W. Castner, Education through Mapping, A New Role for the School Atlas?, *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*. 24(1) (1987), 83-100.
- [30] E. Jonuzi, H. Z. Selvi, Enhancing Map Comprehension Via Symbols: Developing Symbols For Thematic Maps Based On Children's Cognitive Development. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5(2) (2023), 88-110. doi:10.47112/neufmbd.2023.12
- [31] T. Bandrova, A. Deleva, Contemporary cartography for children in Bulgaria, *The Join Seminar "Maps for Special Users"*, Wroclaw, Poland, 59-78, 1998.
- [32] I. Bugdayci, H. Z. Selvi, Teaching map concepts in Social Science Education; an evaluation with undergraduate students, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 9 (3) (2017). doi:10.1088/1755-1315/95/3/032002
- [33] I. Bugdayci, H. Z. Selvi, Do Maps Contribute to Pupils' Learning Skills in Primary Schools?, *The Cartographic Journal*. 58(2) (2021), 135-149. doi:10.1080/00087041.2020.1760625
- [34] M. Robertson, R. Gerber, The child's world: Triggers for learning, *Aust Council for Ed Research*, 2000.
- [35] T. Nazarenko, O. Topuzov, O. Chasnikova, I. Dubrovina, Role of geography teacher in forming the pupils' cartographic competence, *Prace i Studia Geograficzne*. 66(2) (2021), 43-53. doi:10.48128/pisg/2021-66.2-03
- [36] N. Gökçe, Social studies in improving students' map skills: Teachers' opinions, *Educational Sciences: Theory & Practice*, 15(5) (2015). doi:10.12738/estp.2015.5.0071

Uzaktan Algılama Görüntülerinde Şerit Gürültüsü Giderimi için ADOM Algoritmasının Sezgiseller ile Geliştirilmesi

İrem Nur EROĞLU¹  Hasan Ali AKYÜREK^{2*} 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adli Bilişim Mühendisliği, Konya, Türkiye

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Elektrik ve Elektronik, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

ÖZET

Geliş Tarihi: 23.05.2024
Kabul Tarihi: 31.08.2024
Yayın Tarihi: 31.12.2024

Anahtar Kelimeler:

ADOM,
Ağaç-Tohum Algoritması,
Parçacık-Sürü Optimizasyonu,
ADOM-PSO,
ADOM-TSA,
Gürültü Giderimi.

Uzaktan algılama sistemleri, Dünya yüzeyindeki değişikliklerin izlenmesi ve analizi açısından kritik öneme sahiptir. Ancak, bu sistemlerden elde edilen görüntülerde çeşitli gürültüler oluşabilir ve bu durum ölçümlerin doğruluğunu olumsuz etkileyebilir. Bu çalışmada, uzaktan algılama görüntülerindeki şerit gürültüsünü gidermek amacıyla ADOM (Alternating Direction Method of Multipliers) algoritmasının performansı optimize edilmiştir. Bu amaçla, iki sezgisel optimizasyon algoritması olan Ağaç-Tohum (TSA) ve Parçacık-Sürü Optimizasyonu (PSO) kullanılarak ADOM algoritmasının performansı artırılmıştır. ADOM algoritması, şerit gürültüsünü gidermek için geliştirilmiş bir optimizasyon modelidir ve bu modelin parametreleri TSA ve PSO algoritmaları ile optimize edilmiştir. Her iki algoritma da ADOM algoritmasının parametrelerini optimize ederek, şerit gürültüsünün giderilmesi sürecini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. ADOM algoritmasının performansı, TSA ve PSO algoritmaları ile optimize edildikten sonra, şerit gürültüsünü giderme yetenekleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, TSA ve PSO algoritmasının ADOM algoritmasını optimize etmede başarılı olduğunu göstermiştir. Benzer hesaplama maliyetinde ADOM-TSA ve ADOM-PSO algoritmalarının yalnız ADOM algoritması ve şerit gürültüsünü giderme ve görüntü kalitesini artırma konusunda istatistiksel olarak daha iyi sonuçlar ürettiğini gözlenmiştir. ADOM-TSA, ADOM-PSO'ya kıyasla şerit gürültüsünü gidermede daha yüksek bir performans sergilemiştir. Gelecekteki çalışmalar, farklı sezgisel algoritmaların denenmesi ve işlem maliyeti azaltılırken daha yüksek başarımın elde edilmesi üzerine odaklanmalıdır.

Improving ADOM Algorithm with Heuristics for Stripe Noise Removal in Remote Sensing Images

Article Info

ABSTRACT

Received: 23.05.2024
Accepted: 31.08.2024
Published: 31.12.2024

Keywords:

ADOM,
Tree-Seed Algorithm,
Particle Swarm Optimization,
ADOM-PSO,
ADOM-TSA,
Noise Removal.

Remote sensing systems are critically important for monitoring and analyzing changes on the Earth's surface. However, the images obtained from these systems can contain various types of noise, which can adversely affect the accuracy of measurements. This study aims to optimize the performance of the ADOM (Alternating Direction Method of Multipliers) algorithm to remove stripe noise in remote sensing images. To this end, the performance of the ADOM algorithm has been enhanced using two heuristic optimization algorithms: Tree-Seed Algorithm (TSA) and Particle Swarm Optimization (PSO). The ADOM algorithm is an optimization model developed to remove stripe noise, and the parameters have been optimized using TSA and PSO algorithms. Both algorithms aim to improve the stripe noise removal process by optimizing the parameters of the ADOM algorithm. After optimizing the performance of the ADOM algorithm with TSA and PSO algorithms, their abilities to remove stripe noise were compared. The results showed that TSA and PSO algorithm were successful in optimizing the ADOM algorithm. It has been observed that, at similar computational costs, ADOM-TSA and ADOM-PSO algorithms produce statistically better results than the plain ADOM algorithm in removing stripe noise and improving image quality. ADOM-TSA showed a higher performance in strip noise removal compared to ADOM-PSO. Future work should focus on testing different heuristic algorithms and achieving higher performance while reducing the processing cost.

To cite this article:

Eroğlu, İ.N. & Akyürek, H.A. (2024). Uzaktan algılama görüntülerinde şerit gürültüsü giderimi için ADOM algoritmasının sezgiseller ile geliştirilmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 411-443. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.56>

*Sorumlu Yazar: Hasan Ali Akyürek, hakyurek@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsan faaliyetlerinin hız kazanmasıyla birlikte, Dünya'nın yüzeyi son yıllarda çeşitli arazi örtüsü değişiklikleriyle önemli ölçüde değişime uğramıştır [1]. Yer bilimi çalışmaları, birden fazla zaman ölçeğinde iklim değişikliği, mahsul üretiminin tahmin edilmesi, arazi kaynaklarının izlenmesi ve insan faaliyetinin ekosistem üzerindeki etkisinin anlaşılması gibi konuları ele almaktadır [2]. Bu tür problemlerin çözümünde ise uzaktan algılama sistemleri büyük önem taşımaktadır. Söz konusu sistemler, Dünya'yı uzaktan gözlemleyerek çeşitli ölçümler yapılmasına olanak sağlamaktadır. Uzaktan algılama sistemleri, yeryüzündeki ve gökyüzündeki sensörleri kullanarak bu ölçümleri desteklemektedir.

Uzaktan algılama, belirli durumları sensörler aracılığıyla tespit etme ve analiz etme sürecini kapsamaktadır. Bu teknoloji, elektromanyetik radyasyonun uzaktaki nesnelerle etkileşerek yansması ve bu yansımanın algılanmasıyla nesnenin özelliklerini belirleme amacını taşımaktadır [3]. Uzaktan algılama görüntüleri (RSI), görüntüleme ve dijitalleştirme işlemleriyle elde edilmektedir ve bu veriler, Dünya'yı gözlemleme ve iklim değişikliği gibi farklı amaçlar için kullanılmaktadır [4]. Uzaktan algılama teknolojisinin hızla gelişmesi ve Dünya gözlem uydularının çeşitlenmesiyle birlikte, bu görüntüler yer bilimi çalışmalarında önemli bir veri kaynağı haline gelmiştir [1]. Uzaktan algılama görüntülerinde sensör özelliklerinden, sinyal iletiminden ve çevresel koşullardan kaynaklı çeşitli gürültüler oluşmaktadır ve bu gürültüler yer bilimi çalışmalarındaki ölçümleri etkilemektedir. Bu nedenle, bu gürültülerin giderilmesi için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir.

Song vd. [5] uzaktan algılama görüntülerindeki şerit gürültüsünü azaltmak için bir ağırlıklı çift seyreklikli tek yönlü varyasyon (WDSUV) modeli oluşturmuştur. Bu modelde, iki varyasyon terimi ve iki seyreklik terimi kullanarak yoğun şerit alanını, aşırı alanı ve düzenli gürültüyle bozulmuş alanların işlenmesi sağlanmıştır. Ardından, optimizasyon modelini alternatif bir minimizasyon çözümünde kullanmak için alternatif yönlü çarpanlar yöntemi (ADMM) kullanılmıştır.

Zhang vd. [6] yaptıkları çalışmada uzaktan algılama görüntülerindeki Gauss gürültüsünü gidermek amacıyla, kenar algılama ve diferansiyel gelişim (DE) yöntemlerine dayanan çoklu-optimizasyonlu ikili filtreleme (MOBF) algoritması önermişlerdir. Önerdikleri algoritmada, DE algoritmasını kullanarak, gri değer alanının standart sapmasına dayanan popülasyondaki bireyler, gizli çözüm vektörlerini iyileştirmek ve standart sapmayı optimize etmek için en uygun renk alanını belirlemek için yinelemeli mutasyon, çarpazlama ve seçim işlemlerine tabi tutulmuştur [6].

Han vd. [7] uzaktan algılama görüntülerindeki gürültüler için derin öğrenme yaklaşımı temelli bir gürültü giderici ağ modeli (RSIDNet) geliştirmişlerdir. Bu ağ temel olarak çok ölçekli öznetelik çıkarma modülü (MFE), birden fazla yerel bağlantılı gelişmiş dikkat bloğu (ECA), global özellik birleştirme bloğu (GFF) ve gürültülü görüntü yeniden oluşturma bloğu (NR) içerir. Bu modüllerin birleştirilmesi, çıkarılan özneteliklerin model tarafından daha iyi kullanılmasını sağlamaktadır ve modelin gürültü giderme yeteneğini artırmaktadır.

Zhou vd. [8] geliştirdikleri modelde uzaktan algılama görüntülerinden daha fazla öznetelik çıkarabilmek amacıyla, ağırlı algılayıcı alanını artırmak için DnCNN (denoising evrişimli sinir ağı) ağ çerçevesine genişletilmiş evrişim dahil etmiştir. Algoritmanın uygulanabilirliğini doğrulamak için yaptıkları çalışmada uzaktan algılama görüntüsünde Gauss ve tuz-biber gürültüsü giderme deneyleri ve gürültüsüz görüntüde kenar algılama analizleri gerçekleştirilmiştir. Objektif değerlendirme açısından, farklı gürültü giderme algoritmalarının performansı, ortalama kare hatası (MSE), tepe sinyal-gürültü oranı (PSNR) ve ortalama yapısal benzerlik indeksi (MSSIM) gibi ölçümler kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Yan vd. [9] çalışmalarında uzaktan algılama görüntülerinde yatay şerit gürültüsünü ortadan

kaldırmak için yeni bir tek yönlü varyasyon modeli önermişlerdir. Şerit gürültüsünün küresel seyrekliğini ve dikey görüntü gradyanlarının yerel seyrekliğini karakterize etmek için quasinorm değerini kullanmaktadır. Bu değer doku desenlerini tamamen ayrılmış bir şekilde yakalamak için kullanılmaktadır. Ayrıca önerilen dışbükey olmayan modeli çözmek için ADMM tabanlı bir model geliştirmişlerdir.

Wang vd. [10] çalışmalarında hiperspektral uzaktan algılama görüntülerinde çoklu-detektör çizgisel tarama görüntüleme sistemlerinde oluşan şerit gürültüsünün giderimi için çok-ölçekli genişletilmiş tek yönlü evrişim ağı (MsDUC) yöntemini önermişlerdir. Bu yöntem, uzamsal-spektral korelasyonu korurken 3 boyutlu hiperspektral görüntülerde şerit gürültüsü giderimi için evrişim ağlarını kullanmaktadır.

Uzaktan algılama görüntülerindeki şerit gürültüsünü gidermede metot geliştiren başka bir çalışmada, doğrusal çizgi gürültü tespit algoritması (LSND) tabanlı bir model önerilmiştir. Li vd. [11] önerdikleri modelde doğrusal dönüşüm yoluyla şerit gürültüsü içeren çok sayıda uzaktan algılama görüntüsünü simüle ettikten sonra, eğitim süreci için yeni bir kayıp fonksiyonu ve algılama sürecinde kullanılan doğrusal nesnelerin bastırılmasını tasarlayarak LSND adı verilen yeni bir doğrusal şerit gürültüsü algılama algoritması geliştirmişlerdir.

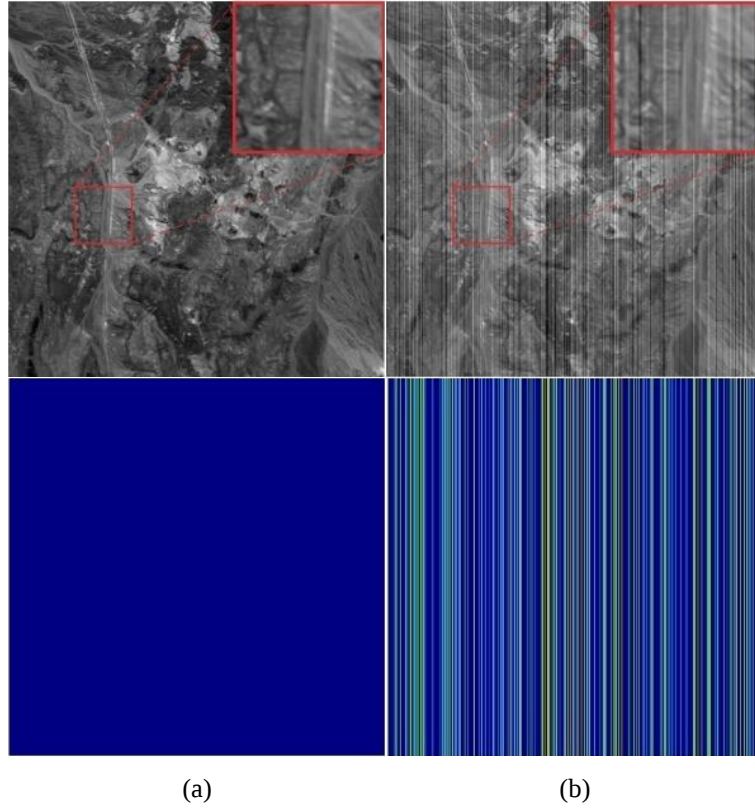
Bu çalışmada kullanılan ve Kim vd. [4] tarafından geliştirilen ADOM algoritması ise gözlemlenen görüntüden şerit gürültüsü bileşenlerini bulmaya yönelik bir optimizasyon fonksiyonu önermektedir. Ardından şerit gürültüsü bileşenini çıkarmak amacıyla optimizasyon fonksiyonunu çözmek için bir optimizasyon işlemi uygulanmaktadır. Optimizasyon sürecinde, verimli şerit gürültüsü bileşeni yakalama için ağırlığa dayalı bir algılama stratejisi ve şerit gürültüsünü hızlı bir şekilde ortadan kaldırmak için ADMM kullanılmaktadır.

Sezgisel optimizasyon algoritmaları, çeşitli optimizasyon problemlerini verimli bir şekilde çözmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntem sınıfıdır. Bu algoritmalar, hesaplama açısından pahalı veya kesin optimizasyon yöntemleri kullanılarak çözülmesi mümkün olmayan karmaşık problemler için yaklaşık optimal çözümler bulmak üzere özel olarak tasarlanmıştır[12-15]. Sezgisel optimizasyon algoritmaları, yerel optimizasyonun ötesine geçen ve geniş bir problem yelpazesine uygulanabilen meta-sezgisel teknikleri de kapsamaktadır ve bu teknikler kümeleme problemleri [16], matematiksel problemler [17], görüntü işleme problemleri [18], eğri uydurma problemleri [19], nesne tespit problemleri[20] ve yapay sinir ağlarının eğitimi[21] gibi farklı alanlarda çeşitli problemlerin çözümü için uygulanmıştır.

Bu çalışmada RSI görüntülerindeki dikey şerit gürültüsünün giderilmesi amacıyla geliştirilen ADMM tabanlı ADOM algoritmasının, gürültü gidermedeki sürecini optimize edebilmek için sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Bu algoritmalarından iki tanesi kullanılmış olup gürültü gidermedeki iyileştirme performansı karşılaştırılmıştır. ADOM algoritmasında kullanılan parametreler sezgisel algoritmalarından Ağaç-Tohum (TSA)[12] ve Parçacık-Sürü Optimizasyonu (PSO)[13, 15] algoritmaları ile optimize edilerek RSI görüntülerinde mevcut olan şerit gürültüsünü gidermedeki işlevselliğin artırılması hedeflenmiştir.

ADOM algoritmasında bulunan lambda parametreleri TSA ve PSO algoritmaları ile optimize edilmiş ve ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının çıktıları piksel bazlı ölçüm kalitesi (PSNR) değeri, yapısal benzerlik endeksi (SSIM) değeri ve orijinal görüntü ile gürültülü görüntü arasındaki ortalama mutlak fark olan D değerleri kıyaslanmıştır. Şerit gürültüsü giderilmiş görüntü ile gözlenen görüntü arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 1.'de örnek şerit gürültülü görüntü, temiz orijinal görüntü ve bu görüntülerden temiz görüntü çıkarıldığında artakalan gürültü örneği verilmiştir. Bu görüntülerde kırmızı çevrelenmiş bölge büyütülerek gürültü ve gürültü giderimi başarısının

gözlemlenebilirliği artırılmıştır. Bu çalışmada sonuçlar karşılaştırılırken, şerit gürültüsünün ne kadar giderildiği ve temiz orijinal görüntüye olan benzerliği incelenmiştir.



Şekil 1

(a) Orijinal temiz görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b) orijinal şerit gürültüsü görüntüsü ve gürültü kalıntısı örneği

MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHOD)

Bu araştırmada kullanılan materyaller ve metotlar ile ilgili detaylı bilgi bu başlık altında toplanmıştır. Öncelikle uzaktan algılama görüntülerinde şerit gürültüsünü giderme amacıyla geliştirilen ADOM algoritması ve parametreleri optimize etmek için kullanılan TSA ve PSO ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır. Deneysel araştırmalar [4, 10] çalışmalarında ve [22] de paylaşılan verisetleri üzerine yürütülmüştür.

ADOM Algoritması (ADOM Algorithm)

ADOM, uzaktan algılama görüntüsünde şerit gürültüsünün giderilmesi için ADMM tabanlı optimizasyon modelidir. Gözlemlenen görüntüden şerit gürültüsü bileşenlerini bulmak için bir optimizasyon fonksiyonu ve ardından şerit gürültüsü bileşenini çıkarmak için optimizasyon fonksiyonunu çözmek için optimizasyon işlemi formüle edilir. Optimizasyon sürecinde, şerit gürültüsü bileşeninin verimli bir şekilde yakalanması için ağırlığa dayalı bir algılama çözümü ve şerit gürültüsünün hızlı bir şekilde giderilmesi için ADMM tabanlı bir hızlandırma stratejisi işlenir. Çarpanların alternatif yön yöntemi (ADMM), amaç fonksiyonu için en uygun çözümü verimli bir şekilde üretmek için optimizasyon problemini daha küçük alt problemlere ayrıştırarak görüntü yok etmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca görüntü restorasyonunda kısıtlı optimizasyon problemlerini çözmek için yaygın olarak kullanılır [23]. ADMM algoritmasının kritik bir özelliği, bir alt problem için herhangi bir hazır görüntüdeki gürültü giderme algoritmasının takılmasına izin veren modüler yapısıdır.

Ağırlığa dayalı algılama stratejisinde, norm ve grup norm ağırlıklarının ayarlanmasıyla oluşturulan ağırlıklı normu kullanarak şerit gürültüsünü etkili bir şekilde tespit eder. Yani oluşturulan ağırlıklı normu kullanarak görüntü ayrıntılarına benzer şerit gürültüsünü ortaya çıkarır. İki kontrol stratejisi kullanarak optimizasyon sürecini hızlandırılır: kanıt tabanlı başlangıç noktası kontrolü ve momentum tabanlı adım boyutu kontrolü. İlki, şerit gürültü bileşenini daha doğru bir şekilde bulmak için eşik parametresini uygun şekilde ayarlayarak bir başlangıç noktası sağlarken, ikincisi momentum katsayısını kullanarak yakınsamayı hızlandırır ve sönümleme katsayısından yararlanarak optimizasyon kararlılığı sağlar [4].

ADOM algoritmasının problem formülasyonunda şeritleme faktörünün eklemeli gürültü olduğu varsayılarak, RSI görüntülerindeki bozulma süreci şu şekilde ifade edilmektedir [4]:

$$O = D + S \quad (1)$$

Buradaki ifade sırasıyla O gözlenen görüntü, D istenen net görüntü ve S şerit gürültüsü bileşenini ifade eder. Denklem (1), O 'yu; D ve S 'nin toplamı olarak temsil eder.

Şerit gürültüsünü etkili bir şekilde gidermek için, şerit gürültüsünü O 'dan direkt olarak gidermek yerine S 'i bulmaya odaklanılır. Böylece, şerit gürültüsü giderme işlemi Denklem (2)'deki gibi gösterilebilir [4]:

$$D = O - S \quad (2)$$

Amaç yüksek kaliteli bir D elde etmek için görüntü ayrıntılarını korurken şerit gürültüsünün ön bilgisini kullanarak S 'i O 'dan ayırmaktır. Denklem (3)'te ADOM algoritmasının amaç fonksiyonu gösterilmiştir [4].

$$\operatorname{argmin}_S \left\{ \nabla_y S_1 + \lambda_1 \nabla_y (O - S)_{w_n,1} + \lambda_2 S_{w_g,2,1} \right\} \quad (3)$$

Burada λ_1 ve λ_2 , farklı terimler arasındaki kısıtlamaları dengelemek için iki pozitif düzenleme parametresidir. Bu değerler, bu çalışmada TSA ve PSO ile optimize edilen parametrelerdir.

$$\nabla_y S_1 \quad (4)$$

$$\lambda_1 \nabla_y (O - S)_{w_n,1} \quad (5)$$

$$\lambda_2 S_{w_g,2,1} \quad (6)$$

Denklem (4), S 'in dikey gradyanı için L_1 -normunu temsil eder. O 'nun dikey gradyanında görünmediğinden, S 'nin dikey gradyanını en aza indirerek S bulunabilir [4].

Denklem (5), O ve S arasındaki farkın yatay gradyanı için ağırlıklı L_1 -normunu gösterir. Geleneksel L_1 -normunu kullanan yöntemler, şerit gürültüsüne benzer özelliklere yapışma eğilimi gösterdiğinden bazı bilgilerin kaybına neden olabilir. Bunu çözmek için, S 'i daha doğru bir şekilde tespit etmek amacıyla geleneksel L_1 -normunu eşit yoğunlukta bir ' w_n ' norm ağırlığı ile birleştiren ağırlıklı L_1 -normunu kullanılır [4].

Denklem (6), S 'nin ağırlıklı $L_{2,1}$ normunu gösterir. Geleneksel $L_{2,1}$ -normu, şerit gürültüsünü bulma konusunda sınırlamalara sahiptir. Bu sorunu çözmek için, geleneksel $L_{2,1}$ normunu bir grup normu ağırlığı ' w_g ' ile birleştiren ağırlıklı bir $L_{2,1}$ normu kullanılır. Ağırlıklı $L_{2,1}$ -normu geleneksel $L_{2,1}$ -normu ile her iterasyon adımında farklı yoğunluklara sahip her grupta ' w_g ' kullanarak S daha etkili bir şekilde tespit edebilir [4].

$$\begin{aligned} & \underset{A,B,C,S}{\operatorname{argmin}} \{A_1 + \lambda_1 B_{w_n,1} + \lambda_2 C_{w_g,2,1}\} \\ & \text{s. t. } A = \nabla_y S, B = \nabla_x (O - S), C = S \end{aligned} \quad (7)$$

Denklem (7), hesaplama verimliliği için A , B ve C yardımcı değişkenlerini tanıtarak amaç fonksiyonu kısıtlı amaç fonksiyonuna dönüştürülmesini göstermektedir [4].

Ağaç-Tohum Algoritması (Tree-Seed Algorithm)

Sürekli optimizasyon problemlerini çözmek için önerilen popülasyon tabanlı bir sezgisel arama algoritması olan TSA, 2015 yılında geliştirilmiştir [12]. TSA, ağaçlar ve tohumlardan oluşan bir yapı kullanarak olası çözümleri temsil etmektedir. Algoritmanın başlangıç aşamasında, ağaçlar arama uzayında rastgele olarak oluşturulur.

TSA algoritmasında iki özel kontrol parametresi bulunmaktadır: arama eğilimi (ST) ve her ağaç için üretilcek tohum sayısı (NS). TSA'da iki güncelleme denklemi kullanılır ve ST , güncelleme denkleminin seçimini kontrol ederken, NS üretilcek tohum sayısını belirler. İlgili çalışmada yapılan analizler, ST 'nin 0,1 için uygun olduğunu ve NS 'nin topluluğun %10 ile %25'i arasında değişebileceğini göstermiştir. Bu parametreler, optimizasyon probleminin özelliklerine bağlı olarak ayarlanmalıdır [12].

Arama uzayında iki denklem bulunmaktadır. Denklem (8), ağaç popülasyonunun en iyi konumu için tohumların üretilmesini ifade eder [12].

$$S_{i,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j}(B_j - T_{r,j}) \quad (8)$$

Burada $S_{i,j}$, ağaçla üretilcek tohumun j 'inci boyutunu, $T_{i,j}$ ise i 'inci ağacın j 'inci boyutunu temsil eder. B_j , en iyi ağacın j 'inci boyutunu ifade etmektedir. $\alpha_{i,j}$, $[-1, 1]$ aralığında rastgele üretilen ölçeklendirme faktörünü ifade etmektedir.

Denklem (9) ise yeni bir tohum üretimi için popülasyon içinde iki farklı ağaç konumu kullanılır [24].

$$S_{i,j} = T_{i,j} + \alpha_{i,j}(T_{i,j} - T_{r,j}) \quad (9)$$

Burada $S_{i,j}$, ağaçla üretilcek tohumun j 'inci boyutunu, $T_{i,j}$ ise i 'inci ağacın j 'inci boyutunu temsil eder. $T_{r,j}$, ise i 'inci ağacın j 'inci boyutunu ifade etmektedir. $\alpha_{i,j}$, $[-1, 1]$ aralığında rastgele üretilen ölçeklendirme faktörünü ifade etmektedir.

Başlangıç ağaç konumları şu denklem (10) kullanılarak üretilir:

$$T_{i,j} = L_{j,min} + r_{i,j}(H_{j,max} - L_{j,min}) \quad (10)$$

Burada $L_{j,min}$, arama uzayının alt sınırını, $H_{j,max}$, arama uzayının üst sınırını temsil eder ve $r_{i,j}$, her bir boyut ve konum için $[0, 1]$ aralığında rastgele üretilen bir sayıdır. Optimizasyon problemine olası çözümler olan başlangıç ağaç konumları bu denkleme göre belirlenir [12].

Minimizasyon için popülasyondan en iyi çözüm denklem (11) kullanılarak seçilir:

$$B = \min\{f(\vec{T}_i)\} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (11)$$

Burada N , popülasyondaki ağaç sayısını ifade eder.

Başlangıç kümesi rastgele belirlenen bir miktarda oluşturulur. Problemdaki amaç fonksiyonu değerinin hesaplanabilmesi için oluşturulan N tane popülasyondaki her bir ağaç modellenir. Bu hesaplamadan sonra, çözüm için her bir ağaç için tohumlar üretilir. Tohumların amaç fonksiyonu değerleri hesaplanır ve kendi ana ağaçları ile kıyaslanır. Başarılı olan tohum, mevcut popülasyonun en

yeni ağacı olur. Popülasyondaki ağaç ve tohumların karşılaştırılmasından sonra oluşan yeni popülasyon arasından en optimize ağaç tespit edilir. Süreç boyunca ağaçlar ve tohumlar arama uzayı boyunca yinelenmeli olarak güncellenir ve küresel ve yerel aramayı tamamlamak için sürekli olarak yeni tohumlar üretilir [25]. En başta belirlenen maksimum değere ulaşana kadar tohum üretimi ve karşılaştırma işlemi devam eder. Maksimum sayıya ulaşıldığında, elde edilen sonuç en uygun çözüm olarak kabul edilir [12].

TSA algoritmasında amaç fonksiyonu çalıştırılma sayısı popülasyon boyutuna ve tohum sayısı rassallığına (%10-%25 arasında) bağlı olarak değişeceği için popülasyon sayısı N , 40 olarak belirlenmiş, ST parametresi literatürde yer aldığı gibi 0,1 olarak bırakılmıştır. Böylece çalıştırılan toplam ADOM adımı diğer algoritmalarla doğru bir kıyaslama yapılabilmesi için eşit tutulmaya çalışılmıştır.

Parçacık-Sürü Optimizasyonu Algoritması (Particle-Swarm Optimization Algorithm)

PSO algoritması, popülasyon tabanlı sezgisel algoritmalar arasında popüler bir yöntemdir. 1995 yılında tanıtılmasından bu yana geniş çapta araştırılmış ve yüzlerce PSO versiyonu geliştirilmiştir. Bu araştırmalar, algoritmanın yakınsaması ve parametreleştirilmesine ilişkin çok sayıda teorik ve ampirik bulguya yol açmıştır [26].

Çoğu uygulamada, PSO algoritmasını kullananlar, 1995'teki ilk öneriyi takip ederek popülasyon boyutunu 20-50 parçacıkla sınırlandırmaktadır [26]. Bu algortmada, tamamen bağlantılı bir sürü bulunmaktadır; bu, tüm parçacıkların bilgiyi paylaştığı anlamına gelmektedir. Her parçacık, sürüdeki herhangi bir parçacığın şimdiye kadar bulunduğu en iyi konumu bilir [13, 15]. PSO'nun ilk aşamasında, tüm parçacıkların konumları ve hızları rastgele olarak başlatılır. Sonraki adımda, her parçacık kendi geçmişindeki en iyi konumu yerel optimum, tüm parçacıklar arasındaki en iyi konumu ise global optimum olarak kaydeder [27].

Her parçacığın konumu denklem (12) ve hızı denklem (13) ile hesaplanmaktadır.

$$x_{i,d}(it + 1) = x_{i,d}(it) + v_{i,d}(it + 1) \quad (12)$$

$$v_{i,d}(it + 1) = wv_{i,d}(it) + C_1 Rnd(0,1)[pb_{i,d}(it) - x_{i,d}(it)] + C_2 Rnd(0,1)[gb_d(it) - x_{i,d}(it)] \quad (13)$$

Hız denkleminde, hız güncellemesi, her biri özel bir anlama sahip olan farklı bileşenlerin toplamından oluşur [13, 15]. İlk terim, önceki hızı ifade eden momentum bileşenidir. İkinci terim, parçacığın şimdiye kadar bulunduğu en iyi konuma olan mesafesine dayanan bilişsel bileşendir. Üçüncü terim ise, sürüdeki herhangi bir parçacığın bulunduğu en iyi konuma olan mesafesine dayanan sosyal bileşendir.

Konum açısından, sürüdeki tüm parçacıklar arama uzayında istenilen şekilde dağıtılarak n boyutlu uzayda konumlandırılır. Bunu yapmanın iki yaygın yolu, parçacıkları rastgele veya düzgün bir şekilde konumlandırmaktır. Hız genellikle rastgele bir değere ayarlanır, ancak büyük başlangıç sapmalarını önlemek için daha düşük hızlar genellikle daha uygundur. Sosyal ve bilişsel bileşenlerin ölçek değerleri, optimizasyon süreci boyunca sabit tutulur ve başlangıç aşamasında belirlenir [13, 15].

PSO algoritmasının parametrelerinin belirlenmesi ile ilgili literatürde birçok yöntem önerilmiştir [28]. Literatürde yer alan çalışmalarda ve önerilen yöntemler referans alınarak w , C_1 ve C_2 parametreleri sırasıyla 0.5, 1.5 ve 1.5 olarak belirlenmiştir. Parçacık sayısı ve toplam iterasyon sayısı ise toplam ADOM adımı eşit olacak şekilde sırasıyla 10 ve 30 olarak belirlenmiştir.

ADOM-PSO & ADOM-TSA Algoritmaları (ADOM-PSO & ADOM-TSA Algorithms)

ADOM algoritmasının başarılı sonuçlar üretebilmesi için çözmeye çalıştığı alt problemlerin parametrelerinin tayini oldukça önemlidir. Bu parametreler özellikle yakınsama süreçlerine ciddi etki etmektedir. Bu nedenle optimum yakınsamayı sağlamak için optimum parametrelerin tespit edilmesi

gerekmektedir. Önerilen yöntemde ADOM algoritmasının yakınsama değerini belirlenen iterasyon sayısında minimize eden parametreleri PSO ve TSA algoritmaları ile tespit edilerek, ADOM algoritması bu tespit edilen parametreler ile çalıştırılması sağlanmaktadır. ADOM, PSO ve TSA algoritmaları için seçilen parametreler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1

Algoritmaların parametreleri

Parametre\Algoritma	ADOM	ADOM-PSO	ADOM-TSA
λ_1	0,01	[0,001 – 0,02]	[0,001 – 0,02]
λ_2	0,01	[0,001 – 0,02]	[0,001 – 0,02]
N	-	10	40
ST	-	-	0,1
w	-	0,5	-
C_1	-	1,5	-
C_2	-	1,5	-

Yapay şerit gürültüleri [4] de önerilen periyodik olmayan şeritler referans alınarak üretilmiş ve -40 ile 40 arasında yoğunlukta rastgele oluşturulan şerit gürültüleri referans görüntüde %40 gürültü oluşturacak şekilde rastgele dağıtılmıştır.

Önerilen yöntemin sözde-kodu Şekil 2’de verilmiştir.

```

{
    Görüntüyü yükle
    Yapay şerit gürültüsü ekle
    Optimum parametreleri bul (PSO/TSA ve Amaç Fonksiyonu=ADOM(max_iter=20)Hata oranı)
    return ADOM(max_iter=2000,params=optimal)
}

```

Şekil 2

Önerilen yöntemin sözde-kodu

Üretilen yapay şerit gürültülü görüntünün gürültüsünün giderimi için optimal parametrelerin tayini için PSA/TSO optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Bu algoritmalarının optimum parametre tespiti yaparken ihtiyacı olan amaç fonksiyonu olarak ADOM algoritmasını 20 iterasyon çalıştırılarak duraklatılmış elde edilen hata oranının minimize edilmesi hedeflenmiştir. Böylece hızlı bir şekilde yakınsama başarımı yüksek olan parametreler tespit edilerek ADOM algoritması bu parametreler ile nihai olarak çalıştırılmaktadır.

BULGULAR (RESULTS)

Çalışma literatürde yaygın bir şekilde kullanılan 9 farklı RSI görüntüsü ile yapılmıştır. Görüntüler sırasıyla Cuprite1, Botswana, Cuprite2, KSC, MUUFL Gulfport, PaviaC, PaviaU, Salinas ve Urban görüntüleridir [4, 22, 29]. Çalışma i9-14900 işlemci üzerinde Matlab 2024a kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Algoritma performansları çalışma süresi, Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index Measure (SSIM), piksel başına hata (D error/px) ve toplam ADOM adımı (ADOM STEP) metrikleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca, elde edilen sonuçlar arasındaki farklılığı istatistiksel olarak anlamlılığını ölçmek için Wilcoxon Signed-Rank testi ile algoritmaların istatistiksel olarak anlamlı performans farklılıkları belirlenmiştir. Test sonuçları P-değerlerine göre değerlendirilmiş ve anlamlı farklar "+" ile gösterilmiştir. Her üç yöntem de 15 farklı tur çalıştırılmış ve sonuçların ortalamaları ve standart sapmaları uzaktan algılama görüntüleri için Tablo 2. de verilmiştir.

Tablo 2*Çıktı değerleri ve değerlerin karşılaştırılması*

VERİ SETİ	ALGORİTMA	ÇALIŞMA SÜRESİ(sn)	PSNR	SSIM	D (error/px)	ADOM STEP
RSI-1	ADOM	29±1	46,23±1,59	99,7762%±0,00	0,84±0,12	4000±0
	ADOM-PSO	30±1	45,25±1,52	99,6864%±0,00	0,93±0,12	4000±0
	ADOM-TSA	31±2	45,31±1,63	99,6909%±0,13	0,92±0,13	4234±112
RSI-2	ADOM	28±1	57,57±2,13	99,9863%±0,00	0,23±0,05	4000±0
	ADOM-PSO	28±1	58,09±3,96	99,9738%±0,00	0,22±0,16	4000±0
	ADOM-TSA	31±1	58,77±1,46	99,9895%±0,04	0,19±0,04	4385±70
RSI-3	ADOM	28±1	54,30±2,36	99,9783%±0,00	0,35±0,08	4000±0
	ADOM-PSO	29±1	40,04±1,81	98,2342%±0,01	1,40±0,29	4000±0
	ADOM-TSA	31±1	40,40±5,48	97,5303%±0,78	1,57±0,78	4230±75
RSI-4	ADOM	28±1	61,48±2,79	99,9771%±0,00	0,16±0,04	4000±0
	ADOM-PSO	28±0	63,32±11,14	99,9879%±0,01	0,32±0,55	4000±0
	ADOM-TSA	31±1	62,10±6,99	99,9856%±0,16	0,23±0,16	4422±110
RSI-5	ADOM	29±1	43,37±2,27	99,6961%±0,00	1,16±0,29	4000±0
	ADOM-PSO	29±1	43,33±2,25	99,6914%±0,00	1,16±0,29	4000±0
	ADOM-TSA	31±1	43,57±2,19	99,7829%±0,29	1,15±0,29	4200±127
RSI-6	ADOM	29±1	42,47±1,33	99,8322%±0,00	1,33±0,19	4000±0
	ADOM-PSO	30±1	42,60±1,28	99,8328%±0,00	1,33±0,16	4000±0
	ADOM-TSA	31±2	42,63±1,27	99,8342%±0,16	1,33±0,16	4252±111
RSI-7	ADOM	28±1	47,36±1,28	99,8876%±0,00	0,72±0,09	4000±0
	ADOM-PSO	29±1	47,42±1,36	99,8890%±0,00	0,71±0,09	4000±0
	ADOM-TSA	31±1	47,29±1,32	99,8806%±0,10	0,73±0,10	4264±129
RSI-8	ADOM	28±1	47,29±2,73	99,9614%±0,00	0,55±0,11	4000±0
	ADOM-PSO	29±1	43,34±5,26	99,2876%±0,01	1,08±0,48	4000±0
	ADOM-TSA	31±1	45,09±4,08	99,6275%±0,39	0,87±0,39	4268±68
RSI-9	ADOM	28±1	44,67±1,45	99,7263%±0,00	0,99±0,16	4000±0
	ADOM-PSO	29±1	44,54±1,25	99,7187%±0,00	1,00±0,14	4000±0
	ADOM-TSA	31±1	44,71±1,35	99,7298%±0,14	0,99±0,14	4222±90

Elde edilen sonuçlar arasındaki farklılığı istatistiksel olarak anlamlılığını ölçmek için yapılan Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçları ise Tablo 3'te verilmiştir.

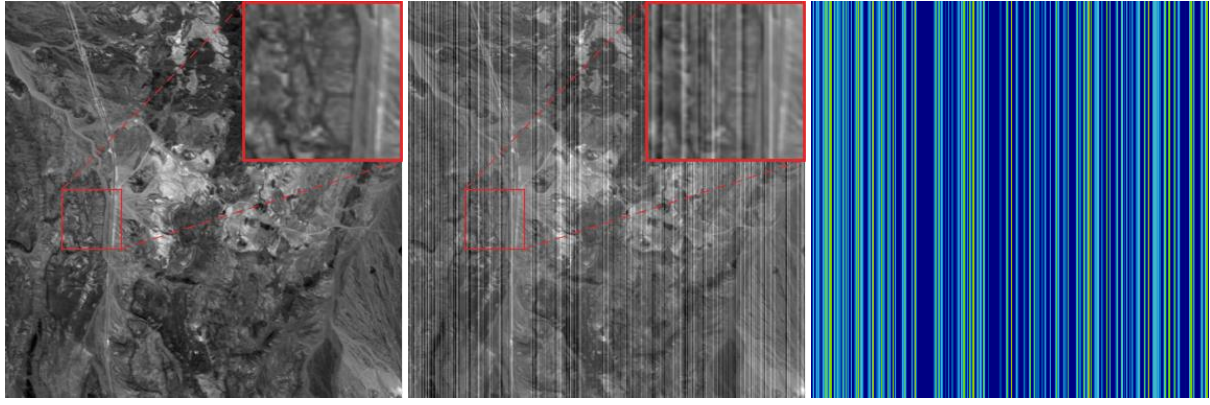
Tablo 3*Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçları*

ALGORİTMA\VERİ SETİ	RSI-1	RSI-2	RSI-3	RSI-4	RSI-5	RSI-6	RSI-7	RSI-8	RSI-9
ADOM-PSO	-	+	-	+	-	+	+	-	-
ADOM-TSA	-	+	-	+	+	+	-	-	+

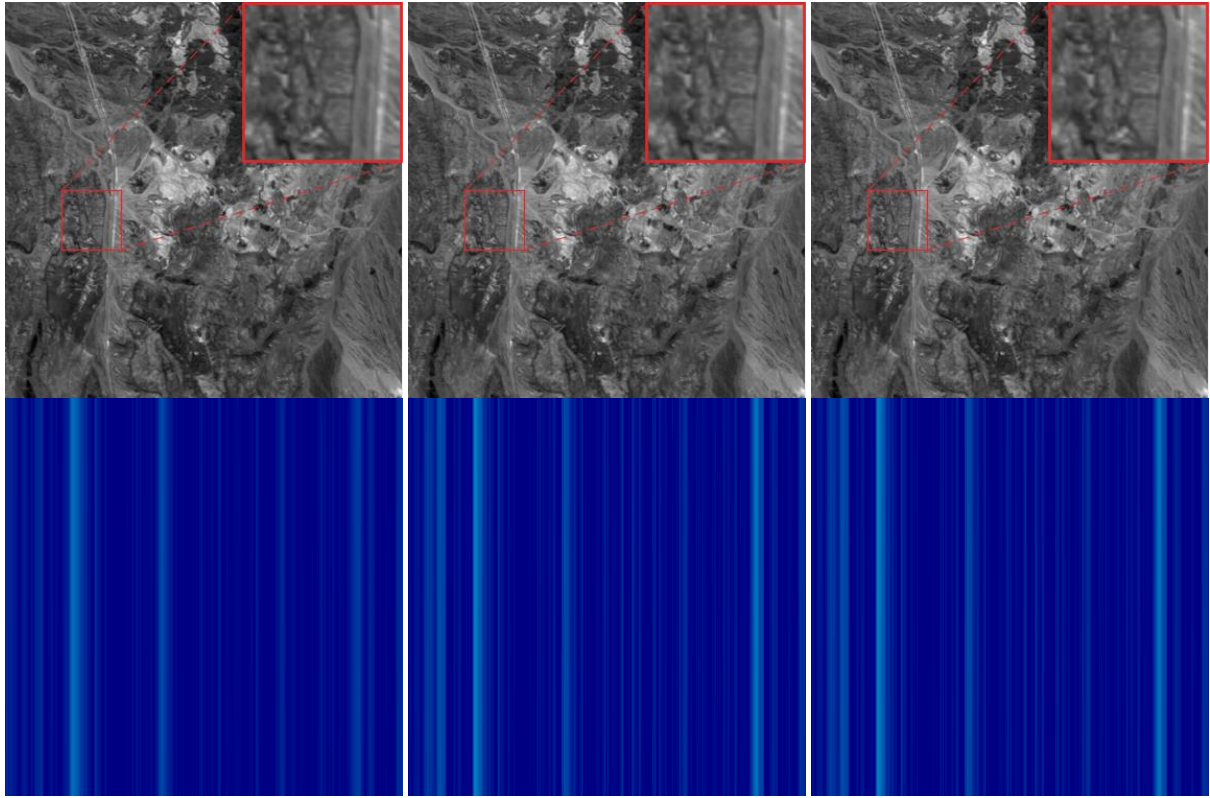
* $p < 0,05$ olan değerler (+) olarak, diğer değerleri ise (-) olarak gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlar PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre her bir veri seti için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve sırayla verilmiştir.

RSI-1 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmaların ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 3'te verilmiştir.



(a)



(b)

(c)

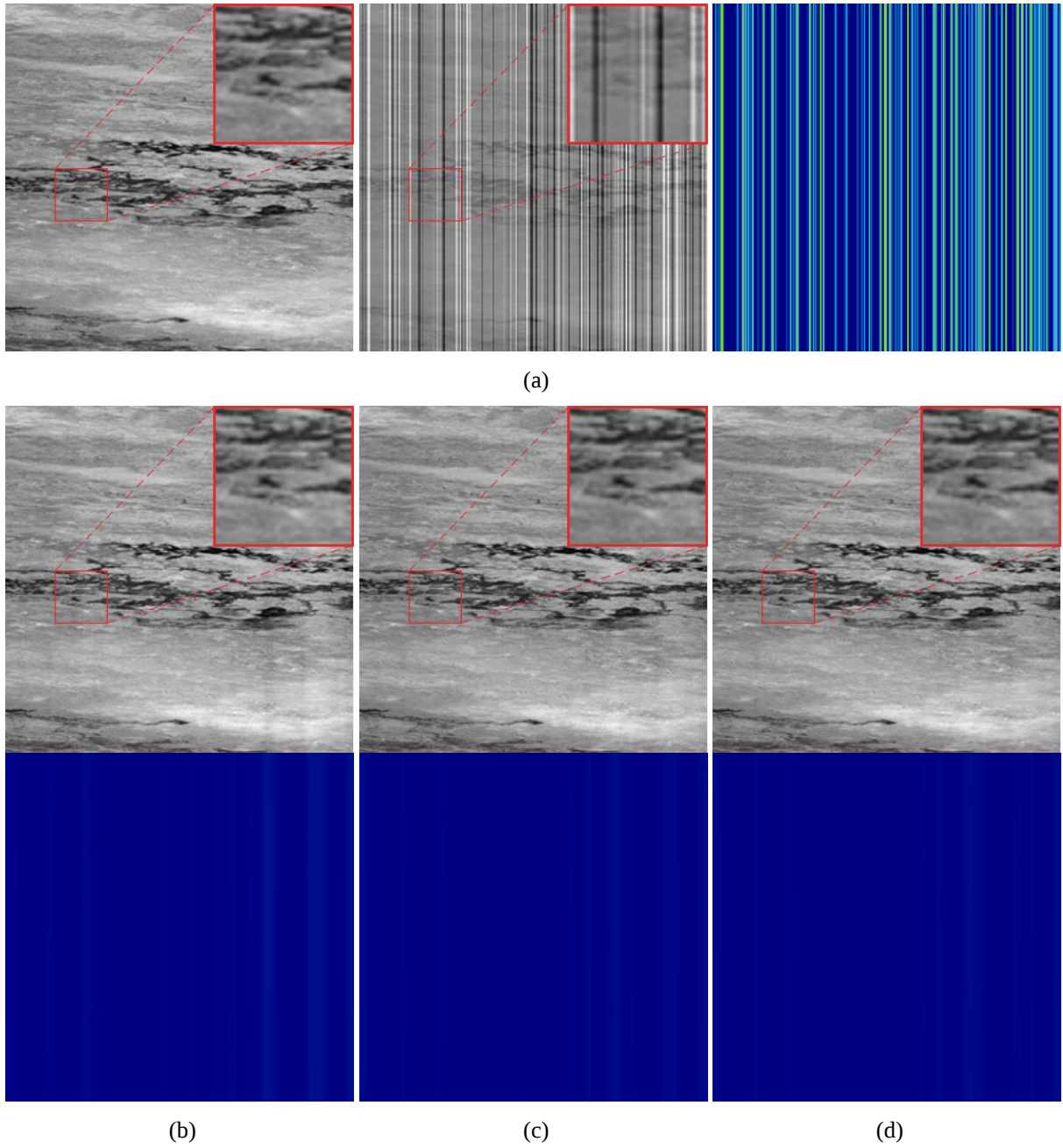
(d)

Şekil 3

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

RSI-1 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması 29 ± 1 saniyede $46,23 \pm 1,59$ PSNR ve $\%99,7762 \pm 0,00$ SSIM ile temel performansı göstermiştir. ADOM-PSO $45,25 \pm 1,52$ PSNR ve $\%99,6864 \pm 0,00$ SSIM ile yakın performans sergilemiştir. ADOM-TSA ise $45,31 \pm 1,63$ PSNR ve $\%99,6909 \pm 0,13$ SSIM ile yakın sonuçlar vermiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre her iki algoritma da ADOM algoritmasına göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermemektedir ($P\text{-Value} \geq 0,05$).

RSI-2 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmaların ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 4'te verilmiştir.

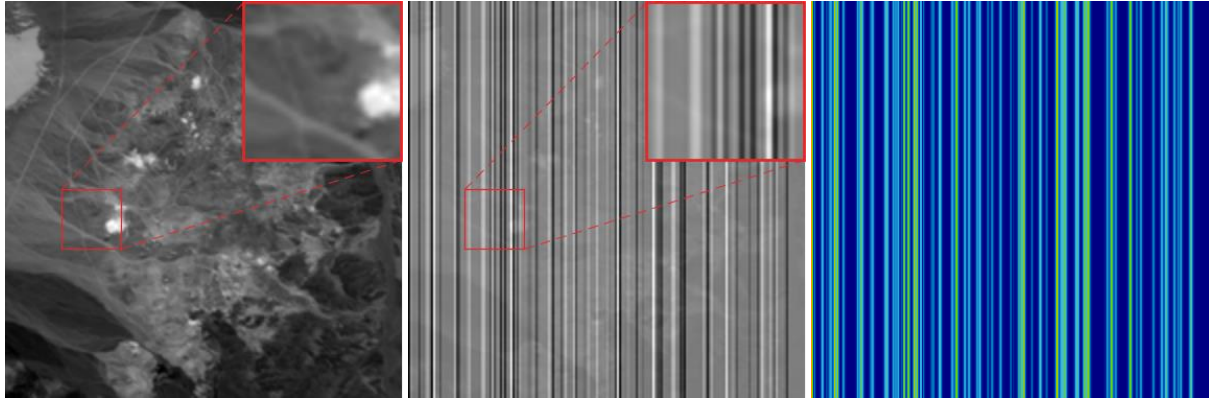


Şekil 4

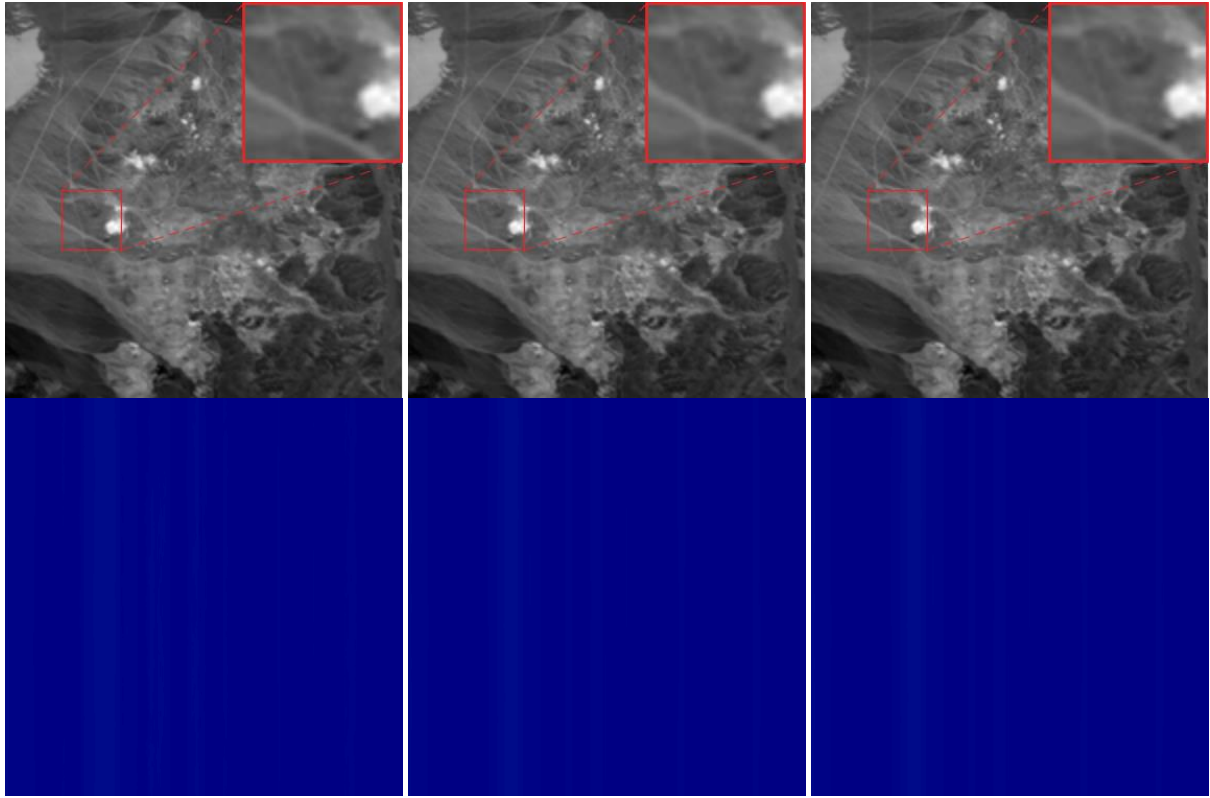
(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

RSI-2 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM $57,57 \pm 2,13$ PSNR ve $\%99,9863 \pm 0,00$ SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO kombinasyonu $58,09 \pm 3,96$ PSNR ve $\%99,9738 \pm 0,00$ SSIM ile benzer performans göstermiştir. ADOM-TSA ise $58,77 \pm 1,46$ PSNR ve $\%99,9895 \pm 0,04$ SSIM ile daha yüksek performans sergilemiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre her iki algoritma da ADOM algoritmasına göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha iyi performans göstermektedir (P-Value < 0,05).

RSI-3 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmaların ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 5'te verilmiştir.



(a)



(b)

(c)

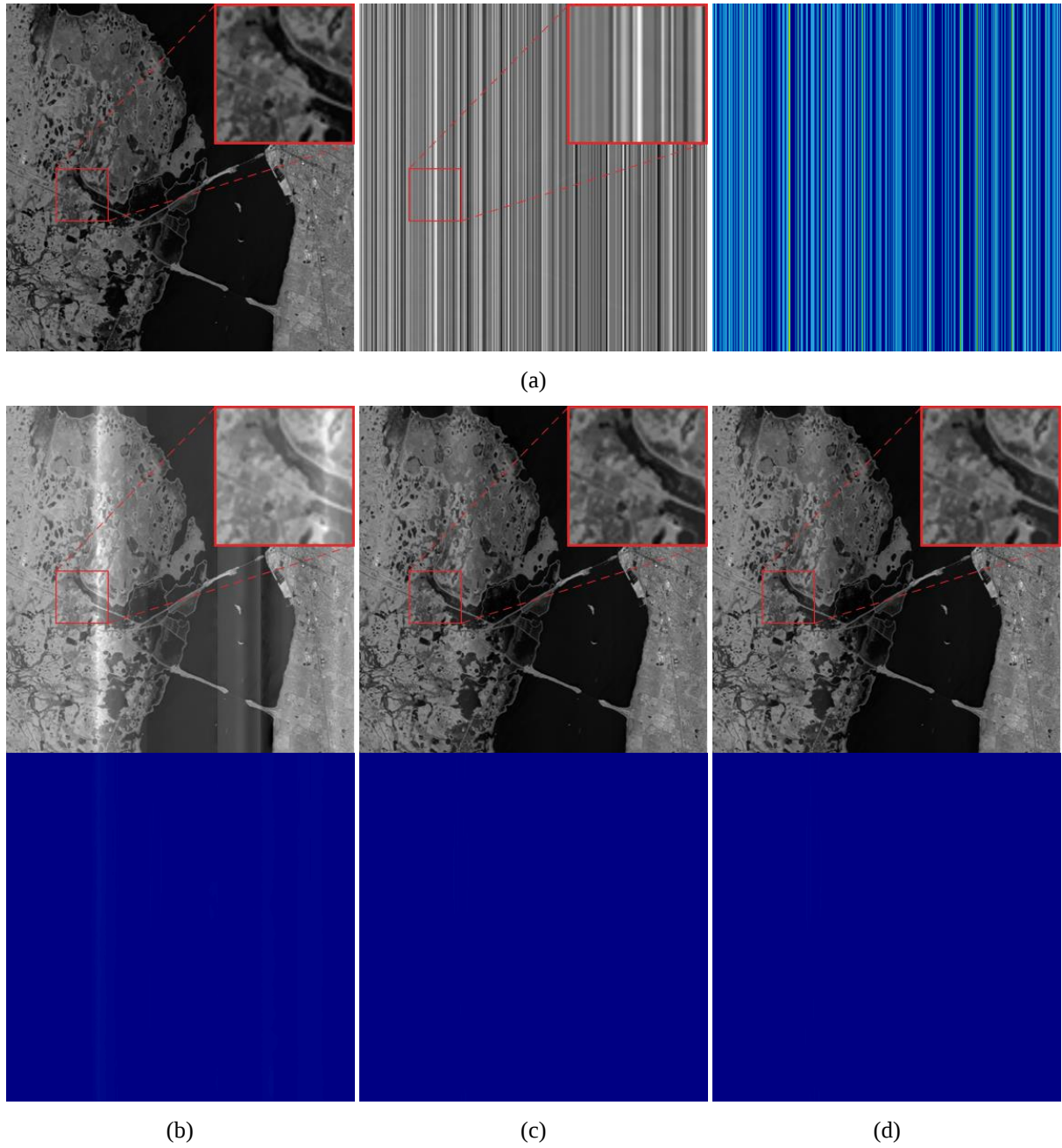
(d)

Şekil 5

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

RSI-3 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması $54,30 \pm 2,36$ PSNR ve $\%99,9783 \pm 0,00$ SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO $40,04 \pm 1,81$ PSNR ve $\%98,2342 \pm 0,01$ SSIM ile düşük performans göstermiştir. ADOM-TSA ise $40,40 \pm 5,48$ PSNR ve $\%97,5303 \pm 0,78$ SSIM ile benzer şekilde düşük performans sergilemiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre her iki algoritma da ADOM algoritmasına göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermemektedir ($P\text{-Value} \geq 0,05$).

RSI-4 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmaların ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 6'da verilmiştir.

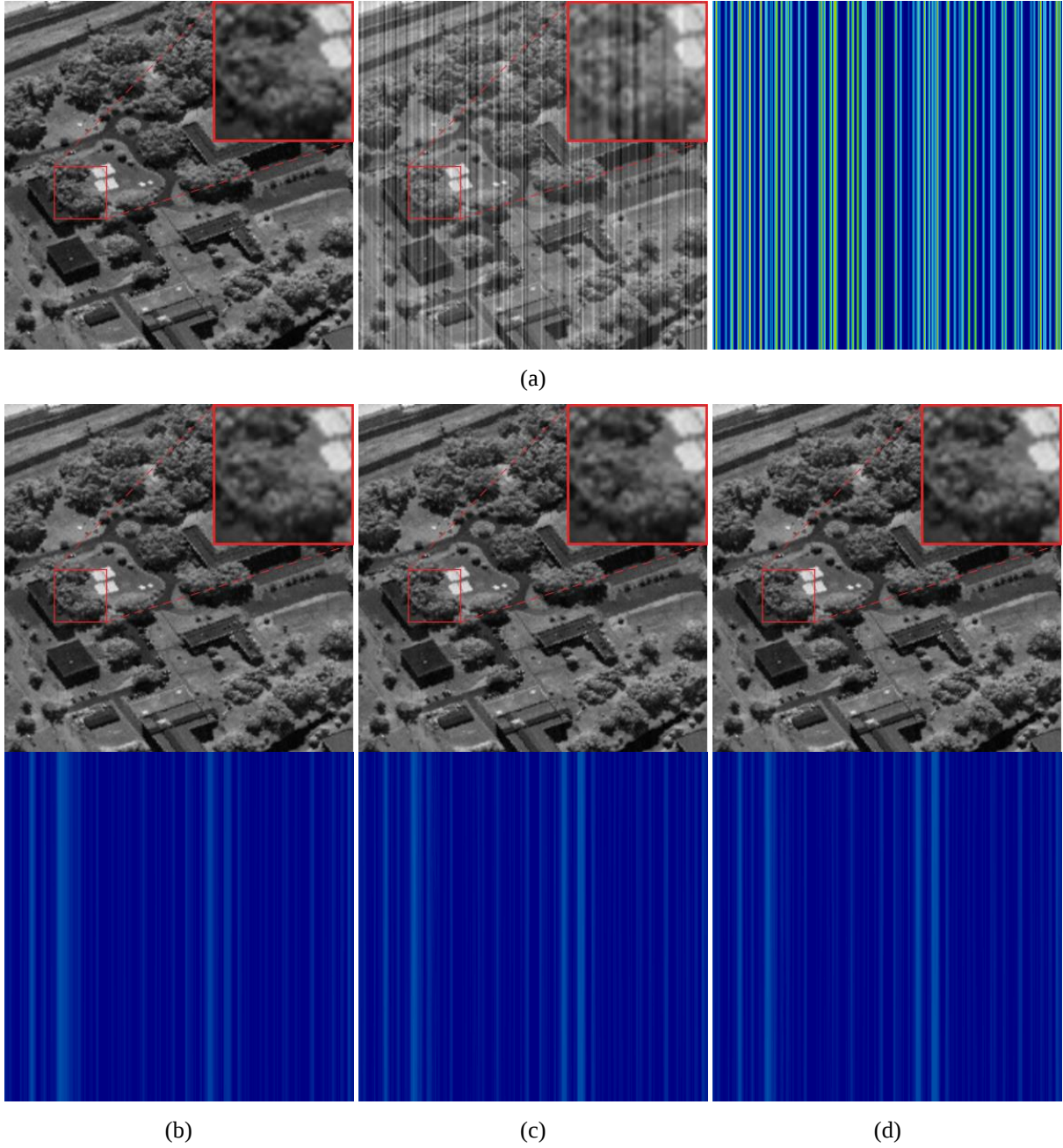


Şekil 6

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

RSI-4 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması $61,48 \pm 2,79$ PSNR ve $\%99,9771 \pm 0,00$ SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO kombinasyonu $63,32 \pm 11,14$ PSNR ve $\%99,9879 \pm 0,01$ SSIM ile daha yüksek performans göstermiştir. ADOM-TSA ise $62,10 \pm 6,99$ PSNR ve $\%99,9856 \pm 0,16$ SSIM ile benzer performans sergilemiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre her iki algoritma da ADOM algoritmasına göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha iyi performans göstermektedir (P-Value $< 0,05$).

RSI-5 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmaların ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 7'de verilmiştir.

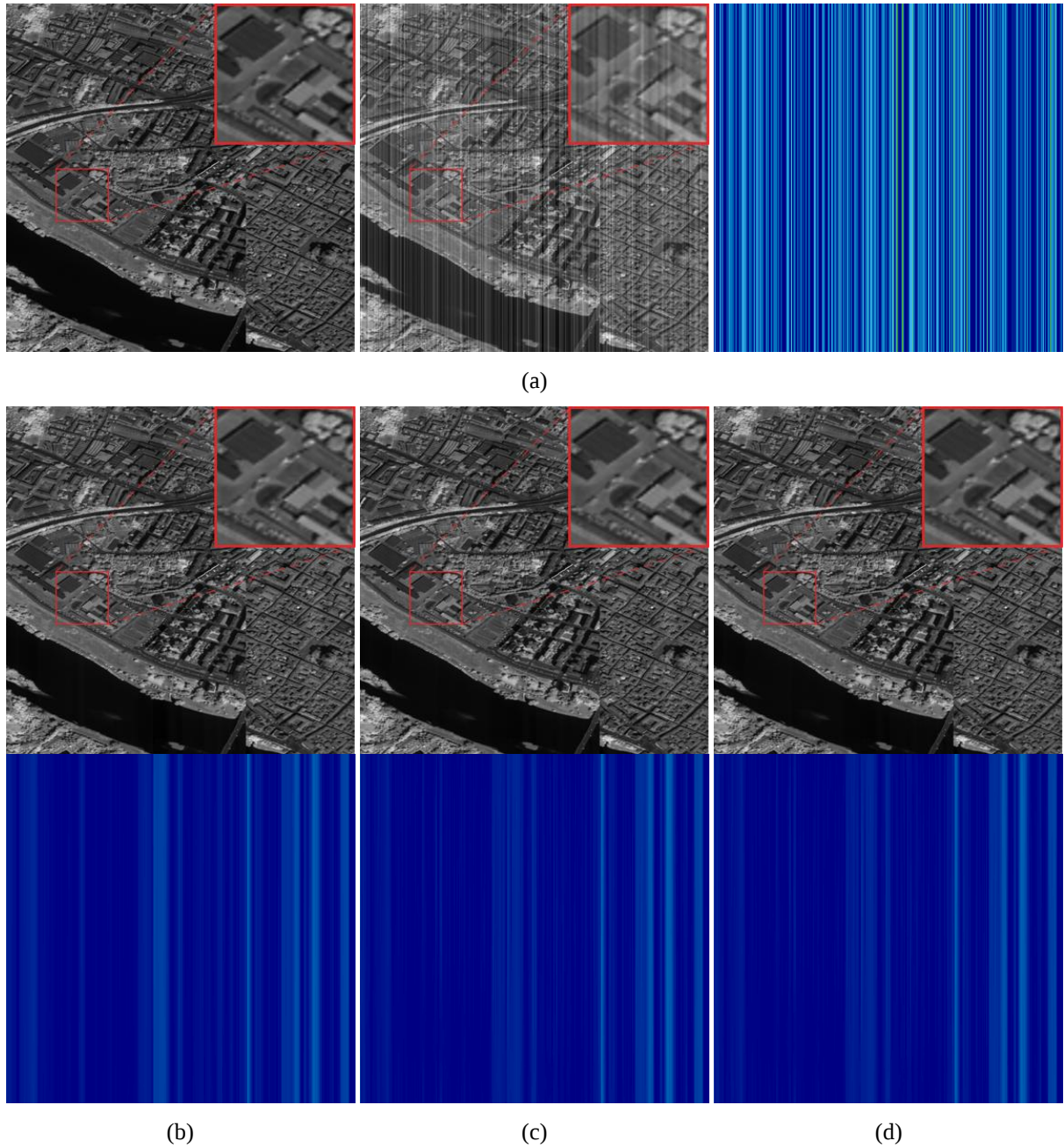


Şekil 7

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

RSI-5 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması $43,37 \pm 2,27$ PSNR ve $\%99,6961 \pm 0,00$ SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO kombinasyonu $43,33 \pm 2,25$ PSNR ve $\%99,6914 \pm 0,00$ SSIM ile benzer performans göstermiştir. ADOM-TSA ise $43,57 \pm 2,19$ PSNR ve $\%99,7829 \pm 0,29$ SSIM ile daha iyi sonuçlar vermiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre ADOM-TSA algoritması istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermektedir (P-Value $< 0,05$), ancak ADOM-PSO algoritması için istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır (P-Value $\geq 0,05$).

RSI-6 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmaların ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 8’de verilmiştir.

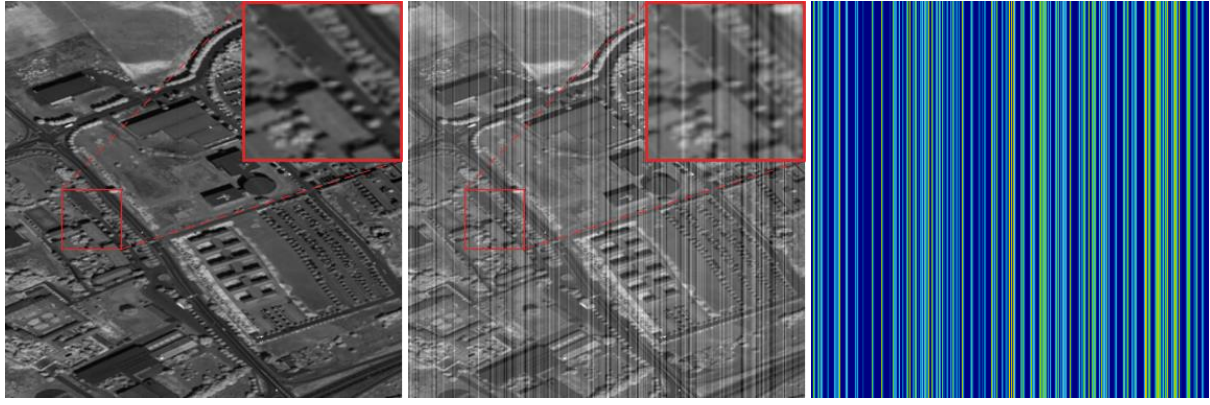


Şekil 8

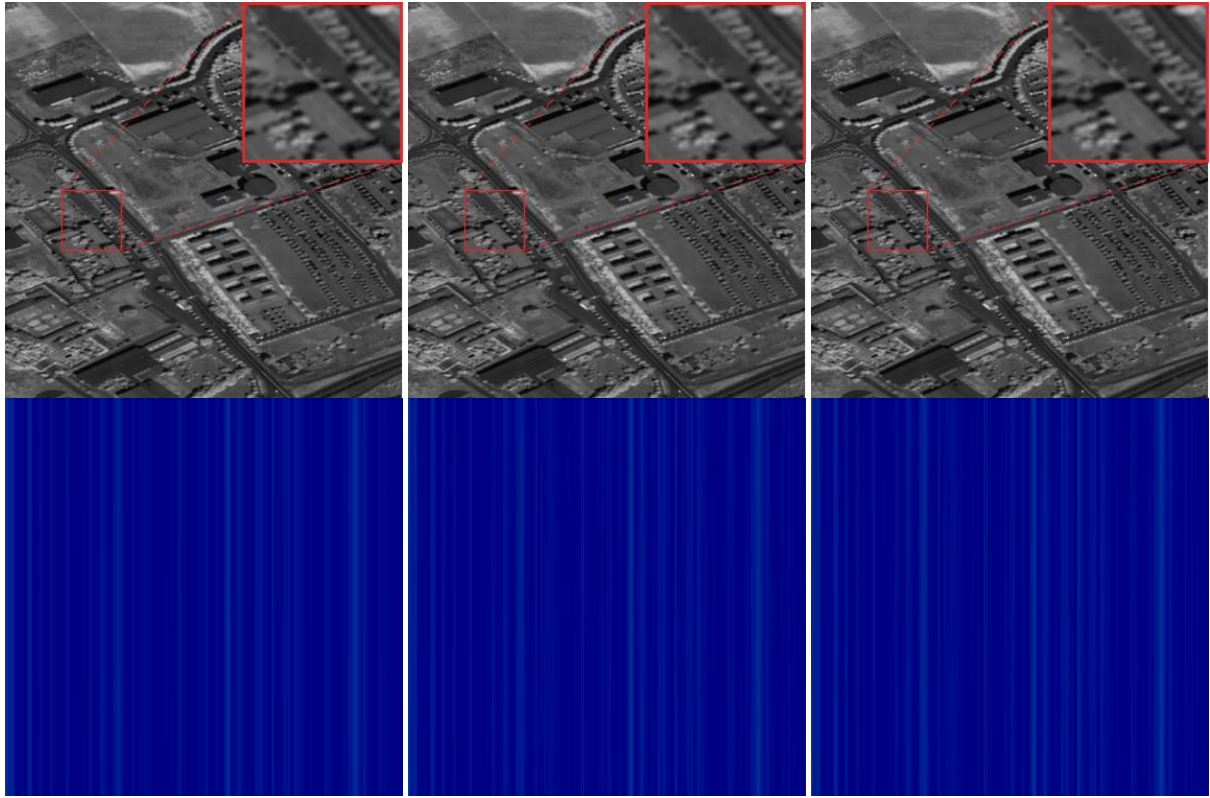
(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

RSI-6 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması $42,47 \pm 1,33$ PSNR ve $\%99,8322 \pm 0,00$ SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO $42,60 \pm 1,28$ PSNR ve $\%99,8328 \pm 0,00$ SSIM ile daha iyi performans göstermiştir. ADOM-TSA ise $42,63 \pm 1,27$ PSNR ve $\%99,8342 \pm 0,16$ SSIM ile daha iyi performans sergilemiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre her iki algoritma da istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha iyi performans göstermektedir (P-Value $< 0,05$).

RSI-7 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmaların ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 9'da verilmiştir.



(a)



(b)

(c)

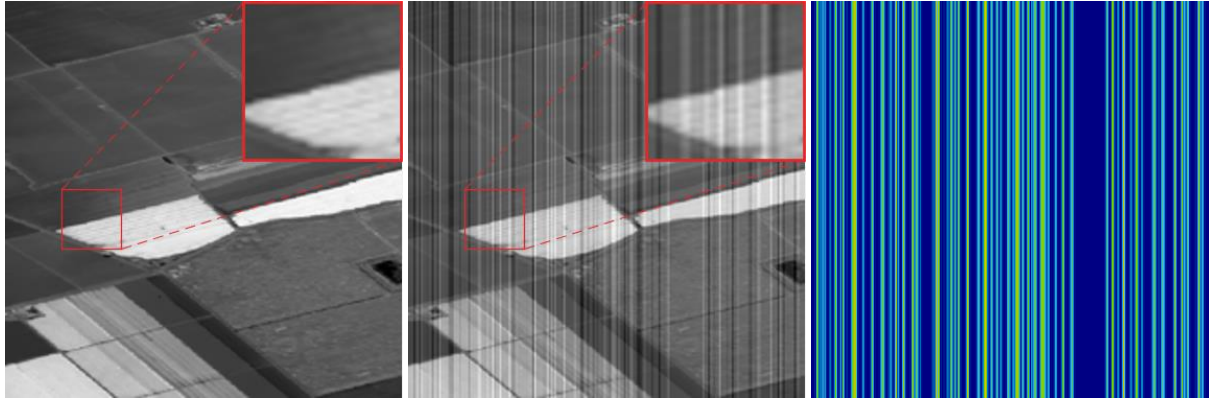
(d)

Şekil 9

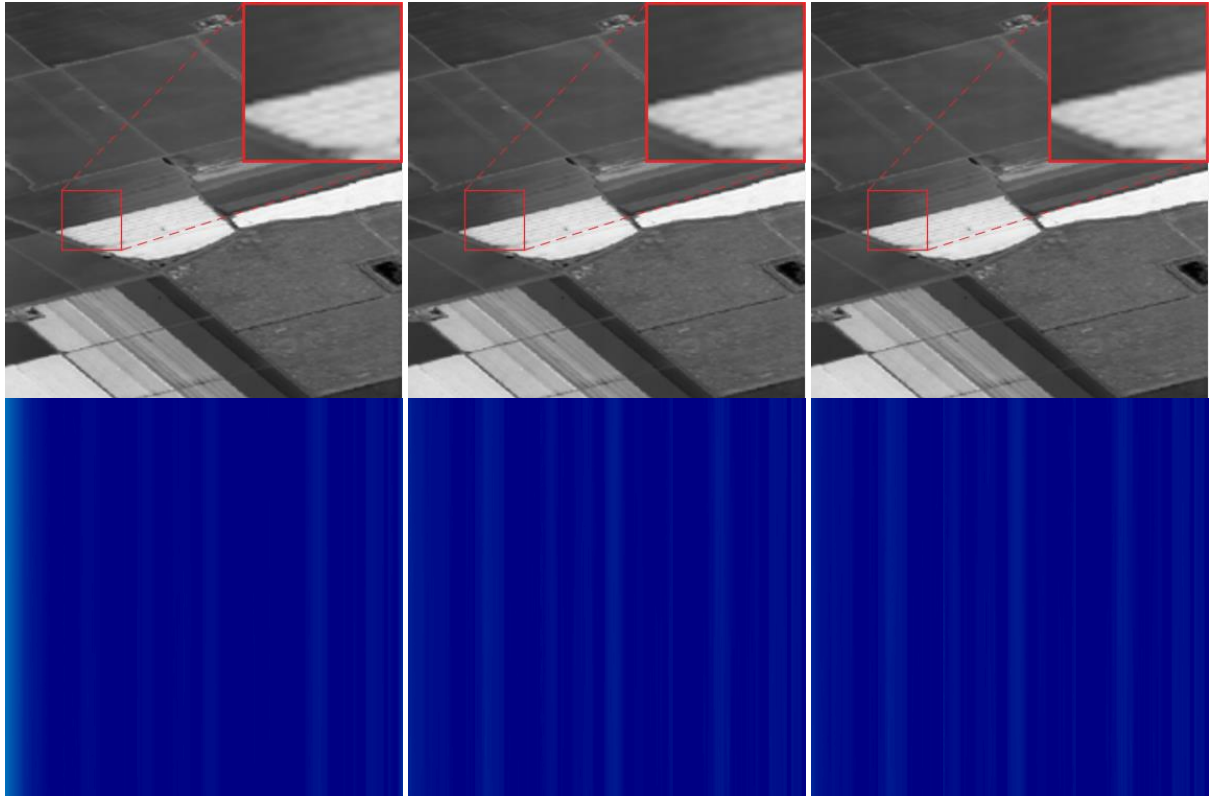
(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

RSI-7 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması $47,36 \pm 1,28$ PSNR ve $\%99,8876 \pm 0,00$ SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO $47,42 \pm 1,36$ PSNR ve $\%99,8890 \pm 0,00$ SSIM ile daha iyi performans göstermiştir. ADOM-TSA ise $47,29 \pm 1,32$ PSNR ve $\%99,8806 \pm 0,10$ SSIM ile benzer sonuçlar vermiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre ADOM-TSA istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha iyi performans göstermektedir (P-Value $< 0,05$).

RSI-8 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmaların ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 10'da verilmiştir.



(a)



(b)

(c)

(d)

Şekil 10

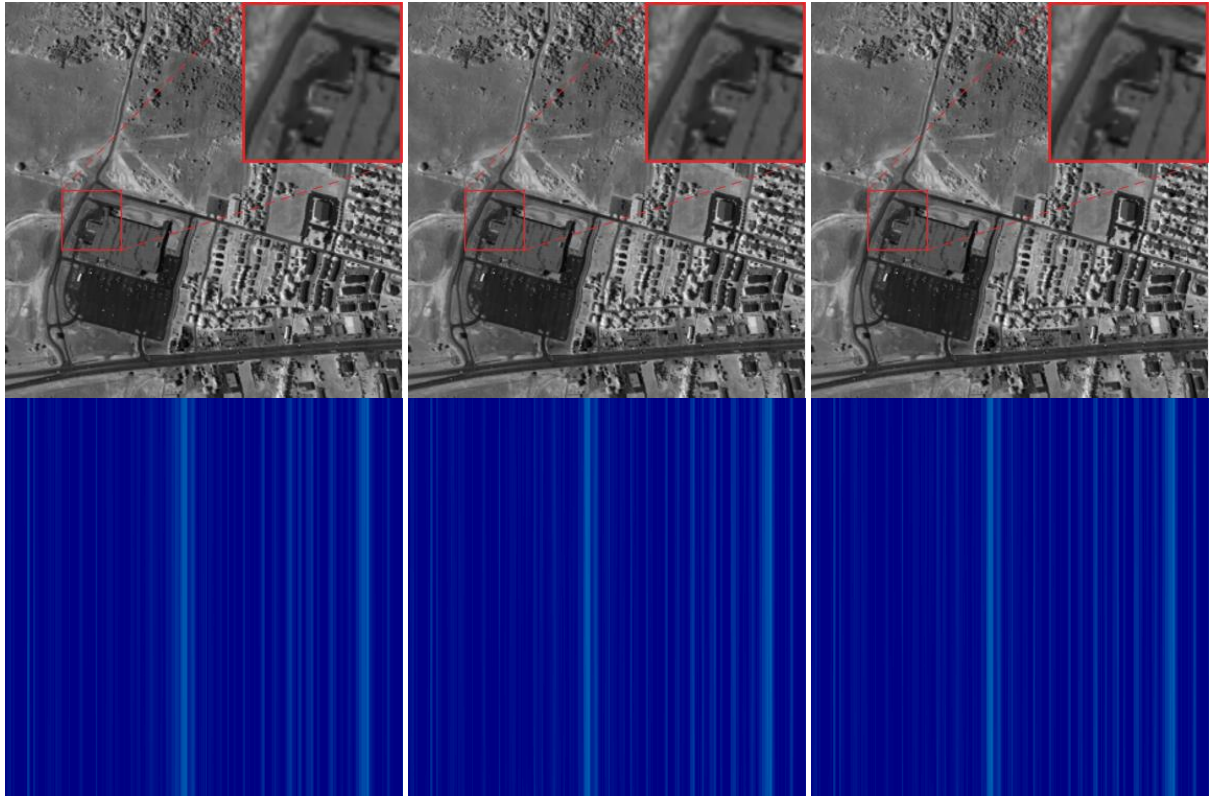
(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

RSI-8 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması $47,29 \pm 2,73$ PSNR ve $\%99,9614 \pm 0,00$ SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO $43,34 \pm 5,26$ PSNR ve $\%99,2876 \pm 0,01$ SSIM ile düşük performans göstermiştir. ADOM-TSA ise $45,09 \pm 4,08$ PSNR ve $\%99,6275 \pm 0,39$ SSIM ile benzer şekilde düşük performans sergilemiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre her iki algoritma da ADOM algoritmasına göre anlamlı bir fark göstermemektedir ($P\text{-Value} \geq 0,05$).

RSI-9 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmaların ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 11'de verilmiştir.



(a)



(b)

(c)

(d)

Şekil 11

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

RSI-9 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması $44,71 \pm 1,45$ PSNR ve $\%99,7263 \pm 0,00$ SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO $44,54 \pm 1,25$ PSNR ve $\%99,7187 \pm 0,00$ SSIM ile benzer performans göstermiştir. ADOM-TSA ise $44,67 \pm 1,35$ PSNR ve $\%99,7298 \pm 0,14$ SSIM ile daha iyi sonuçlar vermiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre ADOM-TSA algoritması istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermektedir (P-Value $< 0,05$), ancak ADOM-PSO algoritması için istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır (P-Value $\geq 0,05$).

Yukarıda incelenen bulgular doğrultusunda ADOM algoritmasının genel olarak iyi performans gösterdiğini ancak ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının belirli veri setlerinde anlamlı şekilde daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Özellikle RSI-2, RSI-4 ve RSI-6 veri setlerinde, her iki

algoritma da ADOM algoritmasına göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha iyi performans sergilemiştir. RSI-5 ve RSI-9 veri setlerinde yalnızca ADOM-TSA algoritması istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluştururken, RSI-7 veri setinde ise yalnızca ADOM-PSO algoritması istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturmuştur. RSI-1, RSI-3 ve RSI-8 veri setlerinde ilgili algoritmalar istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermemiştir. Bu sonuçlar, algoritma seçiminin veri setinin özelliklerine ve uygulama gereksinimlerine bağlı olarak yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu verisetlerine ek olarak şerit hatasının çizgisel tarama nedeniyle sıkça rastlandığı hiperspektral görüntüleme sistemlerinden elde edilen farklı hiperspektral görüntü (HSI) veri setleri üzerinde ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının performansları incelenmiştir. Algoritma performansları çalışma süresi, Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index Measure (SSIM), piksel başına hata (D error/px) ve toplam ADOM adımı (ADOM STEP) metrikleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Wilcoxon Signed-Rank testi ile algoritmaların istatistiksel olarak anlamlı performans farklılıkları belirlenmiştir. Test sonuçları P-değerlerine göre değerlendirilmiş ve anlamlı farklar "+" ile gösterilmiştir. Her üç yöntem de 15 farklı tur çalıştırılmış ve sonuçların ortalamaları ve standart sapmaları uzaktan algılama görüntüleri için Tablo 4. de verilmiştir.

Tablo 4

Çıktı değerleri ve değerlerin karşılaştırılması

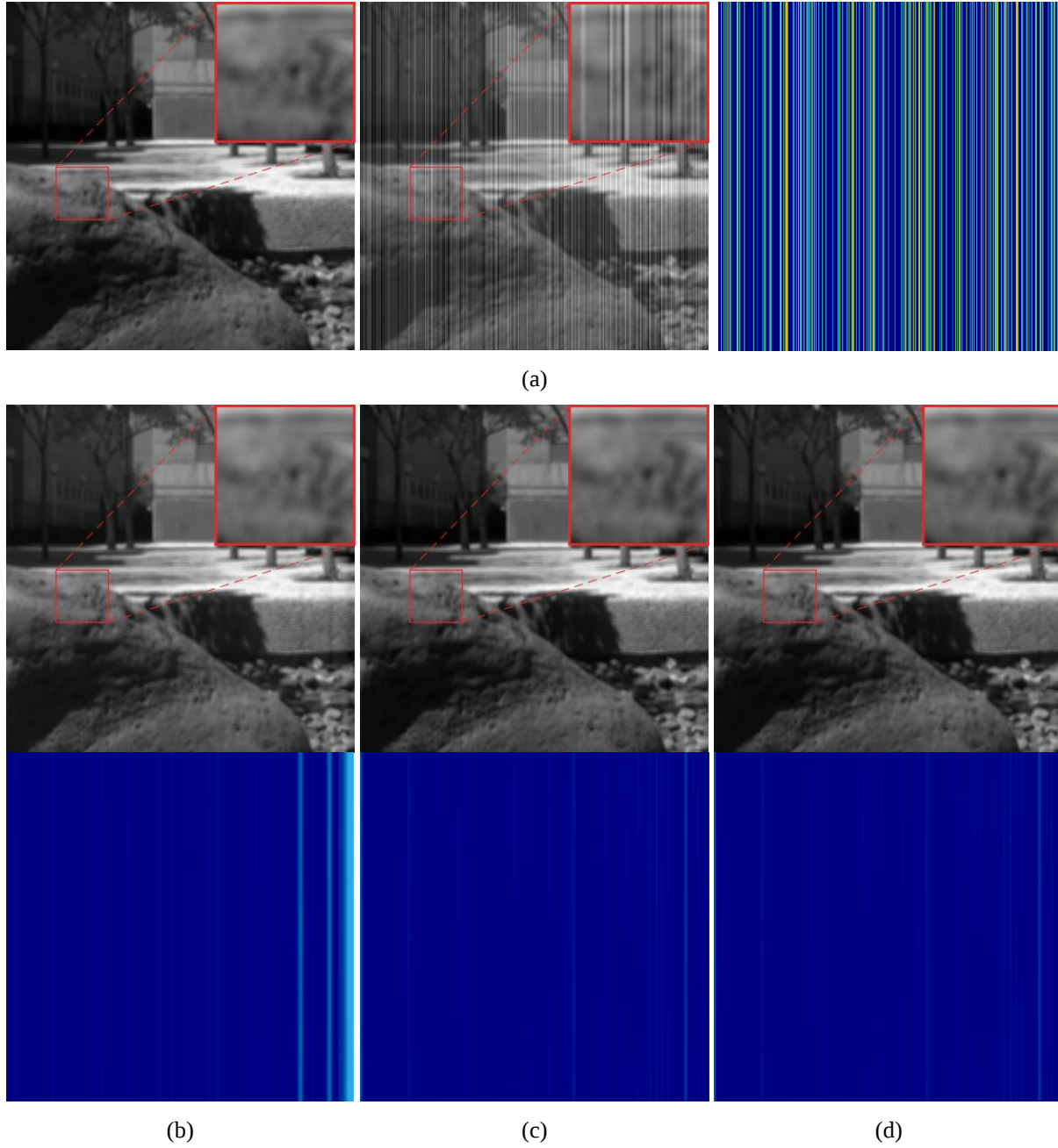
VERİ SETİ	ALGORİTMA	ÇALIŞMA SÜRESİ(sn)	PSNR	SSIM	D (error/px)	ADOM STEP
HSI-1	ADOM	29±1	39,83±1,04	99,7155%±0,00	0,73±0,07	4000±0
	ADOM-PSO	29±1	47,07±3,91	99,8905%±0,00	0,35±0,10	4000±0
	ADOM-TSA	31±1	47,05±3,61	99,8873%±0,09	0,35±0,09	4256±109
HSI-2	ADOM	29±1	50,13±4,52	99,9587%±0,00	0,23±0,08	4000±0
	ADOM-PSO	29±1	54,76±4,17	99,9710%±0,00	0,14±0,03	4000±0
	ADOM-TSA	31±1	54,68±4,07	99,9708%±0,03	0,14±0,03	4292±70
HSI-3	ADOM	29±1	48,39±2,31	99,9766%±0,00	0,18±0,06	4000±0
	ADOM-PSO	29±1	51,38±3,29	99,9834%±0,00	0,13±0,06	4000±0
	ADOM-TSA	31±1	51,47±3,60	99,9833%±0,06	0,13±0,06	4238±69
HSI-4	ADOM	29±1	61,99±3,93	99,9808%±0,00	0,08±0,03	4000±0
	ADOM-PSO	29±1	61,69±3,01	99,9725%±0,00	0,08±0,02	4000±0
	ADOM-TSA	30±1	62,25±2,94	99,9765%±0,02	0,08±0,02	4190±91
HSI-5	ADOM	29±1	66,21±2,31	99,9919%±0,00	0,04±0,01	4000±0
	ADOM-PSO	29±1	68,74±2,76	99,9939%±0,00	0,04±0,01	4000±0
	ADOM-TSA	31±1	67,68±5,62	99,9924%±0,03	0,05±0,03	4220±90
HSI-6	ADOM	29±1	61,40±2,17	99,9755%±0,00	0,10±0,02	4000±0
	ADOM-PSO	29±1	59,81±1,28	99,9578%±0,00	0,12±0,01	4000±0
	ADOM-TSA	31±1	59,54±0,96	99,9556%±0,01	0,12±0,01	4290±86
HSI-7	ADOM	29±1	47,33±1,60	99,9395%±0,00	0,21±0,05	4000±0
	ADOM-PSO	29±1	58,53±4,58	99,9774%±0,00	0,10±0,02	4000±0
	ADOM-TSA	31±1	59,00±4,55	99,9801%±0,03	0,09±0,03	4228±94
HSI-8	ADOM	29±1	66,46±2,36	99,9950%±0,00	0,05±0,01	4000±0
	ADOM-PSO	29±1	65,28±1,63	99,9905%±0,00	0,06±0,01	4000±0
	ADOM-TSA	31±1	64,94±1,77	99,9892%±0,01	0,06±0,01	4244±100
HSI-9	ADOM	29±0	53,76±1,87	99,9391%±0,00	0,23±0,04	4000±0
	ADOM-PSO	29±1	53,52±1,07	99,9244%±0,00	0,24±0,03	4000±0
	ADOM-TSA	32±1	53,13±1,55	99,9181%±0,05	0,26±0,05	4316±77

Elde edilen sonuçlar arasındaki farklılığı istatistiksel olarak anlamlılığını ölçmek için yapılan Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçları ise Tablo 5. te verilmiştir.

Tablo 5
Wilcoxon Signed-Rank Testi Sonuçları

ALGORİTMA\VERİSETİ	HSI-1	HSI-2	HSI-3	HSI-4	HSI-5	HSI-6	HSI-7	HSI-8	HSI-9
ADOM-PSO	+	+	+	-	+	-	+	-	-
ADOM-TSA	+	+	+	+	+	-	+	-	-

Elde edilen sonuçlar PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre her bir veriseti için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve sırayla verilmiştir. HSI-1 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmaların ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 12’de verilmiştir.

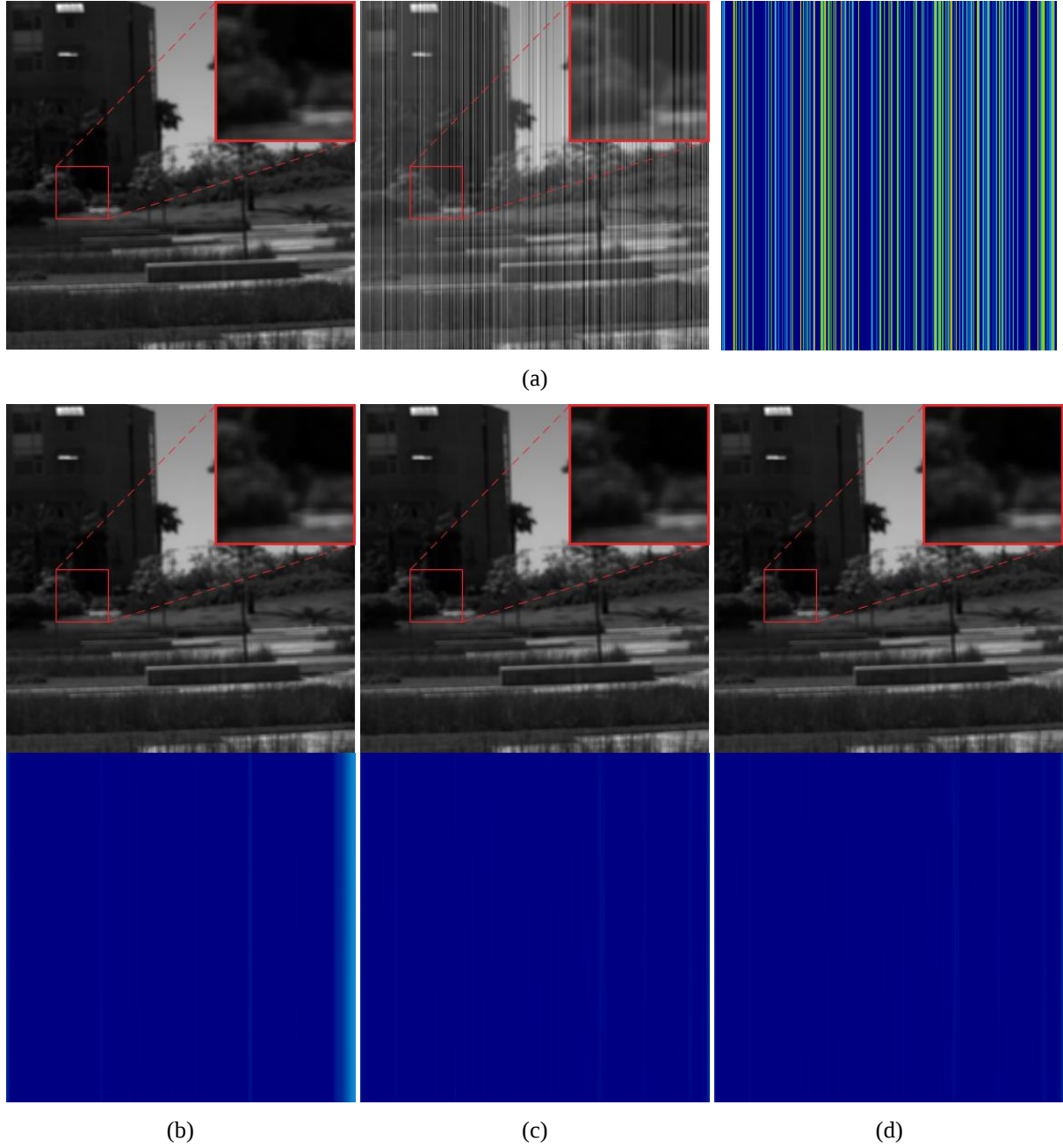


Şekil 12

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

HSI-1 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması 29 ± 1 saniyede $39,83 \pm 1,04$ PSNR ve $99,7155 \pm 0,00$ SSIM ile temel performansı göstermiştir. ADOM-PSO $47,07 \pm 3,91$ PSNR ve $99,8905 \pm 0,00$ SSIM ile daha yüksek performans sergilemiştir. ADOM-TSA ise $47,05 \pm 3,61$ PSNR ve $99,8873 \pm 0,09$ SSIM ile daha yüksek performans sergilemiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre her iki algoritma da ADOM algoritmasına göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha iyi performans göstermektedir ($P\text{-Value} < 0,05$).

HSI-2 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmaların ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 13'de verilmiştir.

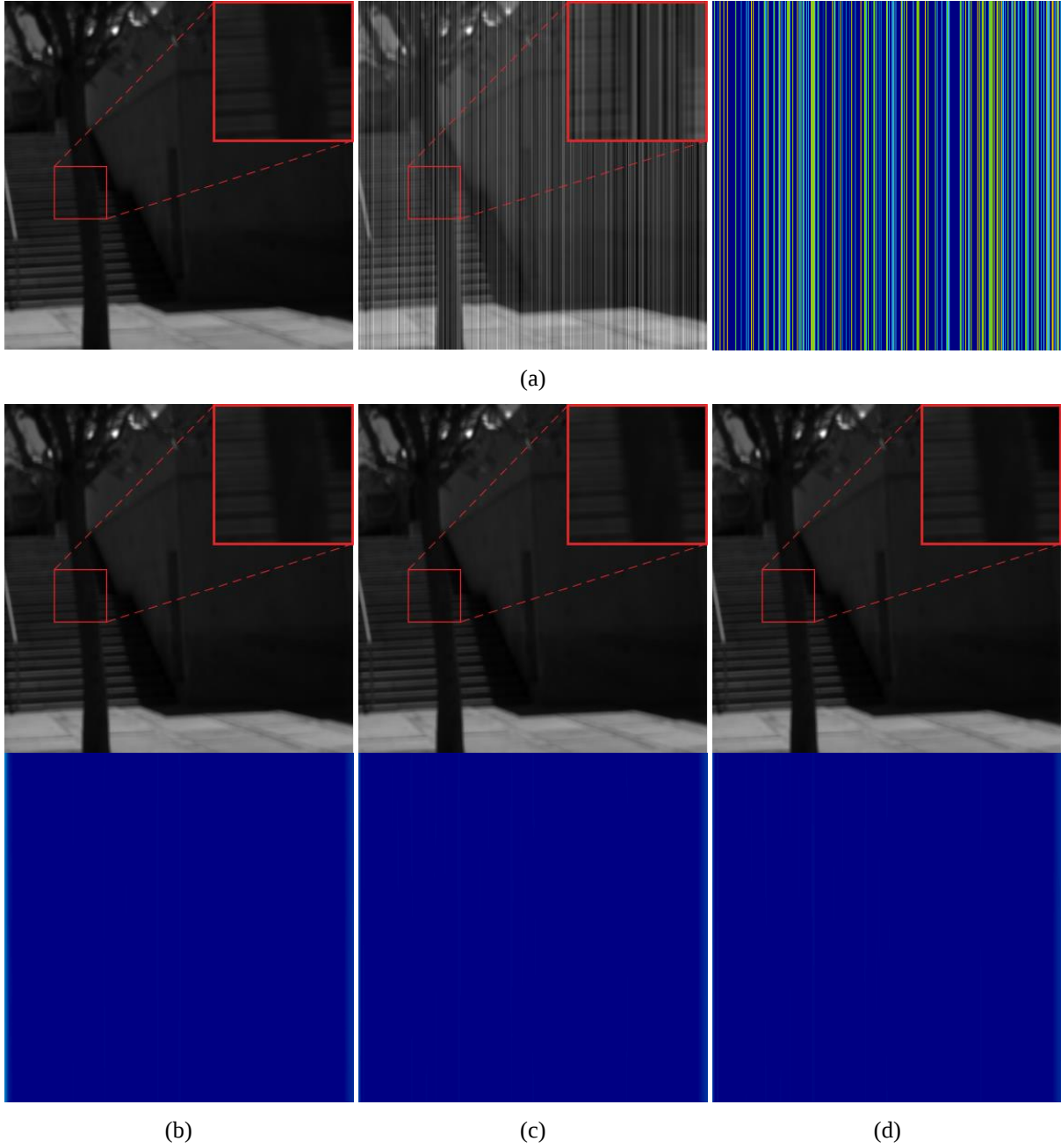


Şekil 13

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

HSI-2 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM $50,13 \pm 4,52$ PSNR ve $\%99,9587 \pm 0,00$ SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO kombinasyonu $54,76 \pm 4,17$ PSNR ve $\%99,9710 \pm 0,00$ SSIM ile daha iyi sonuçlar vermiştir. ADOM-TSA ise $54,68 \pm 4,07$ PSNR ve $\%99,9708 \pm 0,03$ SSIM ile benzer performans sergilemiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre her iki algoritma da ADOM algoritmasına göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha iyi performans göstermektedir ($P\text{-Value} < 0,05$).

HSI-3 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 14'te verilmiştir.

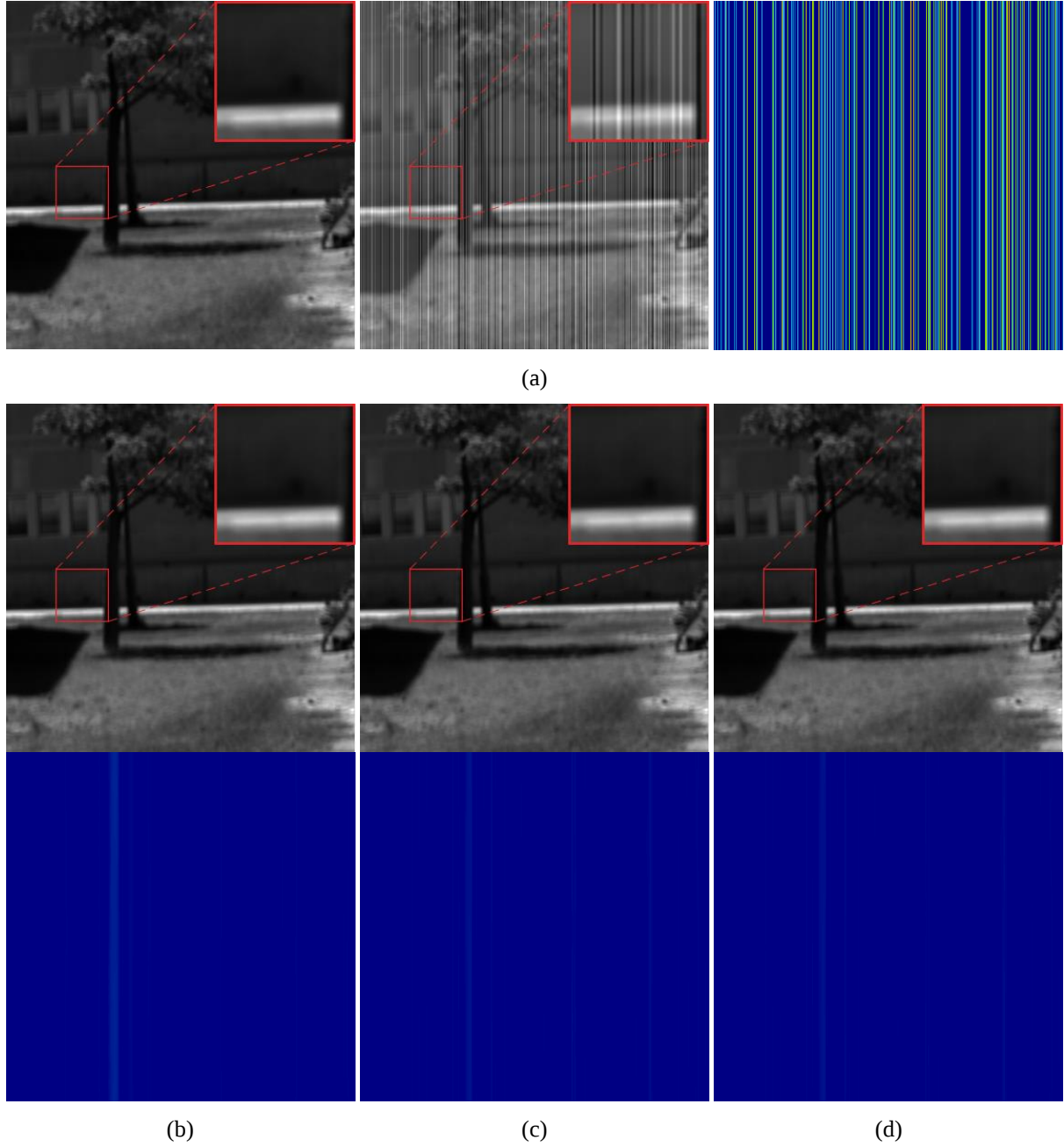


Şekil 14

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

HSI-3 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması $48,39 \pm 2,31$ PSNR ve $\%99,9766 \pm 0,00$ SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO $51,38 \pm 3,29$ PSNR ve $\%99,9834 \pm 0,00$ SSIM ile daha yüksek performans göstermiştir. ADOM-TSA ise $51,47 \pm 3,60$ PSNR ve $\%99,9833 \pm 0,06$ SSIM ile benzer sonuçlar vermiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre her iki algoritma da istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha iyi performans göstermektedir (P-Value < 0,05).

HSI-4 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 15'te verilmiştir.

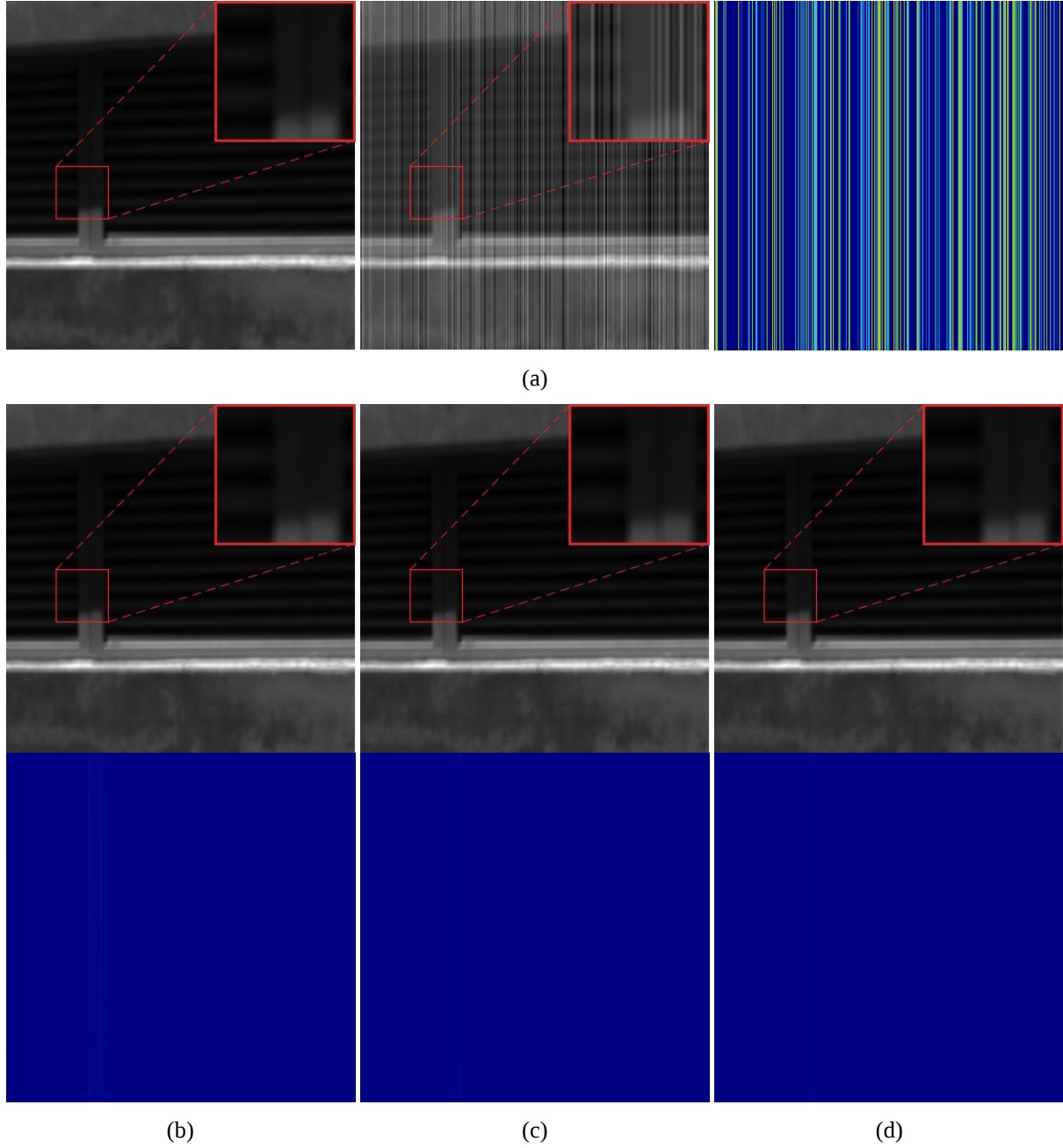


Şekil 15

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

HSI-4 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması $61,99 \pm 3,93$ PSNR ve $\%99,9808 \pm 0,00$ SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO kombinasyonu $61,69 \pm 3,01$ PSNR ve $\%99,9725 \pm 0,00$ SSIM ile benzer performans göstermiştir. ADOM-TSA ise $62,25 \pm 2,94$ PSNR ve $\%99,9765 \pm 0,02$ SSIM ile daha iyi performans göstermiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre ADOM-TSA algoritması ADOM algoritmasına göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha iyi performans göstermektedir (P-Value < 0,05).

HSI-5 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmaların ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 16'da verilmiştir.

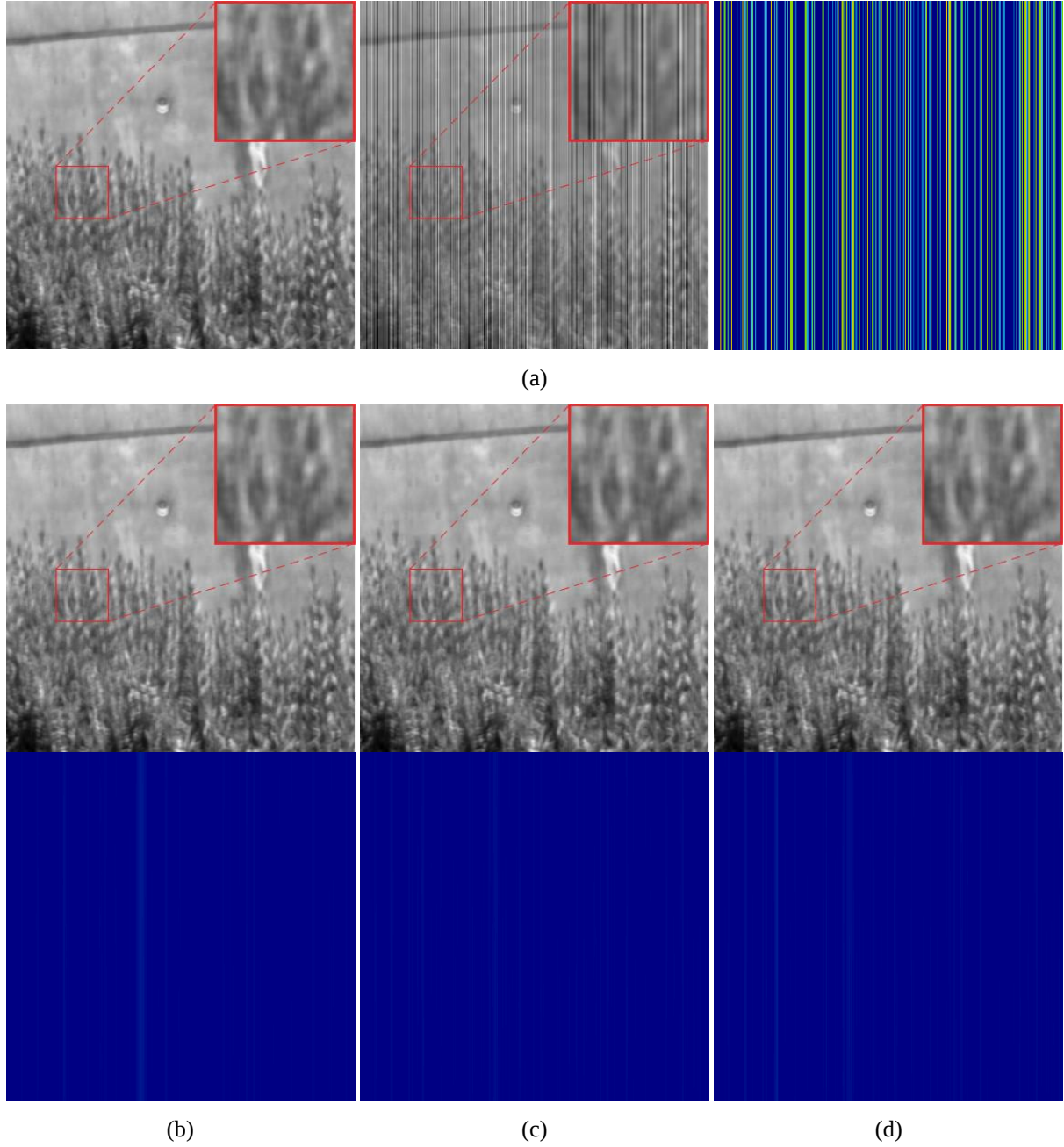


Şekil 16

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

HSI-5 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması $66,21 \pm 2,31$ PSNR ve $\%99,9919 \pm 0,00$ SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO kombinasyonu $68,74 \pm 2,76$ PSNR ve $\%99,9939 \pm 0,00$ SSIM ile daha iyi sonuçlar vermiştir. ADOM-TSA ise $67,68 \pm 5,62$ PSNR ve $\%99,9924 \pm 0,03$ SSIM ile benzer performans göstermiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre her iki algoritma da istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha iyi performans göstermektedir ($P\text{-Value} < 0,05$).

HSI-6 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 17’de verilmiştir.

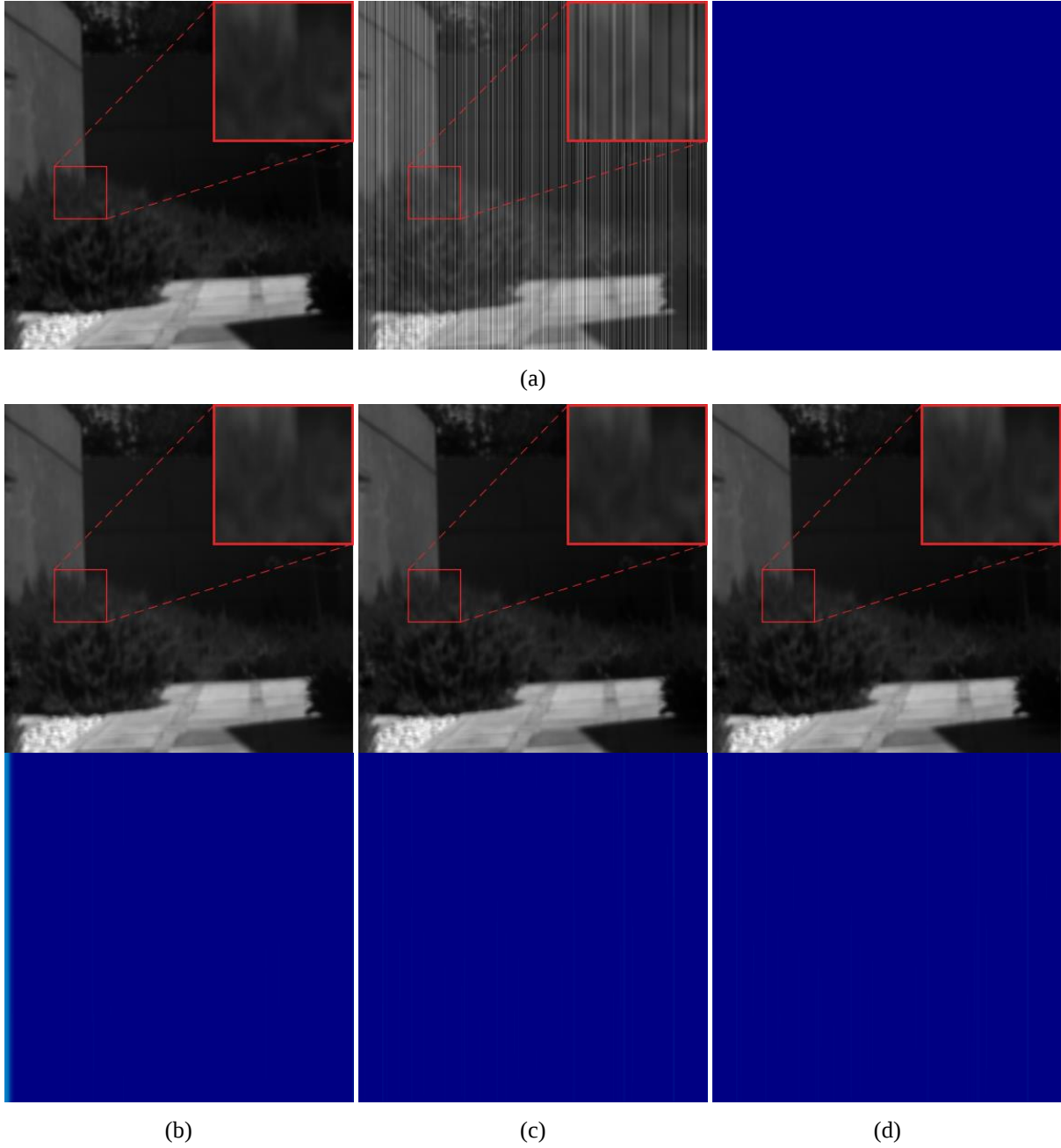


Şekil 17

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

HSI-6 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması $61,40 \pm 2,17$ PSNR ve $\%99,9755 \pm 0,00$ SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO $59,81 \pm 1,28$ PSNR ve $\%99,9578 \pm 0,00$ SSIM ile benzer performans göstermiştir. ADOM-TSA ise $59,54 \pm 0,96$ PSNR ve $\%99,9556 \pm 0,01$ SSIM ile benzer performans sergilemiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre önerilen algoritmalar istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermemektedir ($P\text{-Value} \geq 0,05$).

HSI-7 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 18’de verilmiştir.

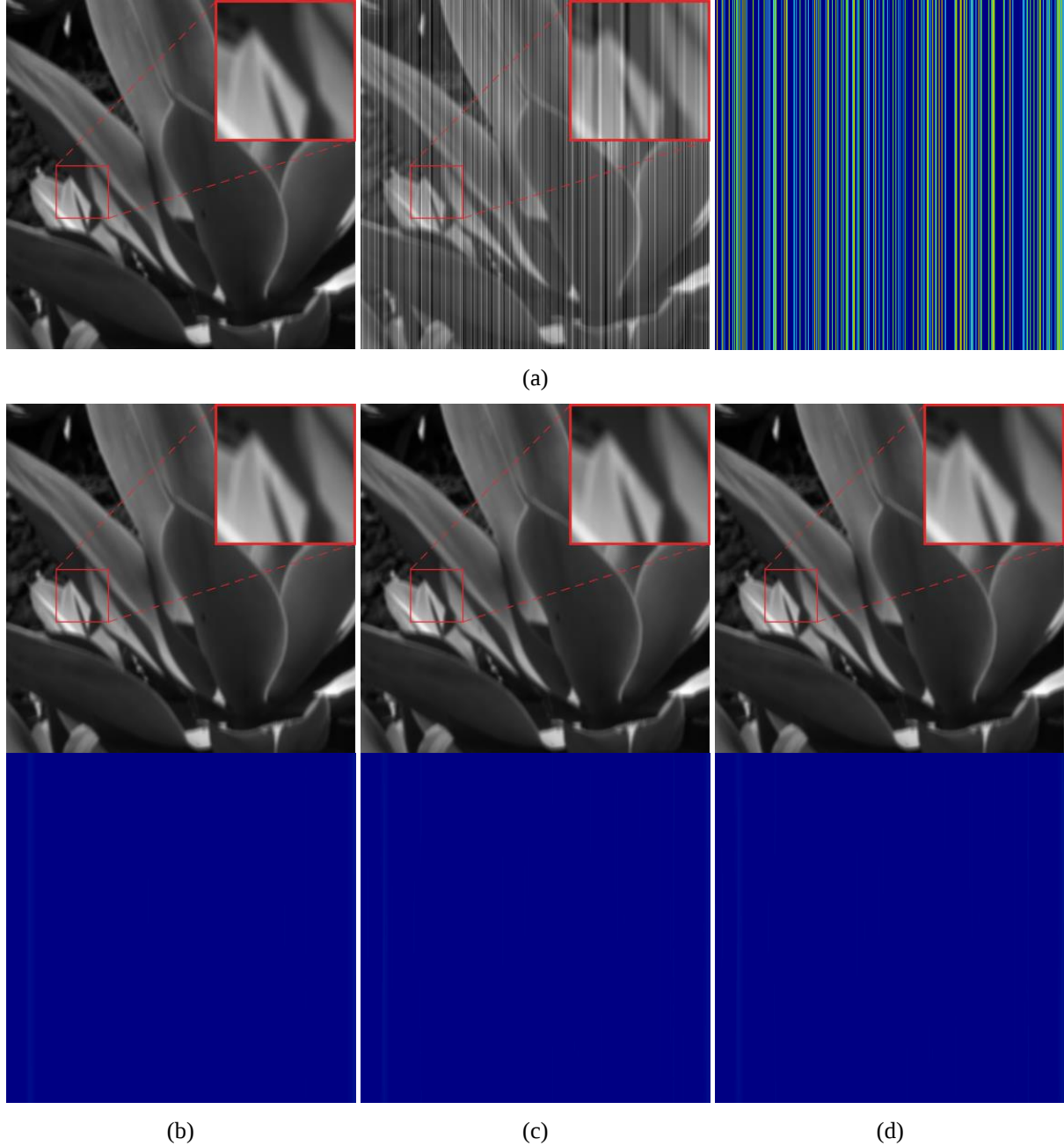


Şekil 18

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

HSI-7 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması $47,33 \pm 1,60$ PSNR ve $\%99,9395 \pm 0,00$ SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO $58,53 \pm 4,58$ PSNR ve $\%99,9774 \pm 0,00$ SSIM ile daha yüksek performans göstermiştir. ADOM-TSA ise $59,00 \pm 4,55$ PSNR ve $\%99,9801 \pm 0,03$ SSIM ile benzer sonuçlar vermiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre her iki algoritma da istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha iyi performans göstermektedir (P-Value < 0,05).

HSI-8 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 19'da verilmiştir.

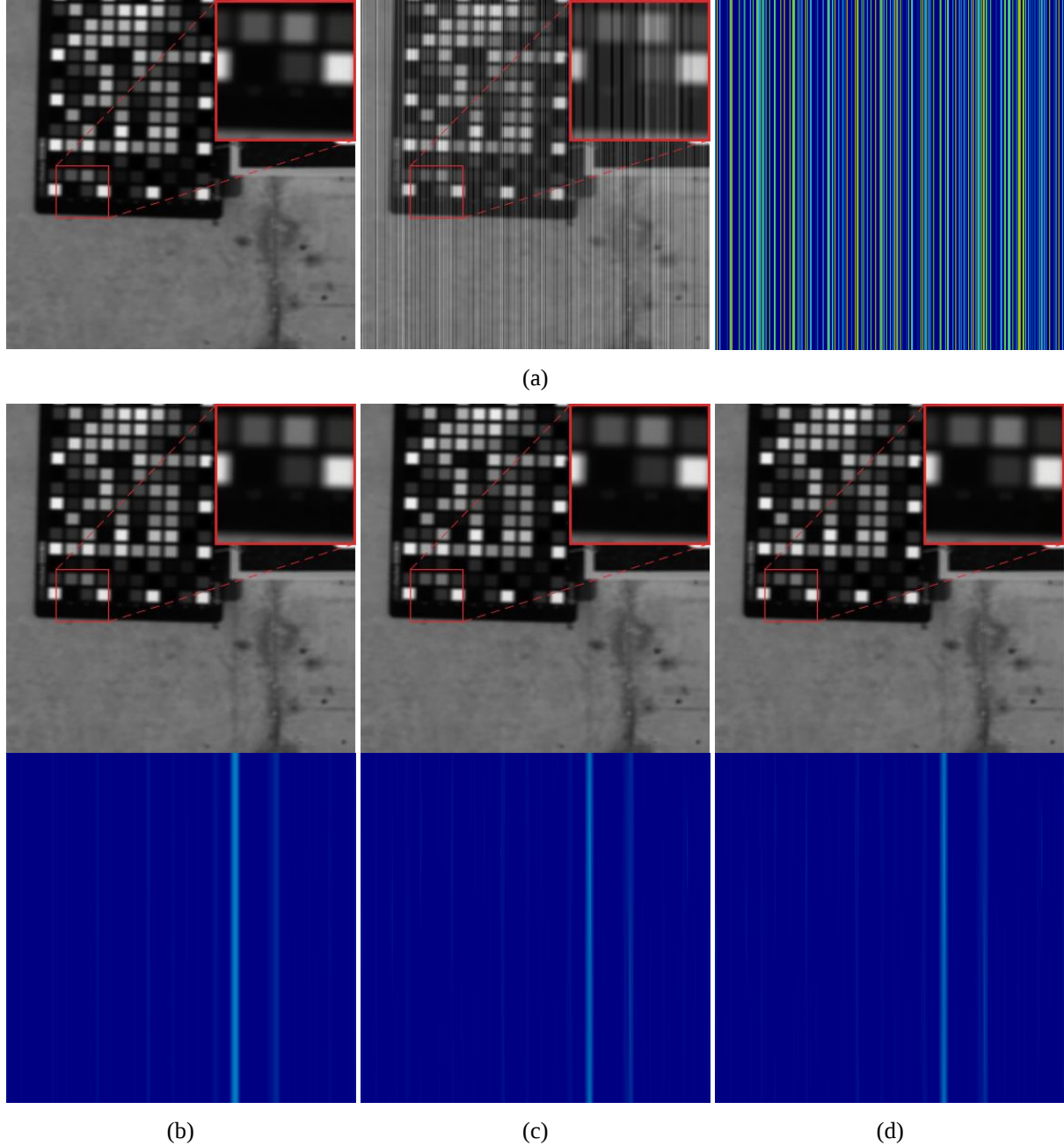


Şekil 19

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

HSI-8 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması $66,46 \pm 2,36$ PSNR ve $\%99,9950 \pm 0,00$ SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO $65,28 \pm 1,63$ PSNR ve $\%99,9905 \pm 0,00$ SSIM ile benzer performans göstermiştir. ADOM-TSA ise $64,94 \pm 1,77$ PSNR ve $\%99,9892 \pm 0,01$ SSIM ile benzer performans sergilemiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre önerilen algoritmalar istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermemektedir ($P\text{-Value} \geq 0,05$).

HSI-9 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 20'de verilmiştir.



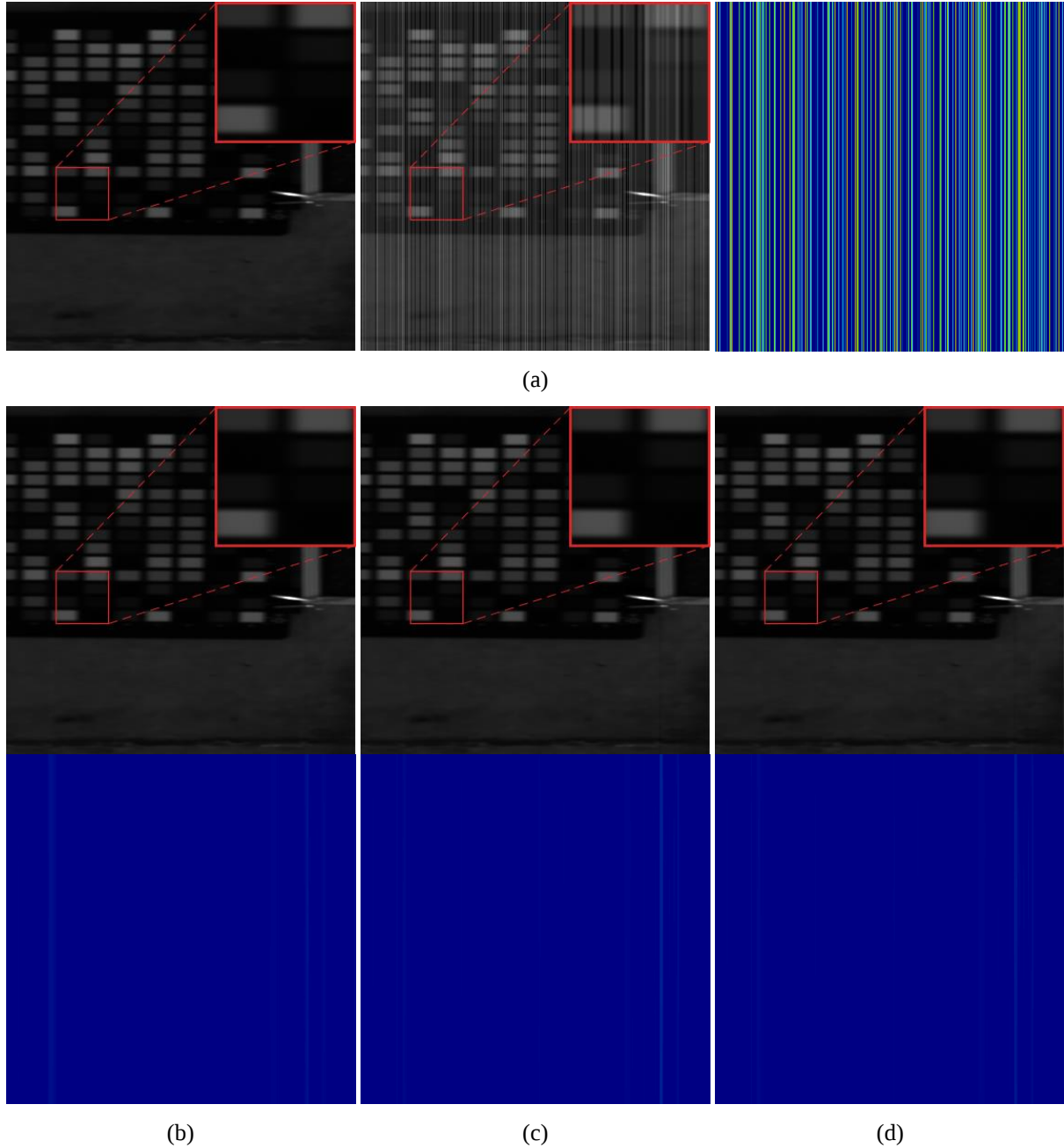
Şekil 20

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

HSI-9 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması $53,76 \pm 1,87$ PSNR ve $\%99,9391 \pm 0,00$

SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO 53,52±1,07 PSNR ve %99,9244±0,00 SSIM ile benzer performans göstermiştir. ADOM-TSA ise 53,13±1,55 PSNR ve %99,9181±0,05 SSIM ile benzer performans sergilemiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre önerilen algoritmalar istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermemektedir ($P\text{-Value} \geq 0,05$).

HSI-10 veri seti için orijinal temiz görüntü, gürültü eklenmiş görüntü, gürültü kalıntısı ve sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının ürettiği sonuçlar ile gürültü kalıntıları Şekil 21’de verilmiştir.



Şekil 21

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının sonucu gürültü giderilmiş görüntü ve gürültü kalıntısı

HSI-10 veriseti ile yapılan denemelerde ADOM algoritması 39,36±0,96 PSNR ve %98,3010±0,00 SSIM değerlerine ulaşmıştır. ADOM-PSO 43,02±1,87 PSNR ve %99,0975±0,00 SSIM

ile daha iyi sonuçlar vermiştir. ADOM-TSA ise $43,21 \pm 2,42$ PSNR ve $99,0911 \pm 0,22$ SSIM ile benzer performans göstermiştir. PSNR, SSIM ve mutlak hata değerleri ile birlikte Wilcoxon Signed-Rank testi sonuçlarına göre her iki algoritma da istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha iyi performans göstermektedir (P-Value < 0,05).

Bu çalışma, ADOM algoritmasının genel olarak iyi performans gösterdiğini ancak ADOM-PSO ve ADOM-TSA kombinasyonlarının belirli veri setlerinde anlamlı şekilde daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Özellikle HSI-1, HSI-2, HSI-3, HSI-5, HSI-7 ve HSI-10 veri setlerinde, önerilen algoritmalar ADOM algoritmasına göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha iyi performans sergilemiştir. HSI-4 veri setinde yalnızca ADOM-TSA algoritması istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluştururken, HSI-6, HSI-8 ve HSI-9 veri setlerinde önerilen algoritmalar anlamlı bir fark göstermemiştir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

ADOM algoritmasının alt problemlerinde kullanılan λ_1 ve λ_2 parametreleri, orijinal çalışmada deneme yanılma ile tespit edilmiş ve sabit değerler olarak kullanılmıştır. Bu parametrelerin şerit gürültüsü gideriminde önemli bir etkisi vardır. Bu sebeple parametrelerin hassas ayarlanmasının önemli olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle yapılan bu çalışmada verisetleri üzerinde λ_1 ve λ_2 parametrelerinin optimum değerleri ADOM-TSA ve ADOM-PSO algoritmaları ile elde edilmiştir.

ADOM, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının performansları üzerine yapılan değerlendirmede bu algoritmalar; işlem süresi, Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index Measure (SSIM), piksel hatası (D error/px) ve toplam ADOM adımları gibi performans metriklerine göre karşılaştırılma yapılmıştır. Ayrıca, algoritmalar arasındaki performans farklılıklarının istatistiksel anlamlılığını belirlemek için Wilcoxon Signed-Rank testi kullanılmış ve p-değerleri $p < 0,05$ olan farklılıklar istatistiksel olarak önemli kabul edilmiştir.

RSI veri setleri üzerine yapılan analizde, ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının genellikle ADOM algoritmasından daha iyi sonuçlar elde ettiğini göstermiştir. RSI-2, RSI-4 ve RSI-6 veri setlerinde her iki algoritma da ADOM'a göre istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) derecede daha iyi performans sergilemiştir. Buna karşılık, RSI-5 ve RSI-9 veri setlerinde sadece ADOM-TSA algoritması istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) iyileşmeler göstermiştir. RSI-7 veri setinde ise sadece ADOM-PSO algoritması istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) iyileşmeler göstermiştir. RSI-1, RSI-3 ve RSI-8 veri setlerinde ise önerilen algoritmalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır.

HSI veri setlerinde yapılan analizde de ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının genellikle ADOM algoritmasından daha iyi performans göstermiştir. Özellikle, HSI-1, HSI-2, HSI-3, HSI-5, HSI-7 ve HSI-10 veri setleri için her iki algoritma da ADOM'a göre istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) derecede daha iyi performans sergilemiştir. HSI-4 veri setinde sadece ADOM-TSA algoritması istatistiksel olarak önemli ($p < 0,05$) derecede bir iyileşme gösterirken, HSI-6, HSI-8 ve HSI-9 veri setlerinde algoritmalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir.

Benzer hesaplama maliyetlerinde daha optimum sonuç bulmak bilgi işlem teknolojilerinin gelişiminde çok önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışma ile ADOM algoritmasının farklı veri setlerinde tutarlı bir performans gösterdiğini, bununla birlikte ADOM-PSO ve ADOM-TSA algoritmalarının yaklaşık aynı hesaplama maliyeti ile birçok durumda performansı önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir. PSO ve TSA ile ADOM'un entegrasyonu, uzaktan algılama ve hiperspektral görüntülerde şerit gürültüsü giderimi görevi sonuçlarda performansın arttığını göstermektedir. Bu verisetlerinin dışında farklı verisetlerinde yapılacak olan araştırmalar ile bu kombinasyonların daha da rafine edilmesine ve bağlam yelpazesinde uygulanabilirliklerinin araştırılmasına odaklanılabileceği

düşünülmüştür. Gelecekteki çalışmalar, farklı sezgisel algoritmaların denenmesi ve işlem maliyeti azaltılırken daha yüksek başarımın elde edilmesi üzerine odaklanmalıdır.

Etik Kurul Onayı (Ethics Committee Approval)

Bu çalışma için etik kurul onayı gerekmemektedir.

Yazar Katkıları (Author Contributions)

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) İ.N.E (%50) – H.A.A. (%50)

Veri Toplama (CRediT 2) İ.N.E (%50) – H.A.A. (%50)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) İ.N.E (%40) – H.A.A. (%60)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) İ.N.E (%50) – H.A.A. (%50)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) İ.N.E (%40) – H.A.A. (%60)

Finansman (Financing)

Bu çalışma herhangi bir kurum tarafından destek alınmadan geliştirilip yapılmıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarların bu çalışma için beyan ettikleri herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: Desteklemiyor

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] C. Ma, W. Xia, F. Chen, J. Liu, Q. Dai, L. Jiang, J. Duan, W. Liu, A content-based remote sensing image change information retrieval model, *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 6 (10) (2017). doi: 10.3390/ijgi6100310
- [2] J. Le Moigne, Introduction to Remote Sensing Image Registration, içinde: *IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing IGARSS*, IEEE, Fort Worth, TX, USA, 2017: 2565-2568. doi: 10.1109/IGARSS.2017.8127519
- [3] K. Ş. Kavak, Uzaktan algılamanın temel kavramları ve jeolojideki uygulama alanları, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*. 21 (1) (1998), 63-74.
- [4] N. Kim, S.-S. Han, C.-S. Jeong, ADOM: ADMM-based optimization model for stripe noise removal in remote sensing image, *IEEE Access*. 11 (2023), 106587-106606. doi: 10.1109/ACCESS.2023.3319268
- [5] Q. Song, Y. Wang, X. Yan, H. Gu, Remote sensing images stripe noise removal by double sparse regulation and region separation, *Remote Sensing*. 10 (7) (2018), 998. doi: 10.3390/rs10070998
- [6] X. Zhang, Y. Li, X. Feng, J. Hua, D. Yue, J. Wang, Application of multiple-optimization filtering algorithm in remote sensing image denoising, *Sensors (Basel)*. 23 (18) (2023), 7813. doi: 10.3390/s23187813
- [7] L. Han, Y. Zhao, H. Lv, Y. Zhang, H. Liu, G. Bi, Remote sensing image denoising based on deep and shallow feature fusion and attention mechanism, *Remote Sensing*. 14 (5) (2022), 1243. doi: 10.3390/rs14051243
- [8] Y. Zhou, C. Ren, S. Zhang, X. Xue, Y. Liu, J. Lu, C. Ding, A second-order method for removing mixed noise from remote sensing images, *Sensors (Basel)*. 23 (17) (2023), 7543. doi: 10.3390/s23177543
- [9] F. Yan, S. Wu, Q. Zhang, Y. Liu, H. Sun, Destriping of remote sensing images by an optimized variational model, *Sensors*. 23 (17) (2023). doi: 10.3390/s23177529
- [10] Z. Wang, G. Wang, Z. Pan, J. Zhang, G. Zhai, Fast stripe noise removal from hyperspectral image via multi-scale dilated unidirectional convolution, *Multimedia Tools and Applications*. 79 (31) (2020), 23007-23022. doi: 10.1007/s11042-020-09065-4
- [11] B. Li, Y. Zhou, D. Xie, L. Zheng, Y. Wu, J. Yue, S. Jiang, Stripe noise detection of high-resolution remote sensing images using deep learning method, *Remote Sensing*. 14 (4) (2022). doi: 10.3390/rs14040873
- [12] M. S. Kiran, TSA: Tree-seed algorithm for continuous optimization, *Expert Systems with Applications*. 42 (19) (2015), 6686-6698. doi: 10.1016/j.eswa.2015.04.055
- [13] G. Pereira, Particle Swarm Optimization, (2011).
- [14] H. A. Akyürek, Ö. K. Baykan, B. Koçer, Improving gravitational search algorithm performance with artificial bee colony algorithm for constrained numerical optimization, *The Journal of MacroTrends in Applied Science*. 4 (1) (2016), 55-68.
- [15] J. Kennedy, R. Eberhart, Particle swarm optimization, içinde: *IEEE*, 1995: 1942-1948.
- [16] A. Pektaş, O. İnan, Application of tree seed algorithm on clustering problems, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 4 (1) (2022), 1-10. doi: 10.47112/neufmbd.2022.8
- [17] G. Orucova Büyüköz, H. Haklı, Implementation of grey wolf optimization algorithm to p-median problems, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 6 (1) (2024), 166-177. doi: 10.47112/neufmbd.2024.40
- [18] İ. İlhan, A. Ünlü, A novel hybrid gray wolf optimization algorithm with harmony search to solve multi-level image thresholding problem, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and*

- Engineering*. 5 (2) (2023), 230-245. doi: 10.47112/neufmbd.2023.21
- [19] H. A. Akyürek, E. Ülker, B. Koçer, Automatic Knot adjustment using dolphin echolocation algorithm for b-spline curve approximation, *The Journal of MacroTrends in Technology and Innovation*. 4 (1) (2016), 100-109.
- [20] Q. B. Phan, T. T. Nguyen, A Novel Approach for PV Cell Fault Detection Using YOLOv8 and Particle Swarm Optimization, içinde: *2023 IEEE 66th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, 2023: 634-638. doi: 10.1109/MWSCAS57524.2023.10406139
- [21] C. Sudheer, S. Mathur, Particle swarm optimization trained neural network for aquifer parameter estimation, *Ksce Journal of Civil Engineering*. 16 (3) (2012), 298-307. doi: 10.1007/s12205-012-1452-5
- [22] G. d. I. C. (GIC), Hyperspectral Remote Sensing Scenes. [https://www.ehu.eus/ccwintco/index.php/Hyperspectral Remote Sensing Scenes](https://www.ehu.eus/ccwintco/index.php/Hyperspectral_Remote_Sensing_Scenes) (erişim 2024).
- [23] S. H. Chan, X. Wang, O. A. Elgendy, Plug-and-play ADMM for image restoration: fixed-point convergence and applications, *IEEE Transactions on Computational Imaging*. 3 (1) (2017), 84-98. doi: 10.1109/TCI.2016.2629286
- [24] F. Chen, Z. Ye, C. Wang, L. Yan, R. Wang, A Feature Selection Approach for Network Intrusion Detection Based on Tree-Seed Algorithm and K-Nearest Neighbor, içinde: *IEEE*, 2018: 68-72. doi: 10.1109/IDAACS-SWS.2018.8525522
- [25] J. Jiang, X. Meng, L. Qian, H. Wang, Enhance tree-seed algorithm using hierarchy mechanism for constrained optimization problems, *Expert Systems with Applications*. 209 (2022), 118311. doi: 10.1016/j.eswa.2022.118311
- [26] A. P. Piotrowski, J. J. Napiorkowski, A. E. Piotrowska, Population size in particle swarm optimization, *Swarm and Evolutionary Computation*. 58 (2020), 100718. doi: 10.1016/j.swevo.2020.100718
- [27] A. Rashnoa, S. Fadaeib, Image restoration by projection onto convex sets with particle swarm parameter optimization, *International Journal of Engineering*. 36 (2) (2023), 398-407. doi: 10.5829/ije.2023.36.02b.18
- [28] A. P. Engelbrecht, "Particle Swarm Optimization," in *Computational Intelligence*, 2007, pp. 289-358.
- [29] H. A. Akyürek, B. Koçer, Semi-supervised fuzzy neighborhood preserving analysis for feature extraction in hyperspectral remote sensing images, *Neural Computing and Applications*. 31 (8) (2019), 3385-3415. doi: 10.1007/s00521-017-3279-y

Wi-Fi Parmak İzi Kullanan İç Mekan Konum Belirleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Muhammed Fahri ÜNLERŞEN^{1*}  Mustafa YAĞCI¹ 

¹ Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi	ÖZET
Geliş Tarihi: 25.02.2024 Kabul Tarihi: 20.06.2024 Yayın Tarihi: 31.12.2024 Anahtar Kelimeler: Wi-Fi parmak izi, Kapalı alan konum kestirimi, Yapay zekâ, Sinir ağları.	Navigasyon sistemleri günlük hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bunun gerçekleştirile bilinmesi için ise yerel konumun tespiti gereklidir. En yaygın kullanılan konum tespit metodu Global Konumlama Sistemidir (GPS). GPS sinyalleri kapalı alanlara çoğu zaman giremez. Bu sebeple kapalı alanlarda navigasyon için konum belirleme işlemi için farklı metotlar geliştirilmiştir. Bunların başta gelen metodu Wi-Fi parmak izi ile pozisyon tahminidir. Bu konuda yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Bu makalede, kablosuz ağ sinyal gücüne dayalı iç mekân konum tahmininde farklı makine öğrenimi yöntemlerinin performansı incelenmiştir. Bir veri kümesi kullanılarak yapay sinir ağları, k-NN, doğrusal regresyon, destek vektör makineleri, karar ağacı ve rastgele orman gibi yöntemlerin uygulanması ve sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Kullanılan veri tabanı detaylı olarak açıklanmıştır. Bu veri tabanının makine öğrenme algoritmalarına nasıl uygulandığı izah edilmektedir. Sonuçlarda en başarılı metot ve başarıya etki eden faktörler değerlendirilmiştir.

Comparison of Indoor Location Determination Methods That Use Wi-Fi Fingerprinting

Article Info	ABSTRACT
Received: 25.02.2024 Accepted: 20.06.2024 Published: 31.12.2024 Keywords: Wi-Fi fingerprint, Indoor location estimation, Artificial intelligence, Neural network.	Navigation systems have become an indispensable part of our daily lives. In order for this to be achieved, it is necessary to determine the local location. The most commonly used location determination method is the Global Positioning System (GPS). GPS signals often cannot penetrate closed areas. For this reason, using GPS for navigation in closed areas is not efficient. For this reason, different methods have been developed for position determination for navigation in closed areas. The primary method of these is position estimation via Wi-Fi fingerprint. There are many studies done on this subject. In this article, the performance of different machine learning methods in indoor location estimation based on wireless network signal strength is examined. Using a dataset, methods such as artificial neural networks, k-NN, linear regression, support vector machines, decision trees, and random forests were applied, and the results were compared. The database used is explained in detail. It is explained how this database is applied to machine learning algorithms. In the results, the most successful method and the factors affecting success were evaluated.

To cite this article:

Ünlüşen, M.F. & Yağcı, M. (2024). Comparison of indoor location determination methods that use Wi-Fi fingerprinting. *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, 6(3), 444- 456. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.57>

*Sorumlu Yazar: Muhammed Fahri ÜNLERŞEN, mfunlersen@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

INTRODUCTION

Rapidly developing technology makes our work easier at every point, both in our daily lives[1], [2], [3], [4] and in the industrial field [5], [6], [7], [8]. As a result of this developing technology, navigation systems have become an important part of our lives today. Thanks to navigation systems and mobile communication, people can see the shortest, fastest, and optimum route and provide transportation in cities they do not know. However, in order to perform this navigation, the current location must be determined. GPS is used for this purpose in open areas. Global Positioning System (GPS), known as Navstar GPS in its early days,[9] is a satellite-based radio navigation system. This system was developed and owned by the United States. The GPS is operated by the United States Space Force[10]. Although there are alternative navigation systems such as GLONASS, BeiDou, Galileo, Quasi-Zenith and India's recently announced NavIC, the most widely used and free one is GPS[11], [12], [13]. Satellite Navigation is based on a global network of satellites that transmit radio signals from medium earth orbit. The basic GPS service provides users with their local position information anywhere on or near the earth's surface, often to an accuracy of about 7.0 meters. To provide this service, GPS receivers must receive signals from at least four GPS satellites. These satellites have atomic clocks that provide extremely accurate time. Signals received from satellites contain the time and satellite information. Thus, position calculation is performed by comparing signals from at least four satellites[12]. It is possible to receive these signals via antenna for devices operating in areas that see the sky.

However, when GPS signals enter the indoor environment, they are weakened in the structure of the building. In most cases, it is not possible to use these signals for local location calculation in indoor environments. For this reason, different methods are tried in the literature for indoor positioning in indoor environments. Several widely used indoor location tracking methods encompass technologies such as ultrasound-based positioning, RFID systems for indoor navigation, ultra-wideband (UWB) techniques, Bluetooth-enabled location services, infrared positioning systems, ZigBee-based location identification, and WiFi-enabled indoor navigation solutions.

Indoor position estimation using the Wi-Fi fingerprinting method is frequently used to increase the accuracy of location determination systems in indoor areas (for example, shopping malls, hospitals, airports, and office buildings). GNSS (Global Navigation Satellite System) is a very effective positioning method in open areas. However, in indoor areas, satellite signals become weak or disappear completely. In this case, alternative methods are required for indoor positioning. This is where Wi-Fi fingerprinting comes into play. Wi-Fi networks are widely used in many indoor places. These networks emit signals through various access points (APs). Since these signals can be used to determine location without requiring additional equipment, they are a very economical navigation method. Positioning in indoor spaces is critical in a variety of application areas. Used in navigation and routing applications, it helps users find the shops, product stands, or doors they are looking for in large shopping malls or airports. While it can be used with an application on mobile phones, it is also possible to estimate coordinates for autonomous robots with hardware consisting of a very small and low-cost Wi-Fi receiver and a microcontroller. Apart from this, it also has benefits in areas such as security, tracking, customer analysis in stores, and emergency management.

In this study, different machine learning methods were used in indoor location estimation. Machine learning methods are used today in many areas from health, biomedical food, etc [14], [15], [16]. Although machine-learning methods are used in many areas, fine-tuning the parameters of the relevant machine-learning method on a problem-based basis seriously affects its performance [17]. For this reason, it is necessary not only to implement a method but also to set its parameters.

One of the first studies about Wi-Fi fingerprint indoor localization belongs to King et.al. In this

study, Kint et.al. present a positioning system that combines 802.11 compliant network infrastructure and digital compasses to achieve accurate indoor positioning. The system samples signal strength values of access points and utilizes the user's orientation to determine the position. By using digital compasses to detect user orientation, the system overcomes the blocking effects caused by human bodies, achieving an average error distance of less than 1.65 meters in an experimental environment of 312 square meters. The paper also discusses the impact of various parameters on the system's performance and compares it with the RADAR system, demonstrating superior accuracy [18].

Torres-Sospedra et.al. introduce the UJIIndoorLoc database, a new database for indoor localization based on WLAN fingerprinting. The database covers three buildings with 4 or more floors and almost 110,000m². The study states that the database was created by more than 20 users using 25 different devices and that this database can be used to test and compare localization algorithms, analyze device accuracy, improve WiFi coverage, and optimize WLAN access points. Additionally, a basic positioning system using the k-Nearest Neighbor rule has been developed to provide a baseline for comparison purposes. It is stated that positioning was made with an error of 7.9m with the Euclidean distance [19].

Unlarsen, in 2022 discusses the use of RSSI signals for indoor location estimation. Artificial neural networks (ANN) have been used to estimate indoor locations using the power levels of Wi-Fi signals. RSSI data was preprocessed in three different ways: raw, path loss adapted, and exponentially transformed. Experiments show that the path loss adapted data set has the lowest error rate. Additionally, a systematic approach is presented to determine the number of neurons in the hidden layer of the ANN. In ANN training, the artificial bee colony (ABC) algorithm, which is an optimization algorithm with a fast convergence feature, was used. It is stated that the ABC-ANN method performs better than other popular machine learning methods in this database. The study showed that appropriate preprocessing has a significant impact on the prediction performance of artificial intelligence [20].

Yang et.al. proposes a method to compensate for non-line of sight (NLOS) errors in indoor positioning systems. The method introduces the concept of "virtual inertial point" and "environmental factor" and uses acceleration data from an inertial measurement unit (IMU) to compensate for NLOS errors in ultra-wideband (UWB) based indoor positioning systems. The proposed method is shown to improve positioning accuracy by approximately 80% in NLOS areas. Experimental results demonstrate the effectiveness of the method, outperforming existing UWB/IMU coupling compensation methods. The proposed method has low complexity and high computational efficiency [21].

The article that belongs to Lou et al presents a WiFi-based indoor localization framework that addresses the challenges of fluctuating received signal strength (RSS) in indoor environments. The proposed method involves fingerprint clustering using Gaussian mixture models in the offline phase to divide the localization area into subareas. Additionally, some machine learning methods like Random Forest, SVM, KNN are employed for location estimation. It is reported that the proposed method significantly reduces localization errors and increase accuracy without requiring hardware calibration. The study compares the performance of the proposed algorithm with other machine learning-based methods, showing superior results in terms of root mean square error (RMSE) [22].

Qin et al discuss a novel indoor positioning system called CCPos, which leverages Wi-Fi fingerprint technology for accurate indoor localization. The system combines a Convolutional Denoising Autoencoder (CDAE) with Convolutional Neural Networks (CNN) to enhance the accuracy and robustness of indoor Wi-Fi fingerprint localization. In order to compare the performance of proposed method, classical machine learning methods like random forest, k-NN and Gradient were also examined in the study. The UJIIndoorLoc dataset is used for testing method. It is reported that the mean positioning error is about 12.4m [23].

Anjum et al discusses the use of RSSI fingerprinting-based localization in LoRa networks using regression and machine learning (ML) models. It explores the application of ML approaches for localization and the design of safety and security systems in IoT ecosystems. The article highlights the importance of research, experimentation, and testing for practical implementations of these systems. The potential benefits of using ML in IoT systems, particularly in localization, are emphasized. In the article, the Smoothing spline method has the best performance with the RMSE of 9.38m [24].

Polak et al present the use of machine learning in indoor location estimation based on received signal strength fingerprinting. Various ML-based classifiers are benchmarked to improve location fingerprinting results, including k Nearest Neighbors, Support Vector Machines, Random Forest, and Artificial Neural Networks. The Random Forest technique demonstrates high classification accuracy exceeding 99% in the scenarios tested [25].

Yildiz et al mentioned the importance of data mining in biomedical data applications. With this data, important results are obtained regarding the early detection, prevalence, and treatment of diseases. Decision trees are a critical tool in the accurate evaluation of biomedical data. Many applications, such as Weka, R, Rapid Miner, Knime, and Orange, use decision trees. In this study, classification was made with the C4.5 algorithm on biomedical data sets taken from the UCI Machine Learning repository. By analyzing the accuracy parameter, it was determined which application gave more accurate results [26].

Xia et al. discussed different indoor Wi-Fi positioning technologies, including various stages and processes of Wi-Fi fingerprint technology, and classified their methods used in various stages. In addition, they mentioned the publications and trends related to indoor location estimation made during the period when the study was published. They noted that there are still many potential areas for improvement in the field of indoor fingerprint positioning [27].

He et.al. in 2015 presented an overview of indoor positioning using Wi-Fi fingerprinting technology. This study aims to increase the precision of positioning by using various techniques such as collaborative localization, motion-assisted schemes, and system deployment strategies. It is suggested to combine Wi-Fi fingerprint signals with information received from motion sensors. It also mentions the adaptation of channel state information (CSI) to the estimation method. No experiment or simulation has been conducted on the performance of the methods mentioned in the article, but the achievements of previous studies are presented [28].

Zhou et al. introduced an indoor positioning system using Wi-Fi fingerprints that integrates a backpropagation neural network with an adaptive genetic algorithm alongside CSI tensor decomposition. They utilized a tensor decomposition approach based on the parallel factor (PARAFAC) analysis model and employed the iterative alternating least squares method. The results demonstrated that the system achieved levels of accuracy within 3m, 3.5m, and 4m, showcasing its reliability in measurements[29].

In this study, different machine learning methods are applied to the same data set, and their performance is compared. The database used is introduced in the next section. Additionally, the applied machine learning methods are explained and the way the data in the database is applied to machine learning is explained.

MATERIALS AND METHODS

Dataset Description

In this study, the performance of various machine learning methods in Wi-Fi fingerprint-based indoor location estimation was examined. For this purpose, a dataset was used that was presented in a recently published article namely "Supplementary open dataset for WiFi indoor localization based on

received signal strength"[30]. In this study, the dataset is clearly explained. To create this database, data collection was carried out in 3 buildings. In this study, the data collected in the building presented with the HCXY code was studied. This building consists of offices at a college in Xuhhou City. The recordings were collected on the fourth floor of this building. The area of the fourth floor is about 3600m². The floor plan is presented in Figure 1.

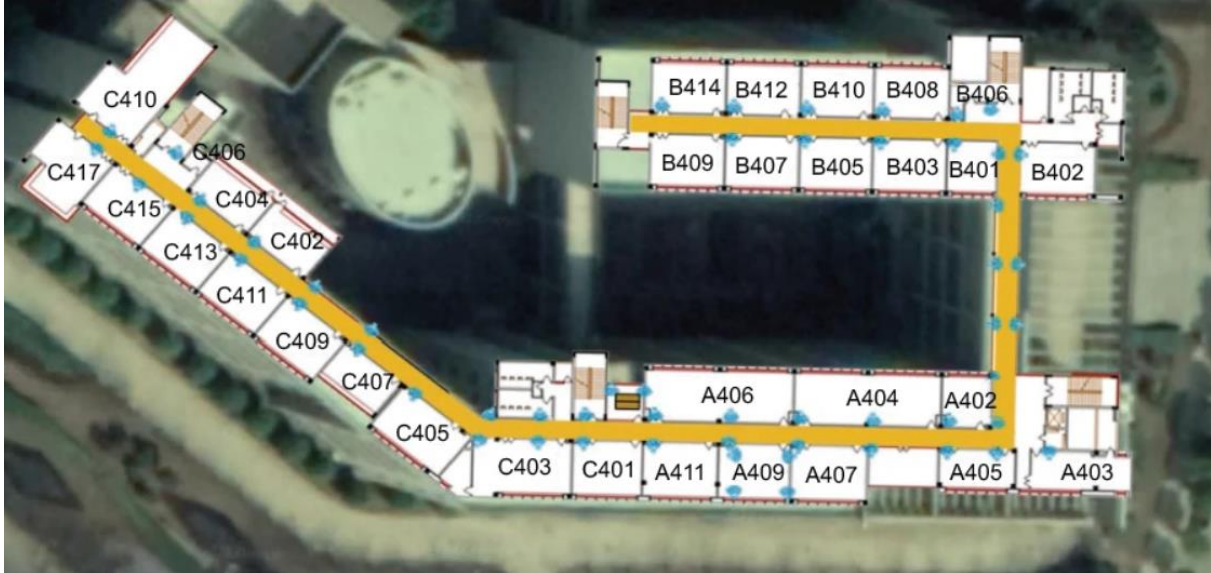


Figure 1
The 4th floor plan of the HCXY building [30]

The corridor spans approximately 211 meters. Access Points (APs) with a single band were evenly set up in a symmetrical arrangement, placed at consistent heights, and spaced equally apart. They were installed on both sides of the corridor walls [30]. The points seen in the corridors in Figure 1 are the places where Wi-Fi RSSI values are taken. Some of these places are used for training and some for testing. For each measurement point, precise coordinates were recorded by using an electronic total station which has a 3mm error in 1km distance. At each training point, 30 records were taken. Additionally, for each test point, 10 records have been taken. The intersection of train points and test points is an empty set. There are 347 APs in the entire measurement area. Signals cannot be received from all of them at every point. RSSI data of APs from which signals are received are recorded in dBm units. These values are negative. The lowest signal level in the database is specified as -104. The value +100 was entered for APs where no signal could be received.

Some operations were performed on the data before starting to use it. First, the values of the APs without access, which were originally assigned as +100, were changed to -105, which is below the lowest value in the database, -104. Then, the average values of each of the 10 samples were taken. Thus, the effect of various interactions in the environment on RSSI was tried to be minimized. Before these operations, there were 11370 records in the training dataset and 860 records in the test dataset. After this process, 1137 records in the training dataset and 86 records in the test dataset were created.

Proposed Datamining Methods

In this study, the Orange Data Mining Tool was used in the application of the mentioned methods. After the existing database was loaded into the Orange application, all existing data mining algorithms were used in the application. The performance results of the six most successful methods are presented in this study. Details of these methods are mentioned below.

ANN: The Artificial Neural Network (ANN) operates as a forward-feeding model, effectively associating specified input sets with their corresponding outputs. This architecture consists of several layers, with each one linked to its successor. Every layer is comprised of neurons or processing elements, each equipped with a nonlinear activation function, excluding those at the input level. It incorporates a method of supervised learning known as backpropagation during the training phase. Unlike the traditional linear perceptron, the ANN model excels at identifying patterns within data that cannot be separated linearly [31], [32].

k-NN: The k nearest neighbor (k-NN) technique stands as a powerful tool within supervised machine learning, adept at handling both classification and regression challenges. It proves particularly efficient with smaller datasets and situations where class distinctions are clear-cut. In operation, the k-NN method calculates the distance between a new sample destined for classification and existing samples within the training set, employing the class attributes of the k^{th} closest neighbors to execute the classification. For determining the distance between the data requiring classification and the dataset used for training, it typically utilizes Euclidean, Manhattan, and Minkowski metrics, as outlined in the subsequent equations. In the context of regression, upon establishing the preferred distance metric, KNN proceeds to predict by identifying the nearest neighbors to the specific data point and then deducing the interpolations for the target values held by these neighbors. Here, selecting the ideal number for k emerges as a crucial step, significantly influencing the algorithm's effectiveness [31], [33].

Linear Regression: In tackling the issue of predicting a continuous variable Y based on multiple predictors $X_1, \dots, X_p$, linear regression emerges as the simplest approach, modeling the dependent variable as a linear blend of the predictors. Its widespread use in various fields can be attributed to multiple factors. The ease with which its parameters can be understood is one such reason. Furthermore, the theoretical foundations of linear models are robust and mathematically sophisticated. Linear regression also serves as a foundational element for numerous contemporary analytical techniques. Particularly in situations where the dataset is small, or the signal strength is low, linear regression tends to offer a reasonable estimate of the relationship between the variables involved [34].

Decision Tree: The decision tree methodology stands as a renowned, extensively applied, and potent technique for classification tasks. Its superiority over alternative classification approaches lies primarily in the heightened clarity of the models it produces, alongside a more efficient evaluation process. Characterized by its nomenclature, this algorithm manifests in a tree-like structure, composed of both leaf and test nodes [35].

Random Forest: The Random Forest algorithm operates as a versatile machine learning technique, primarily leveraging both classification and regression trees, noted for its high efficiency, ease of use, and adaptability. As a member of the ensemble learning algorithms family, it utilizes the bagging approach. Its key strength lies in its ability to tackle both classification and regression challenges, foundational to numerous other machine-learning strategies. Comprising decision trees built simultaneously, Random Forest incorporates both classification and regression trees. Within each tree, nodes are segmented based on the most effective features, ensuring the attainment of the best possible solution from the available options [36].

Support Vector Machines: Fundamentally, a Support Vector Machine (SVM) exists as a computational tool, serving as a method for optimizing a certain mathematical function in relation to a specific set of data. The foundational principles of the SVM approach can indeed be outlined without delving into complex mathematical formulas. It is posited that comprehending the core of SVM classification requires an understanding of four principal elements: (i) the concept of a dividing hyperplane, (ii) the principle of a hyperplane with the widest margin, (iii) the notion of a soft margin, and (iv) the idea of a kernel function. Introduced by Cortes and Vapnik in 1995 and rooted in statistical

theory, the SVM was designed to minimize the potential for error in general predictions by optimizing the space—or margin—around a dividing hyperplane, which in turn ensures the greatest possible separation between two distinct categories. This optimization requires that data points remain distanced from the hyperplane itself [37], [38].

Application of Machine Learning Algorithms

As it is known, the machine learning algorithms mentioned above have the ability to perform single-target regression. However, in the indoor location estimation process, both x and y coordinates need to be estimated. For this purpose, the relevant method for x and y coordinate estimation was trained separately. The results of the test data were obtained in this trained structure and the errors were calculated as RMSE.

All these operations were carried out on the Orange machine learning and data mining tool. Orange serves as a comprehensive suite for data analysis, leveraging machine learning and data mining via Python scripting and an intuitive visual programming interface. Structured as a hierarchical toolbox, it encompasses a variety of data mining elements. Foundational processes such as data filtering, assessing probabilities, and evaluating features form the base of this hierarchy are integrated into more complex algorithms, including learning classification trees. This structure facilitates the seamless addition of new functionalities at various levels, enabling their integration with the current codebase [39].

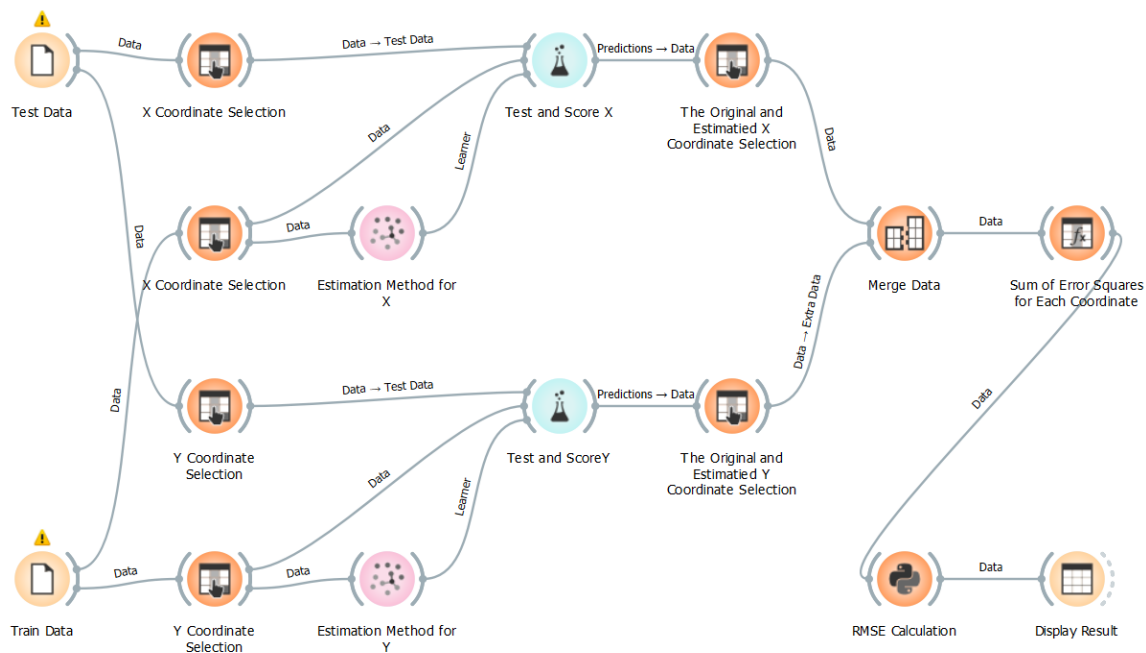


Figure 2
Flow diagram of machine learning methods over Orange tool

First, the training data is divided into x and y targets. Two models of the same model were created, and training was provided by transferring x data to one of them and y data to the other. The test data was also divided into x and y and directed to the relevant model. To calculate RMSE data, the predictions created by the models and the original x and y values were taken from the test results and combined. Finally, RMSE was calculated with a Python script. A screenshot of the prediction structure created in the Orange tool for these operations is presented in Figure 2. The “Estimation Method” module shown in Figure 2 was changed for each machine learning method and results were obtained with the same structure.

RESULTS

Indoor location estimation using Wi-Fi fingerprinting is a very difficult process. Although these methods have been implemented in many studies, different methods may perform better for each different environment, depending on the characteristics of the environment. For this reason, different machine learning algorithms were examined for this data set and the results are given in Table 1.

Table 1
The RMSE performances of machine learning methods

	X COORDINATE RMSE	Y COORDINATE RMSE	OVERALL RMSE
ANN	5.8980 m	2.4480 m	6.3859 m
LINEAR REGRESSION	5.2320 m	3.1420 m	6.1027 m
K-NN	2.3090 m	1.6100 m	2.8147 m
DECISION TREE	12.4990 m	7.0110 m	14.3309 m
RANDOM FOREST	3.5250 m	2.4240 m	4.0444 m
SVM	5.9360 m	4.1920 m	7.2675 m

In the ANN used, 100 neurons were selected in the hidden layer. ReLU was chosen as the activation function. As seen in Table 1, ANN has an RMSE error of 5.4480m on the x-axis and an error of 2.4480m on the y-axis. The overall error in RMSE was determined as 6.3859m for ANN.

The performance of the linear regression model on this dataset was also examined. The prediction error of this method, as RMSE, was determined to be 5.230m in the x-axis direction, and the prediction error in the y-axis direction was 3.1420m.

The k-NN method was employed for location estimation with this dataset. The most successful performance belongs to this method. The neighborhood value determined here is determined as 5 for both the x estimator and the y estimator. Additionally, Euclidean distance was chosen as the distance metric. The RMSE error of this method in the indoor location estimation process made with the data in the database used was determined as 2.3090m on the x-axis and 1.6100m on the y-axis, as seen in Table 1. In general, the RMSE value is seen to be 2.8147m.

The decision tree has been the most unsuccessful or the method with the highest error among all the methods. Here, the error was determined as 12.4990m on the x-axis and 7.0110m on the y-axis. The overall error of this method was 14.3309m in RMSE.

The random forest algorithm was determined to be the most successful method after the k-NN algorithm. The random forest algorithm has an error of 3.5250m in its prediction on the x-axis and 2.4240m in its prediction on the y-axis. The general error was determined as 4.0444m. All errors are again calculated as RMSE.

The last method used for this process is SVM. Linear kernel was selected in SVM. It was observed that this method made an error of 5.9360m in the x-axis estimation and 4.1920m in the y-axis estimation. The overall error was determined as 7.2675m in RMSE. The parameters of the examined machine learning methods are presented in Table 2.

Each method displayed varying levels of accuracy in indoor location estimation. Notably, K-NN showed the best performance, while Decision Tree exhibited the highest error. Random Forest emerged as the second most successful method after K-NN. These findings underscore the importance of selecting appropriate algorithms tailored to specific environmental characteristics for effective indoor location estimation.

Table 2*The Fine-Tuned parameters of proposed machine learning methods*

PARAMETERS		
ANN	Hidden Layer Neuron:	100
	Activation Function:	ReLU
	Solver:	Adam
	Regularization:	0.0001
	Max. Iteration:	300
LINEAR REGRESSION	Regularization:	Ridge regression(L2)
	Regularization strength:	Alpha:1000
	Elastic net mixing:	0.54:0.46
K-NN	Number of neighbors:	5
	Metric:	Euclidean
	Weight:	Uniform
DECISION TREE	Min. number of instances in leaves:	2
	Do not split subsets smaller than:	5
	Limit the maximal tree depth to:	100
	Stop when majority reaches[%]:	95
RANDOM FOREST	Number of trees:	10
	Numb. of att. considered:	5
SVM	SVM Type:	v-SVM
	Regression cost (C):	1.00
	Complexity bound (v):	0.50
	Kernel:	Linear
	Iteration limit:	100

The results of our study and studies conducted with similar methods in the literature are given in Table 3. Although it is not possible to talk about the superiority of any method over the other because different databases are used, it is possible to list the methods that have consistently achieved a certain success among indoor location estimation methods as k-NN, ANN, Random Forest, SVM.

Table 3*Performance comparison of machine learning methods in literature*

STUDY	DATASET	OTHER METHOD/ERROR	NEURAL NETWORKS	RANDOM FOREST	SVM	K-NN
[19]	UJIIndoorLoc	Basic Indoor Location System/7.9m	ABC-ANN/1.0143m	4,889m	4,606m	3,902m
[20]	UJIIndoorLoc					
[21]	UWB/IMU	UWB-IMU/0.42m	CSI-ANN/3.5m	15,9m	13,75m	18,6m
[29]	Self					
[22]	Self	Proposed/3.403m	CDAE-CNN/12.4m	12,53m	7,25m	5,255m
[23]	UJIIndoorLoc	WKNN/18.4m				
[24]	Self	Smoothing spline/9.38m	MLP/14.81m	3,5m	7,25m	5,255m
[25]	Self					
Proposed	HCCXY college in Xuhhou City [30]		6.39m	4.04m	7.27m	2.81m

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

In this study, the performance of Wi-Fi fingerprint-based indoor location estimation, which is frequently used due to the difficulty of using GPS signals in closed areas, was compared with different methods. Wi-Fi fingerprint-based location estimation methods appear as an important alternative for indoor location estimation due to the very low cost of additional hardware. However, since there will be no standard layout of APs, intensive preliminary work, and data collection are required for this process. In addition, it is predicted that Wi-Fi signals being affected by people in the environment reduce the

location estimation consistency. Considering all these pros and cons, it is thought that this method can be useful in many areas such as the navigation of people in airports, hospitals, markets, etc. Future work could combine multiple machine learning algorithms to create a hybrid model that leverages the strengths of each method for better indoor location prediction accuracy. In addition, real-time indoor location estimation systems can be realized, which can provide instant and accurate location information by optimizing algorithms for efficiency and speed without compromising accuracy, and are supported by temporal filters since a continuous data flow is provided.

Ethical Statement

This study is an original research article designed and developed by the authors.

Author Contributions

Research Design M.Y. (%90) - M.F.U. (%10)

Data Collection M.F.U. (%90) - M.Y. (%10)

Research - Data Analysis - Validation M.F.U. (%70) - M.Y. (%30)

Writing the Article M.F.U. (%90) - M.Y. (%10)

Revision and Improvement of the Text M.F.U. (%80) - M.Y. (%20)

Financing

This study has not received any financial support.

REFERENCES

- [1] S.A. Celtek, M. Durgun, H. Soy, Internet of things based smart home system design through wireless sensor / actuator networks, *2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2017- Proceedings.* (2017) 15-18. doi:10.1109/AIACT.2017.8020054.
- [2] S. Altunkaya, S. Kara, N. Görmüş, S. Herdem, Comparison of first and second heart sounds after mechanical heart valve replacement, *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering.* 16 (2013), 368-380. doi:10.1080/10255842.2011.623672.
- [3] T.F. Ateş, H. Açıkgöz, A.O. Özkan, Pasif RFID Etiket konumunu belirlemeye yönelik UHF anten tasarımı, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi.* 1 (2019), 112-117.
- [4] E. Jonuzi, H.Z. Selvi, Enhancing map comprehension via symbols: Developing symbols for thematic maps based on children's cognitive development, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi.* 5 (2023), 88-110. doi:10.47112/NEUFMBD.2023.12.
- [5] A. Akkaş, M. Özcan, Askılı kumlama makinesinin PLC ile kontrolü sayesinde elde edilen kazanımlar, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi.* 1 (2019) 118-127.
- [6] M.S. Endiz, M. Özcan, M.A. Erismis, M. Yagci, H. Günay, The simulation and production of glow plugs based on thermal modeling, *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences.* 23 (2015), 2197-2207. doi:10.3906/elk-1307-5.
- [7] M. Demirtas, M.A. Erismis, S. Gunes, A Lossy Capacitance Measurement Circuit Based on Analog Lock-in Detection, *Elektronika ir Elektrotehnika.* 26 (2020), 4-10. doi:10.5755/J01.EIE.26.5.25809.
- [8] E. Madenci, Fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme plakların statik analizinde mikro-mekanik modellerin katkısı, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi.* 5 (2023), 23-37.
- [9] S. Zaidman, Global Positioning System Wide Area Augmentation System (WAAS) Performance Standard, 1st bs, Washington, DC, 2008.
- [10] J.G. Grimes, Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard, Washington, 2008.
- [11] A. Sha, 5 GPS Alternatives You Should Know, *Beebom.* (2020).
- [12] Satellite Navigation - GPS - How It Works | Federal Aviation Administration, (t.y.). https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservice/s/gnss/gps/howitworks (erişim 29 Ekim 2023).
- [13] S. Ögütçü, B.N. Özdemir, S. Alçay, İ. Buğdaycı, GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou GNSS sistemlerinin 1. ve 2. temel frekanslarının doluluk analizi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi.* 5 (2023), 14-22.
- [14] İ.D. Argun, B. Nalbant, Using classification algorithms in data mining in diagnosing breast cancer, *Advances in Artificial Intelligence Research.* 2 (2022), 65-70. doi:10.54569/AAIR.1142519.
- [15] M.F. Unlersen, K. Sabanci, M. Özcan, Determining cervical cancer possibility by using machine learning methods, *International Journal of Latest Research in Engineering and Technology (IJLRET).* 03 (2017), 65-71.
- [16] M.E. Sonmez, K. Sabanci, N. Aydin, Convolutional neural network-support vector machine-based approach for identification of wheat hybrids, *European Food Research and Technology.* 250 (2024), 1353-1362. doi:10.1007/S00217-024-04473-4/FIGURES/6.
- [17] E. Atagün, İ.D. Argun, Performance analysis of data mining software with parametric changes,

- International Journal of Forensic Software Engineering*. 1 (2020), 115. doi:10.1504/IJFSE.2020.110624.
- [18] T. King, S. Kopf, T. Haenselmann, C. Lubberger, W. Effelsberg, COMPASS: A probabilistic indoor positioning system based on 802.11 and digital compasses, *WiNTECH 2006 - Proceedings of the First ACM International Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental Evaluation and Characterization (co-located with MobiCom 2006)*. 2006 (2006), 34-40. doi:10.1145/1160987.1160995.
- [19] J. Torres-Sospedra, R. Montoliu, A. Martinez-Uso, J.P. Avariento, T.J. Arnau, M. Benedito-Bordonau, J. Huerta, UJIIndoorLoc: A new multi-building and multi-floor database for WLAN fingerprint-based indoor localization problems, *IPIN 2014 - 2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*. (2014), 261-270. doi:10.1109/IPIN.2014.7275492.
- [20] M.F. Unlersen, ABC-ANN Based Indoor Position Estimation Using Preprocessed RSSI, *Electronics (Switzerland)*. 11 (2022). doi:10.3390/ELECTRONICS11234054.
- [21] X. Yang, J. Wang, D. Song, B. Feng, H. Ye, A novel NLOS error compensation method based IMU for UWB indoor positioning system, *IEEE Sensors Journal*. 21 (2021), 11203-11212. doi:10.1109/JSEN.2021.3061468.
- [22] M. Luo, J. Zheng, W. Sun, X. Zhang, WiFi-based indoor localization using clustering and fusion fingerprint, (2021). doi:10.23919/CCC52363.2021.9549410.
- [23] F. Qin, T. Zuo, X. Wang, CCpos: WiFi fingerprint indoor positioning system based on CDAE-CNN, (2021). doi:10.3390/s21041114.
- [24] M. Anjum, M.A. Khan, A. Hassan, A. Mahmood, H.K. Qureshi, M. Gidlund, RSSI fingerprinting-based localization using machine learning in LoRa networks, *IEEE Internet of Things Magazine*. 3 (2020). doi:10.1109/IOTM.0001.2000019.
- [25] L. Polak, S. Rozum, M. Slanina, T. Bravenec, T. Fryza, A. Pikrakis, Received signal strength fingerprinting-based indoor location estimation employing machine learning, *Sensors*. 21 (2021), 4605. doi:10.3390/S21134605.
- [26] Ö. Yildiz, T. Dayanan, and İ. D. Argun, "Comparison of accuracy values of biomedical data with different applications decision tree method," in 2018 Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting (EBBT), 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/EBBT.2018.8391439.
- [27] S. Xia, Y. Liu, G. Yuan, M. Zhu, Z. Wang, S. Zlatanova, K. Khoshelham, G. Sithole, W. Kainz, Indoor Fingerprint Positioning Based on Wi-Fi: An Overview, *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 6 (2017). doi:10.3390/ijgi6050135.
- [28] S. He, S.-H.G. Chan, Wi-Fi Fingerprint-Based indoor positioning: Recent advances and comparisons, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 18 (2016), 466-490. doi:10.1109/COMST.2015.2464084.
- [29] M. Zhou, Y. Long, W. Zhang, Q. Pu, Y. Wang, W. Nie, W. He, Adaptive genetic algorithm-aided neural network with channel state information tensor decomposition for indoor localization, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 25 (2021), 913-927. doi:10.1109/TEVC.2021.3085906.
- [30] J. Bi, Y. Wang, B. Yu, H. Cao, T. Shi, L. Huang, Supplementary open dataset for WiFi indoor localization based on received signal strength, *Satellite Navigation*. 3 (2022), 1-15. doi:10.1186/S43020-022-00086-Y/FIGURES/7.
- [31] K. Sabancı, M.F. Ünlersen, K. Polat, Classification of different forest types with machine learning algorithms, içinde: *22nd Annual international scientific conference research for rural development, Latvia Univ Life Sciences & Technologies*, 2016: ss. 254-260.
- [32] M.F. Unlersen, E. Yaldiz, Direction of arrival estimation by using artificial neural networks, *Proceedings - UKSim-AMSS 2016: 10th European Modelling Symposium on Computer Modelling and Simulation*. (2017) 242-245. doi:10.1109/EMS.2016.049.

- [33] M. Hacıbeyoğlu, M. Çelik, Ö. Erdaş Çiçek, K en yakın komşu algoritması ile binalarda enerji verimliliği tahmini, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5 (2023), 65-74. doi:10.47112/NEUFMBD.2023.10.
- [34] X. Su, X. Yan, C.L. Tsai, Linear regression, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*. 4 (2012), 275-294. doi:10.1002/WICS.1198.
- [35] K. Sabancı, M. Akkaya, Classification of different wheat varieties by using data mining algorithms, *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*. 4 (2016), 40-44. doi:10.18201/IJISAE.62843.
- [36] C.D. Kumral, A. Topal, M. Ersoy, R. Çolak, T. Yiğit, Random forest algoritmasının FPGA üzerinde gerçekleştirilerek performans analizinin yapılması, *El-Cezeri*. 9 (2022) 1315-1327. doi:10.31202/ECJSE.1134799.
- [37] L.S. Lin, Z.Y. Chen, Y. Wang, L.W. Jiang, Improving anomaly detection in IoT-sed solar energy system using SMOTE-PSO and SVM Model, içinde: *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, IOS Press BV, 2022: ss. 123-131. doi:10.3233/FAIA220434.
- [38] W.S. Noble, What is a support vector machine?, *Nature Biotechnology*. 24 (2006), 1565-1567. doi:10.1038/NBT1206-1565.
- [39] J. Demšar, T. Curk, A. Erjavec, Č. Gorup, T. Hočevan, M. Milutinovič, M. Možina, M. Polajnar, M. Toplak, A. Starič, M. Štajdohar, L. Umek, L. Žagar, J. Žbontar, M. Žitnik, B. Zupan, Orange: data mining toolbox in Python, *The Journal of Machine Learning Research*. 14 (2013), 2349-2353.

3 Serbestlik Dereceli Sistemin Yapay Zekâ Tabanlı LQR ve PID Kontrolcü Tasarımı

Engin Hasan ÇOPUR ^{1*}  Hasan Hüseyin BİLGİÇ ²  Tarık ÜNLER ³ 

¹ Necmettin Erbakan University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aerospace Engineering, Konya, Türkiye

² Necmettin Erbakan University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aeronautical Engineering, Konya, Türkiye

³ Necmettin Erbakan University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Avionics, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi	ÖZET
Geliş Tarihi: 16.02.2024 Kabul Tarihi: 28.05.2024 Yayın Tarihi: 31.12.2024	Bu çalışmada 3 serbestlik dereceli eksik eyleyicili bir sistemin konum kontrolü gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım ikili sarkaç tipi tepe vincinin üzerinde denenmiştir. İlk olarak sistemin matematiksel modeli doğrusal olmayan dinamikler dikkate alınarak Euler-Lagrange metodu ile elde edilmiştir. Benzetim çalışmalarında PID ve LQR kontrolcülerini kullandığından doğrusal olmayan model sistemin denge noktası etrafında doğrusallaştırılmıştır. Elde edilen doğrusal model kullanılarak PID ve LQR kontrolcülerinin parametreleri Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile ayarlanmıştır. Optimizasyon sürecinde sistemin üç serbestliğindeki hatanın minimize edilmesi için geleneksel uygunluk fonksiyonlarından Zamansal mutlak hataların toplamı (Integral Time Absolute Error) fonksiyonu seçilmiştir. Ayrıca arabanın hassas hareketini sağlamak için amaç fonksiyonu birim basamak cevaplarını içerecek şekilde iyileştirilmiştir. Kontrolcü performansları benzetim ortamında yapılan çalışmalar ile denenmiştir. Sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur. Önerilen yaklaşım çok serbestlik dereceli ve eksik eyleyici sistemlerin kontrolünde kullanılabilir.
Anahtar Kelimeler: Tepe Vinci, Yapay Zekâ LQR, PID, Yapay Arı Kolonisi Algoritması.	

Artificial Intelligence based LQR and PID Controller Design of 3 Degree of Freedom System

Article Info	ABSTRACT
Received: 16.02.2024 Accepted: 28.05.2024 Published: 31.12.2024	In this study, the position control of a 3 DoF underactuated system is carried out. The developed approach is tested on a double pendulum overhead crane. Considering the nonlinear dynamics of the system, its mathematical model is first obtained by Euler-Lagrange model. Then, since PID and LQR controllers are used in the simulations, the nonlinear model is linearized around the equilibrium point of the system. Using the linear model, the parameters of LQR and PID controllers are tuned by Artificial Bee Colony Algorithm. In the optimization process, the Integral Time Absolute Error function is chosen from traditional fitness functions to minimize the error in each single-degree-of-freedom joint of the system. Additionally, to ensure the precise movement of the car, the objective function is improved in a way to include unit step response characteristics. The control performance is evaluated in the simulations. The results are presented in tables and graphs. The proposed approach can be used to control multi-degree of freedom underactuated systems.
Keywords: Gantry crane, Artificial Intelligence, LQR, PID, Artificial Bee Colony Algorithm.	

To cite this article:

Çopur, E.H., Bilgiç, H.H. & Ünler, T. (2024). Artificial intelligence based LQR and PID controller design of 3 degree of freedom system. *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, 6(3), 457-467. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.58>

*Sorumlu Yazar: Engin Hasan Çopur, ehcopur@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

INTRODUCTION

Industrial cranes are frequently used in various stages of production. Transporting especially heavy loads from one place to another in production processes is one of the most important processes of production. The main function of industrial cranes is to transport heavy loads. What is expected from industrial cranes is to transport the loads they carry to a desired location quickly and with as little oscillation as possible. For this reason, different control methods enable the load to be transported from one point to another with minimal oscillation [1].

Oscillations are reduced by using different control approaches. In the control applications of industrial cranes, open- and closed-loop control approaches are frequently used to reduce oscillations. Some well-known examples of open-loop control approaches are input shaping, filter and command smoothing applications [2-4]. The command shaping control method was also used to control a double pendulum crane in an open-loop control architecture [5]. For the closed-loop control applications, PID (Proportional-Integral-Derivative) controllers are usually preferred [6-8]. Apart from this, LQR method was also applied to control crane position [9].

The fine-tuning process is extremely important to satisfy the control performance criteria determined in the design process. Various methods have been utilized to perform the fine-tuning process. For the industrial control applications, there are some traditional control tuning methods such as Ziegler-Nicholas and Cohen-Coon methods. However, these control tuning methods usually struggle to meet the control criteria when a cascade control strategy needs to be implemented in the control applications such as double overhead pendulum crane (DPOC), flight control and inverted pendulum control systems. Therefore, to deal with these complex control problems, some advanced tuning methods must be applied.

Optimization methods have been successfully applied to fine-tune the parameters of different control methods for many years. The behaviours of animals in the nature inspire the researchers to develop effective optimization algorithms for the parameter estimation in the control process so that the estimated parameters are sufficiently accurate to achieve the desired performance [10, 11]. In general, an optimization method searches the required parameters within a pre-defined local space which can minimize an objective function defined by considering the control aims.

Bandong et al. [12] have compared three optimization techniques, namely Particle Swarm Optimization (PSO), Flower Pollination Algorithm (FPA), and Stochastic Fractal Search (SFS), to tune the PID controller parameters in the control of the position and sway angle of the gantry crane. In another study, a 3D crane system was considered, and a PSO based PID-PID control structure, including one outer loop and one inner loop, was built to control the crane without an enormously large swing angle [13]. Genetic Algorithm (GA) is also an alternative optimization approach for tuning PID and LQR parameters in gantry crane control [14-16]. An alternative approach was to use a generalized predictive control (GPC) approach, which is known as a robust-optimal control [17], to tune PID parameters for the control of a 3D crane system [18]. In addition, fuzzy systems are also applied to fine-tune control parameters due to their model independent structure [19].

In this study, both PID and LQR controllers are utilized in a feedback control architecture for the position and anti-swing control of a double pendulum overhead crane (DPOC). DPOC is an underactuated system. In other words, the system has a single actuator and three degrees of freedom. Successful control of the system is possible by fine-tuning the controller gains. The control parameters are fine-tuned by using Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm. To the authors' knowledge and based on their literature search, limited research has focused on ABC based PID and LQR controllers for the DPOC system. Therefore, the main aim of this study is to compare the performance of PID and LQR

controllers tuned by ABC algorithm for the position and anti-swing control of DPOC system. In addition, to minimize the performance measure defined in terms of ITAE as well as the overshoot and the settling time, a specific objective function is also proposed. The comparative analysis is performed in a simulation environment, and the results show that LQR provides better control performance than PID.

MATHEMATICAL MODEL OF DPOC

A schematic representation of a DPOC system is given in Figure 1. As seen in Figure 1, this crane mechanism consists of trolley, hook, and payload whose masses are m_t , m_h , and m_p , respectively. The trolley is connected to the hook via a cable of length l_{th} , and the hook is connected to the payload by using another cable of length l_{hp} . In the modelling process, the cables are assumed to be inflexible and massless. The trolley can be moved back and forward on a bridge rail by an actuating force F_{act} to transport the payload to a desired position. During the transportation of the payload, the hook and payload exhibit swinging motions determined by the hook swing angle θ_h and payload swing angle θ_p . Therefore, the main control problem is here to design an effective controller that can suppress these swing angles, thereby stabilizing the payload around the vertical axis passing through the centre of gravity of the trolley.

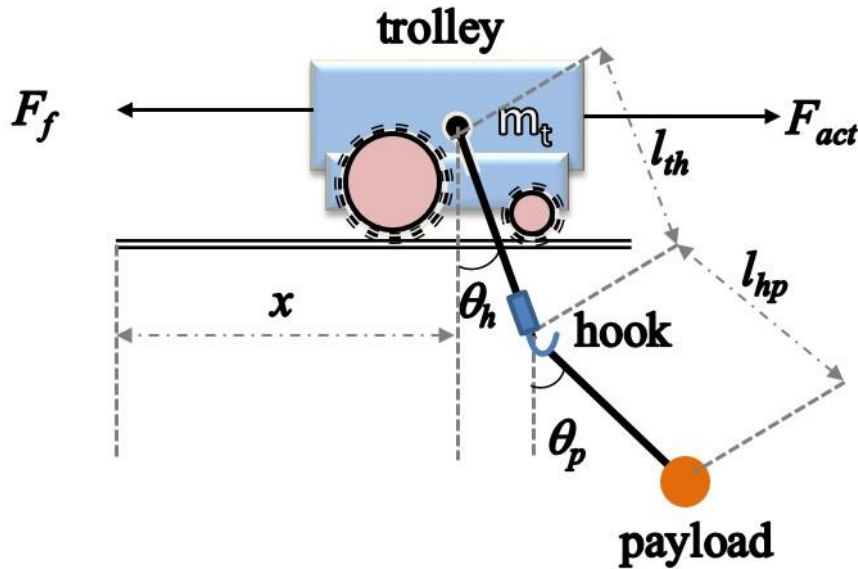


Figure 1
Schematic representation of a double pendulum overhead crane

By using Euler-Lagrange method, the equations of motion can be described in a matrix form [20-23] as

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q)q = U \quad (1)$$

where $q = [x \ \theta_h \ \theta_p]$, and $M(q)$, $C(q, \dot{q})$, $G(q)$ and U denote respectively the inertia matrix, the centripetal-Coriolis matrix, the gravity vector, and the control input vector. The terms in the mathematical model of the double-pendulum overhead crane can be explicitly written as

$$M(q) = \begin{bmatrix} m_t + m_h + m_p & (m_h + m_p)l_{th} \cos \theta_h & m_p l_{hp} \cos \theta_p \\ (m_h + m_p)l_{th} \cos \theta_h & (m_h + m_p)l_{th}^2 & m_p l_{th} l_{hp} \cos(\theta_h - \theta_p) \\ m_p l_{hp} \cos \theta_p & m_p l_{th} l_{hp} \cos(\theta_h - \theta_p) & m_p l_p^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & -(m_h + m_p)l_{th}\dot{\theta}_h \sin \theta_h & -m_p l_{hp} \dot{\theta}_p \sin \theta_p \\ 0 & 0 & m_p l_{th} l_{hp} \dot{\theta}_p \sin(\theta_h - \theta_p) \\ 0 & -m_p l_{th} l_{hp} \dot{\theta}_p \sin(\theta_h - \theta_p) & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$G(q) = [0 \quad (m_h + m_p)gl_{th} \sin \theta_h \quad m_p gl_{hp} \sin \theta_p]^\top \quad (4)$$

$$U = [F_{act} - F_f \quad 0 \quad 0]^\top \quad (5)$$

where F_f represents the nonlinear mechanical friction between the trolley and the rail. The friction force can be modelled by

$$F_f(\dot{x}) = f_{r0} \tanh\left(\frac{\dot{x}}{\zeta}\right) - k_r |\dot{x}| \dot{x}$$

where f_{r0} and ζ are the static friction-related coefficients, and k_r is the viscous friction-related coefficient parameter [24]. Additionally, by considering the physical nature of the overhead crane system, the hook swing angle θ_h and the payload swing angle θ_p can be assumed to change within the range of

$$-\frac{\pi}{2} < \theta_p, \theta_h < \frac{\pi}{2}, \forall t \geq 0$$

to solve the control problem of DPOC system, PID and LQR controllers are utilized. Therefore, the nonlinear system model (1) should be linearized around the equilibrium point of the system, i.e. $\theta_h = 0$ and $\theta_p = 0$. Assuming that $\sin \theta_h \cong \theta_h$, $\sin \theta_p \cong \theta_p$, $\cos \theta_h \cong 1$, $\cos \theta_p \cong \theta_p$, $\dot{\theta}_h \cong 0$ and $\dot{\theta}_p \cong 0$, the linear model is obtained in the following form

$$\dot{\tilde{x}} = A\tilde{x} + Bu \quad (6)$$

where $\tilde{x} = [x \quad \theta_h \quad \theta_p \quad \dot{x} \quad \dot{\theta}_h \quad \dot{\theta}_p]$ and $u = F_{act}$. The system and control matrices of the linear system (6) are given as follows:

$$A = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} \\ 0 & a_{42} & 0 & a_{44} & 0 & 0 \\ 0 & a_{52} & a_{53} & a_{54} & 0 & 0 \\ 0 & a_{62} & a_{63} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ and } B = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 1} \\ b_4 \\ b_5 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{with } a_{42} = g(m_h + m_p)m_t^{-1}, a_{44} = -f_{r0}(\zeta m_t)^{-1}, a_{52} = -g(m_t + m_h)(m_h + m_p)m_t l_{th} l_{hp}, \\ a_{53} = g m_p (l_{th} m_h)^{-1}, a_{54} = f_{r0}(\zeta m_t l_{th})^{-1}, a_{62} = g(m_h + m_p)(m_h l_{hp})^{-1}, a_{63} = \\ -g(m_h + m_p)(m_h l_{hp})^{-1}, b_4 = 1/m_t \text{ and } b_5 = -(m_t l_{th})^{-1}.$$

CONTROLLER DESIGN

The control problem in this study can be stated as follows: given a desired setpoint x_r , compute a controller input F_{act} to move the trolley to x_r while minimizing the swing angles θ_h and θ_p as much as possible. To achieve these control goals, PID and LQR controllers are designed and tested in a simulation environment.

PID Controller

In classical control methods, the main aim is to determine the control input so that the control requirements on the transient response characteristics can be satisfied. In general, these requirements are determined in terms of some constraints on rise time, settling time, maximum overshoot, and steady-state error. PID controller is a well-known classical control methods and still widely used in industrial

control applications due to its simple structure and easy implementation.

To compute the required control input in PID based approach, the general form of the control law can be given as

$$u = K_p e + K_i \int_0^t e dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (7)$$

where e is the error signal between the reference signal and the output signal of the controlled plant. For the position control of DPOC system, a PID based control architecture is built as shown in Figure 2 where three different controllers are implemented. PID controller in the feedforward path is utilized to move the trolley to the desired setpoint, and thereby attempt to minimize the error between the desired position x_r and the current position x of the trolley. Other controllers in the feedback loops are implemented to eliminate the swing angles θ_h and θ_p . Therefore, the required control input u in (6) is the summation of the control inputs produced by these three controllers.

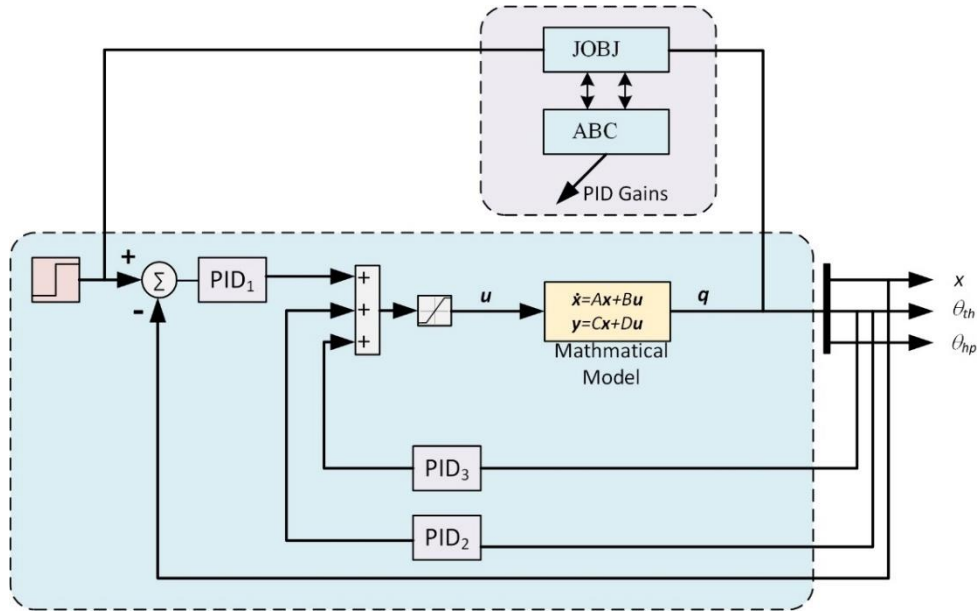


Figure 2
PID based control architecture

LQR Controller

Unlike classical control methods, optimal control methods in modern control theory are developed to achieve relatively more challenging control performance, as defined by different performance measures. For example, a system may need to move from an initial point to a final point in the minimum time possible while minimizing control effort. Optimal control methods possess the capability to address such control problems.

LQR controller is a type of optimal control methods developed for the plant whose dynamics can be expressed as a linear time-invariant mathematical model. In LQR method, the main goal is to minimize the cost function given by

$$J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} (\tilde{x}^T Q \tilde{x} + u^T R u) dt$$

subject to $\dot{\tilde{x}} = A\tilde{x} + Bu$ by using a control law in the form of

$$u = -K\tilde{x} \quad (8)$$

where $K = R^{-1}B^T P$ and P is a positive definite matrix that can be determined by solving the algebraic Riccati Equation (ARE)

$$PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q = 0$$

In addition, to ensure an asymptotic tracking of a reference signal with zero steady state error, an integral state relating to the trolley position can be introduced. Then, the state vector $\tilde{x}$ becomes $\tilde{e} = [x_e \quad \tilde{x}_e]$ where

$$x_e = [x_d - x \quad \theta_h \quad \theta_p \quad \dot{x} \quad \dot{\theta}_h \quad \dot{\theta}_p]$$

and

$$\tilde{x}_e = \int [x_d - x] dt$$

Then, the model of the error dynamics can be derived as follows:

$$\dot{\tilde{e}} = \tilde{A}\tilde{e} + \tilde{B}u$$

where

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ -C & 0 \end{bmatrix} \text{ and } \tilde{B} = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix}$$

and the control law (7) can be now computed as

$$u = -\tilde{K}\tilde{e} \quad (9)$$

with $\tilde{K} = R^{-1}\tilde{B}^T \tilde{P}$ where $\tilde{P}$ is the solution of ARE given by

$$\tilde{P}\tilde{A} + \tilde{A}^T \tilde{P} - \tilde{P}\tilde{B}R^{-1}\tilde{B}^T \tilde{P} + Q = 0$$

to control the DPOC system, the designed control architecture including LQR controller is schematically represented in Figure 3.

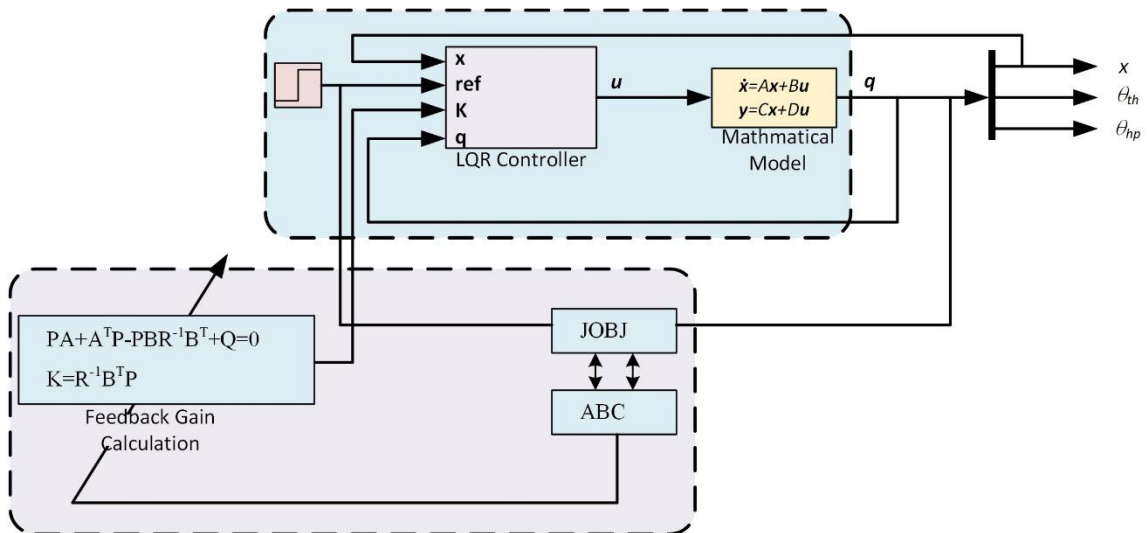


Figure 3

LQR based control architecture

CONTROLLER TUNING METHOD

To fine-tune the control parameters of PID and LQR controllers given in (6) and (8), ABC

optimization method is applied.

ABC Algorithm

The Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm, first proposed by Karaboga [25], is used effectively in many engineering fields [26-28]. As in other heuristic algorithms, ABC Algorithm aims to minimize or maximize a specified function. Within the scope of the study, the traditional fitness function, ITAE (Integral Time Absolute Error), presented in Equation 10 was used to minimize errors in the DPOC system.

$$ITAE = \int t|\varepsilon|dt \quad (10)$$

Here, t refers to time and ε refers to error. While all errors are minimized in the system, the trolley must move with minimum errors. For this reason, a new objective function presented in Equation 11 was derived by combining the function written for the movement of the car with the ITAE fitness function.

$$JOB = ITAE_x + ITAE_{\theta_h} + ITAE_{\theta_p} + (1 - e^{\beta})Overshoot_{\theta_p} + e^{-\beta}(ts_{\theta_p} - tr_{\theta_p}) \quad (11)$$

Here, ts and tr represent the settling and rising time of the trolley, respectively. β is the weight coefficient. By reviewing the literature, $\beta = 0.7$ was taken in the study [29]. Table 1 presents the setting parameters, lower and upper bounds, and final values of the LQR and PID controller gains.

Table 1
Optimized parameter values

			Before Optimization		After Optimization
			Lower Bound	Upper Bound	Final Values
LQR		q1	0	300	217.17
		q2	0	300	57.18
		q3	0	300	300
		q4	0	300	0.0765
		q5	0	300	299.796
		q6	0	300	10.15
		q7	0	300	299.69
		r	0	300	0.001
PID Controller	PID 1	kp1	0	300	299.56
		ki1	0	100	2.28
		kd1	0	30	0.99
	PID2	kp2	0	300	13.07
		ki2	0	100	0.001
		kd2	0	30	2.27
	PID 3	kp3	0	300	299.95
		ki3	0	100	44.49
		kd3	0	30	21.23

RESULTS

A set of simulations is performed to compare the performance of PID and LQR controllers. The control objective is to move the trolley to the desired position, i.e. $x_r = 0.1$ m. The simulations start from the same initial conditions, i.e. $q_0 = [x(0) \ \theta_h(0) \ \theta_p(0)]^T = [0 \ 0 \ 0]^T$. In the simulations, the parameters of the DPOC system are selected from the literature and given in Table 2 [20].

Table 2
Parameter values of DPOC system

PARAMETERS	VALUE
Trolley mass, m_t	12 kg
Hook mass, m_h	1.5 kg
Payload mass, m_p	1 kg
Trolley-hook cable, l_{th}	1.2 m
Hook-payload cable, l_{hp}	0.5 m
Static friction-related coefficient 1, f_{r0}	8
Static friction-related coefficient 2, ζ	0.01
Viscous friction-related coefficient, k_r	-1.2

Figure 4 presents the trolley position controlled by PID and LQR approaches. Both controllers can move the trolley to the desired position successfully according to the control criteria. However, there is a significant difference between the performance of LQR and PID controllers in terms of the transient response characteristics, especially settling time. As shown in Figure 4, the trolley reaches the desired position in a smaller settling time by means of LQR controller than PID controller. In addition, both controllers provide a steady state error within acceptable range. Figure 5 and Figure 6 show the swing angles of the hook and payload. Both payload angle and hook angle showed less oscillation when the LQR controller was preferred.

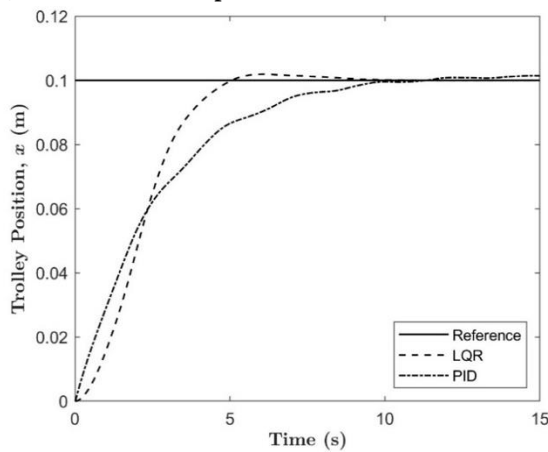


Figure 4
Trolley position of DPOC system for PID and LQR Controllers

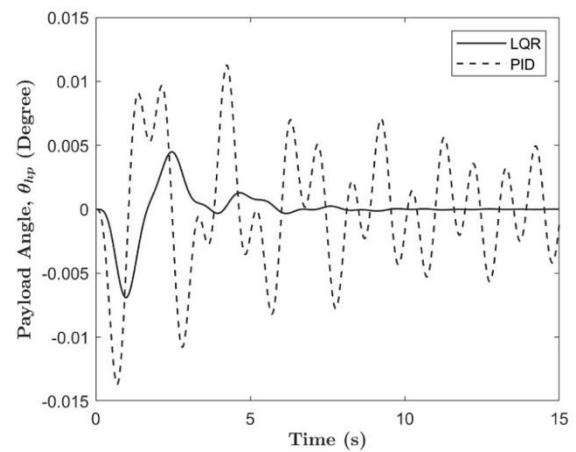


Figure 5
Payload angle of DPOC System for PID and controllers

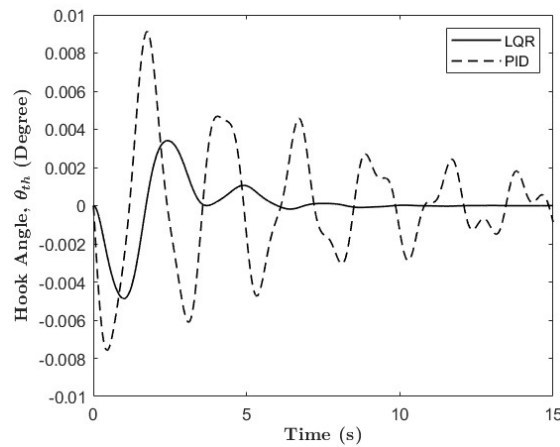


Figure 6
Hook angle of DPOC system for PID and controllers

CONCLUSION

This study has presented an approach for the position and antiswing control of the DPOC system. The control task is based on moving the trolley to a desired position and minimizing the swing angles of the hook and payload as much as possible. To achieve this control task, PID and LQR control methods are applied to the DPOC system. The control parameters are fine-tuned by using ABC algorithm which utilizes the linear mathematical model of the DPOC system. In the optimization process, a new objection function is derived to minimize ITAE performance measure and improve the performance criteria in time domain. The effectiveness of these tuned controllers is tested in simulation environment. To make a comparative analysis, the control performance characteristics are considered. The settling time and rise time for the position of the trolley are 5.26 s and 8.88 s, respectively for PID controller. On the other hand, the settling time and rise time for the position of the trolley are 2.98 s and 6.11 s, respectively for LQR controller. The simulation results show that LQR based control approach provides better results than PID based control approach in terms of settling time and rise time. Both control methods do not produce any overshoot.

Ethics Committee Approval

Our study, whose information is given above, does not require any ethics committee approval. The authors acknowledge and declare that no breach of ethical rules has been made during the preparation and publication of the study.

Conflicts of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare.

Author Contributions

Research Design (CRediT 1) E.H.Ç. (%40) - H.H.B. (%30) - T.Ü. (%30)

Data Collection (CRediT 2) E.H.Ç. (%40) - H.H.B. (%30) - T.Ü. (%30)

Research- Data Analysis - Validation (CRediT 3-4-6-11) E.H.Ç. (%40) - H.H.B. (%30) - T.Ü. (%30)

Writing the Article (CRediT 12-13) E.H.Ç. (%40) - H.H.B. (%30) - T.Ü. (%30)

Revision and Improvement of the Text (CRediT 14) E.H.Ç. (%40) - H.H.B. (%30) - T.Ü. (%30)

Financing

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

REFERENCES

- [1] R. Mar, A. Goyal, V. Nguyen, T. Yang, W. Singhose, Combined input shaping and feedback control for double pendulum systems, *Mechanical Systems and Signal Processing*. 85 (2017), 267–277. doi: 10.1016/j.ymssp.2016.08.012
- [2] X. Xie, J. Huang, Z. Liang, Vibration reduction for flexible systems by command smoothing, *Mechanical Systems and Signal Processing*. 39(1-2) (2013), 461-470. doi: 10.1016/j.ymssp.2013.02.021
- [3] D. Fujioka, W. Singhose, Input-Shaped Model Reference Control of a Nonlinear Time-Varying Double-Pendulum Crane, içinde: *10th Asian Control Conference (ASCC)*, Kota Kinabalu, Malaysia, 2015, 1–6. doi: 10.1109/ASCC.2015.7244565
- [4] S. Garrido, M. Abderrahim, A. Gimenez, R. Diez, C. Balaguer, Anti-Swinging input shaping control of an automatic construction crane, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 5 (3) (2008), 549–557. doi:10.1109/TASE.2007.909631
- [5] H.I. Jaafar, Z. Mohamed, M.A. Shamsudin, N.A. Mohd Subha, L. Ramli, A.M. Abdullahi, Model reference command shaping for vibration control of multimode flexible systems with application to a double-pendulum overhead crane, *Mechanical Systems and Signal Processing*. 115 (2019), 677–695. doi: 10.1016/j.ymssp.2018.06.005
- [6] H.I. Jaafar, N.M. Ali, Z. Mohamed, N.A. Selamat, A.F.Z. Abidin, J.J. Jamian, A.M. Kassim, Optimal Performance of a Nonlinear Gantry Crane System Via Priority-Based Fitness Scheme in Binary PSO Algorithm, içinde: Volume 53: *5th International Conference on Mechatronics (ICOM'13)*, 2013, Kuala Lumpur, Malaysia, 012011. doi:10.1088/1757-899X/53/1/012011.
- [7] M.J. Maghsoudi, Z. Mohamed, A.R. Husain, M.O. Tokhi, An optimal performance control scheme for a 3D crane, *Mechanical Systems and Signal Processing*. 66-67 (2016), 756–768. doi: 10.1016/j.ymssp.2015.05.020
- [8] M.I. Solihin, Wahyudi, M.A.S. Kamal, A. Legowo, Objective Function Selection Of GA-Based PID Control Optimization for Automatic Gantry Crane, içinde: *2008 International Conference on Computer and Communication Engineering*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2008, 883–887. doi: 10.1109/ICCCE.2008.4580732
- [9] A. Alhassan, K.A. Danapalasingam, M. Shehu, A.M. Abdullahi, A. Shehu, Closed-loop schemes for position and sway control of a gantry crane system, *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*. 17 (2016), 1-8. doi: 10.5013/IJSSST.a.17.32.28
- [10] A.O. Faouri, P. Kasap, Maximum likelihood estimation for the Nakagami distribution using particle swarm optimization algorithm with applications, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5(2) (2023), 169-178. doi: 10.47112/neufmbd.2023.19
- [11] A. Ünlü, İ. İlhan, A novel hybrid gray wolf optimization algorithm with harmony search to solve multi-level image thresholding problem, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5(2) (2023), 190-204. doi: 10.47112/neufmbd.2023.21
- [12] S. Bandong, M. R. Miransyahputra, Y. Setiaji, Y. Y. Nazaruddin, P. I. Siregar and E. Joelianto, Optimization of Gantry Crane PID Controller Based on PSO, SFS, and FPA, içinde: *2021 60th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*, Tokyo, Japan, 2021, 338-343.
- [13] H.I. Jaafar, Z. Mohamed, PSO-Tuned PID Controller for A Nonlinear Double-Pendulum Crane System, içinde: Volume 752: M. Mohamed Ali, H. Wahid, N. Mohd Subha, S. Sahlan, M. Md. Yunus, A. Wahap, (Ed.) *AsiaSim 2017 Modeling, Design and Simulation of Systems*, Springer, Singapore, 2017: s. 203–215. doi: 10.1007/978-981-10-6502-6_18
- [14] M. I. Solihin, Wahyudi, M. A. S. Kamal and A. Legowo, Objective Function Selection of GA-Based PID Control Optimization for Automatic Gantry Crane, içinde: *2008 International Conference on Computer and Communication Engineering*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2008, 883-

887. doi: 10.1109/ICCCE.2008.4580732
- [15] Ü. Önen, A. Çakan, Anti-Swing control of an overhead crane by using genetic algorithm based LQR, *International Journal of Engineering and Computer Science*. 6(6) (2017), 21612-21616. doi: 10.18535/ijecs/v6i6.12
- [16] K.T. Mohamed, M.H. Abdel-razak, E.H. Haraz, A.A. Ata, Fine tuning of a PID controller with inlet derivative filter using pareto solution for gantry crane systems, *Alexandria Engineering Journal*. 61(9) (2022), 6659-6673. doi: 10.1016/j.aej.2021.12.017
- [17] H. W. Comma, Adaptive PID Control Design Based on Generalized Predictive Control (GPC), içinde: Volume 2: Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Control Applications, Taipei, Taiwan, 2004: s. 1685-1690. doi: 10.1109/CCA.2004.1387619
- [18] B. Yang, Z.X. Liu, H.K. Liu, Y. Li, S. Lin, A GPC-based multi-variable PID control algorithm and its application in anti-swing control and accurate positioning control for bridge cranes, *International Journal of Control, Automation and Systems*. 18 (2020), 2522–2533. doi: 10.1007/s12555-019-0400-2
- [19] M.I. Solihin, Wahyudi, A. Legowo, Fuzzy-Tuned PID anti-swing control of automatic gantry crane, *Journal of Vibration and Control*. 16(1) (2010), 127–145. doi:10.1177/1077546309103421
- [20] H. Shi, G. Li, X. Ma, J. Sun, Research on nonlinear coupling anti-swing control method of double pendulum gantry crane based on improved energy, *Symmetry*. 11(12) (2019), 1511. doi:10.3390/sym11121511
- [21] R. Ramirez-Juarez, M. Ramirez-Neria, A. Luviano-Juárez, Tracking Trajectory Control of a Double Pendulum Gantry Crane Using ADRC Approach, içinde: H.A. Moreno, I.G. Carrera, R.A. Ramirez-Mendoza, J. Baca, I.A. Banfield (Eds.), *Advances in Automation and Robotics Research. LACAR 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, Cham, 2022: s. 92–100. doi:10.1007/978-3-030-90033-5_11
- [22] D. Gutiérrez-Oribio, Á. Mercado-Urbe, J.A. Moreno, L. Fridman, Joint swing-up and stabilization of the reaction wheel pendulum using discontinuous integral algorithm, *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*. 41 (2021), 101042. doi:10.1016/j.nahs.2021.101042
- [23] Y. Zhao, X. Wu, F. Li, Y. Zhang, Positioning and swing elimination control of the overhead crane system with double-pendulum dynamics, *Journal of Vibration Engineering & Technologies*. 12 (2024), 971–978. doi:10.1007/s42417-023-00887-8
- [24] M. Zhang, X. Ma, X. Rong, X. Tian, Y. Li, Adaptive tracking control for double-pendulum overhead cranes subject to tracking error limitation, parametric uncertainties and external disturbances, *Mechanical Systems and Signal Processing*. 76–77 (2016), 15–32. doi:10.1016/J.YMSSP.2016.02.013
- [25] D. Karaboga, An Idea Based On Honey Bee Swarm For Numerical Optimization, Technical Report-tr06, Computer Engineering Department, Engineering Faculty Erciyes University, 2005.
- [26] H.H. Bilgic, M.A. Sen, M. Kalyoncu, Tuning of LQR controller for an experimental inverted pendulum system based on the bees algorithm, *Journal of Vibroengineering*. 18(6) (2016), 3684-3694. doi: 10.21595/jve.2016.16787
- [27] K. Vanchinathan, N. Selvaganesan, Adaptive fractional order PID controller tuning for brushless dc motor using artificial bee colony algorithm. *Results in Control and Optimization*. 4 (2021), 100032. doi: 10.1016/j.rico.2021.100032
- [28] D. L. Zhang, Y.-G. Tang, X.-P. Guan, Optimum design of fractional order PID controller for an AVR system using an improved artificial bee colony algorithm, *Acta Automatica Sinica*. 40(5) (2014), 973-979. doi: 10.1016/S1874-1029(14)60010-0
- [29] Z.-L. Gaing, A particle swarm optimization approach for optimum design of PID controller in AVR system, *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 19 (2) (2004), 384-391. doi: 10.1109/TEC.2003.821821.

Bir Hava Robotu İçin Geliştirilen Genetik Ayarlı LQR Kontrolörün Performansının Değerlendirilmesi

Ali Tahir KARAŞAHİN^{1,2*} 

¹ Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Karabük, Türkiye

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 26.12.2023

Kabul Tarihi: 11.06.2024

Yayın Tarihi: 31.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Hava Robotu,
LQR Kontrolör,
Genetik Algoritma,
Bulanık PID,
Yörünge Takibi.

ÖZET

Hava robotları erişebilir, basit ve üstün kabiliyetlerinden dolayı birçok uygulama alanında geniş yer bulmaktadır. Geniş bir yelpazede kullanılan hava robotlarından farklı beklentiler istenmektedir. Uygulama alanlarına özel oluşan bu beklentilere cevap verebilmek için hava robotlarında kullanılan geleneksel kontrolör tasarımlarında birtakım değişikliklere gidilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada bir hava robotunun yörünge takibi için genetik ayarlı ve integral etkisine göre çalışan doğrusal karesel regülatör (LQR) kontrolörü geliştirilmiştir. Bu kontrolörün performansını karşılaştırmak için LQR ve bulanık oransal-integral-türevsel (FPID) kullanılmıştır. Geliştirilen ve kullanılan kontrolörler model-tabanlı ve hibrit kontrolörler olarak ifade edilmektedir. Hava robotu olarak Parrot AR. Drone 2.0. kullanılmıştır. Belirtilen hava robotu MATLAB/Simulink ortamında 6 serbestlik derecesi (DOF) ile modellenmiştir. Geliştirilen kontrolörlerin performansları sekiz eğrisinin referans olarak takip edilmesi esnasında oluşan hata değerine göre değerlendirilmiştir. Hata değerleri ortalama kare hata karekökü (RMSE) kriterine göre incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre standart LQR kontrolör en yüksek RMSE hata değerini üretmiştir. Genetik ayarlı ve integral etkisine göre tasarlanan LQR kontrolör, standart LQR kontrolöre göre %43,22 FPID kontrolörüne göre %22,99 oranında daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına göre sekiz eğrisi yörünge takibinde genetik ayarlı LQR kontrolörü daha başarılı sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir.

Performance Evaluation of a Genetically Tuned LQR Controller for an Aerial Robot

Article Info

Received: 26.12.2023

Accepted: 11.06.2024

Published: 31.12.2024

Keywords:

Aerial Robot,
LQR Controller,
Genetic Algorithm,
Fuzzy PID,
Trajectory Tracking.

ABSTRACT

Aerial robots are widely used in many application areas due to their accessibility, simplicity and superior capabilities. Different expectations are required from aerial robots used in a wide range of applications. In order to meet these application-specific expectations, it is necessary to make some changes in the traditional controller designs used in aerial robots. In this study, a linear quadratic regulator (LQR) controller with genetic tuning and integral effect is developed for trajectory tracking of an aerial robot. LQR and fuzzy proportional-integral-derivative (FPID) are used to compare the performance of this controller. The developed and used controllers are referred to as model-based and hybrid controllers. Parrot AR. Drone 2.0. is used as an aerial robot. The aerial robot is modeled in MATLAB/Simulink environment with 6 degrees of freedom (DOF). The performances of the developed controllers are evaluated according to the error value during the tracking of the eight curve as a reference. The error values are analyzed according to the root mean square error (RMSE) criterion. According to the results obtained, the standard LQR controller produced the highest RMSE error value. The LQR controller designed according to genetic tuning and integral effect obtained 43.22% better results than the standard LQR controller and 22.99% better results than the FPID controller. According to the simulation results in MATLAB/Simulink environment, it is observed that the genetically tuned LQR controller achieves better results in eight curve trajectory tracking.

To cite this article:

Karashin, A.T. (2024). Bir hava robotu için geliştirilen genetik ayarlı LQR kontrolörün performansının değerlendirilmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 468-482. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.59>

*Sorumlu Yazar: Ali Tahir Karashin, alitahir.karashin@erbakan.edu.tr
(Yazarın mevcut kurumu Necmettin Erbakan Üniversitesi'dir.)



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsansız hava araçları arama-kurtarmadan kargo taşımacılığına, tarımsal uygulamalardan askeri ve sivil operasyonlara kadar geniş bir yelpazede kullanılan bir robotik sistem olarak karşımıza çıkmaktadır [1-5]. Hava robotları hem basit, ekonomik, sürdürülebilir olması hem de uygulamaya göre uyarlanabilir esneklikte olmasından dolayı birçok alanda her geçen gün kullanım oranlarını artırmaktadır. Çok pervaneli hava robotları bu zorlu görevlerini yerine getirirken genellikle dört pervaneli olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu dört pervanenin farklı kullanım konfigürasyonlarına göre öteleme ve dönme hareketlerini elde etmektedir. Belirtilen özelliklerden dolayı yetersiz tahrikli olması ve doğrusal olmayan özellikleri barındırmasından dolayı hava robotlarında kontrolör geliştirilmesi zorlu bir problem olarak gösterilmektedir.

Hava robotları için geliştirilen kontrolörler model-tabanlı ve modelden-bağımsız olacak şekilde tasarlanmaktadır. Tasarlanan model-tabanlı kontrolörler ise doğrusal ve doğrusal olmayan olarak sınıflandırılmaktadır. Hava robotları gibi doğrusal olmayan karakteristiğe sahip sistemler için kayan kipli kontrol [6] ve geri adım lamalı kontrol [7] tekniklerine göre kontrolörler tasarlanmıştır. Fakat, hava robotları için doğrusal olmayan kontrolör geliştirmenin birtakım zorlukları bulunmaktadır. Geniş bir uygulama alanı ve operasyon çeşitliliğine sahip olan hava robotlarının çalışma ortamlarından oluşan etkilerinin modellenmesi her zaman mümkün olamamaktadır. Bu tarz uygulama esnasında oluşan ortam değişkenlerine uyum sağlaması için hava robotlarında adaptif kontrol teknikleri kullanılmaktadır [8-10]. Fakat adaptif kontrol teknikleri de yüksek oranda sistem modeline bağlı olmaları bu kontrolörlerin dezavantajı olarak ifade edilmektedir.

Pekiştirmeli öğrenme teknikleri de kontrol problemlerinde sıklıkla kullanılmaya başlayan bir diğer yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Pekiştirmeli öğrenme (RL), tanımlanan ajan üzerinden sadece tecrübeleri yoluyla öğrenme gerçekleştirebilir veya eylemlerinin sonuçları hakkında tahminlerde bulunarak öğrenebileceği bir yaklaşım sergilenmektedir. Hava robotları için tasarlanan RL mekanizmaları sistem modelini öğrenebilecek şekilde de kurgulanabilirken verilen görevi gerçekleştirecek politikayı modelden bağımsız şekilde öğrenebilecek potansiyele de sahiptir. Hava robotundaki itme kuvveti üreten motorlardan birisi veya birkaçının bozulması durumunda görevine devam edebilecek bir mekanizma RL tabanlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir [11]. Otonom hava robotu yarışma senaryosun için geliştirilen pekiştirmeli öğrenme tabanlı kontrol mekanizması optimal kontrolöre göre kendisine verilen bir hedefi daha iyi optimize ederek daha başarılı sonuçlar üretmiştir [12]. Fakat pekiştirmeli öğrenme stratejisi sonucunda öğrenilen politika, her zaman kararlı sonuçlar üreteceğini garanti edememektedir.

İnsanın muhakeme yeteneğini kontrolör geliştirme sürecine dahil eden bulanık mantık kontrolörü (FLC), hava robotlarında tercih edilen bir başka yaklaşım olarak kullanılmaktadır. Aralık değerli tip-2 FLC, hava robotlarının çalışma ortamlarındaki bozucu etki veya sistem dinamiğindeki değişimlere karşı direnç gösterecek şekilde başarılı sonuçlar üretmiştir [13-15]. Hava robotları için geliştirilen FLC tabanlı kontrolörler genellikle pozisyon kontrolörü olacak şekilde geliştirilmektedir. Benzer şekilde birçok araştırmada geliştirilen kontrolör yer kontrol istasyonunda çalışmakta ve hesaplanan kontrolör çıktısı hava robotu kablosuz haberleşme ile aktarılmaktadır. Bu şekilde sistemin tasarlanması hava robotu başka bir donanıma ve iç ortamda çalışacak şekilde bağımlı hale getirmektedir. Bunun yerine geliştirilen kontrolörün hava robotunda bulunan donanım üzerinde çalışacak şekilde tasarlanması birçok açıdan avantajlı olması sağlamaktadır.

Hava robotu üzerindeki uçuş kontrol kartında çalışacak şekilde geliştirilen kontrol mekanizmasının kullanılması durumunda oransal-integral-türevsel (PID) ve LQR kontrolörü sıklıkla tercih edilmektedir. Bu kontrolörler hem işlem yüklerinin az olması hem de basit yapıda olmasından dolayı uçuş kontrol yazılımlarında kullanılmaktadır. Hava robotlarında en yaygın kullanılan uçuş

kontrol yazılımı (PX4, ArduPilot vd.) içerisinde PID kontrolörü tercih edilmektedir. Hava robotunun pozisyon kontrolünde kullanılan PID kontrolörünün katsayılarını ayarlamak için çeşitli optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır [16-24]. Fakat hava robotu için geliştirilen birçok kontrolör sadece pozisyon kontrolünü gerçekleştirecek şekilde tasarlanmaktadır. Hem pozisyon kontrolörü hem de duruş kontrolörünün donanım üzerinden gerçekleştirilmesi veya katsayılarının bütün olarak ele alınmasının performans iyileştirilmesine sebep olacağı düşünülmektedir.

Hava robotlarında kullanılan PX4 [25] ve ArduPilot [26] uçuş kontrol yazılımlarında iç-dış döngüsüne göre çalışan kaskad PID kontrolörü bulunmaktadır. Satın alınan uçuş kontrol kartları sabit olarak belirlenen katsayılarla beraber gelmektedir. Bu sistemlerde kullanılan kontrolör parametrelerinin belirlenmesi ciddi uzmanlık gerektiren bir husus olarak belirtilmektedir. Aynı zamanda her hava robotu da farklı operasyon koşullarında çalışacağından bu katsayıların ayarlanması hem ciddi uzmanlık gerektirmekte hem de zaman almaktadır.

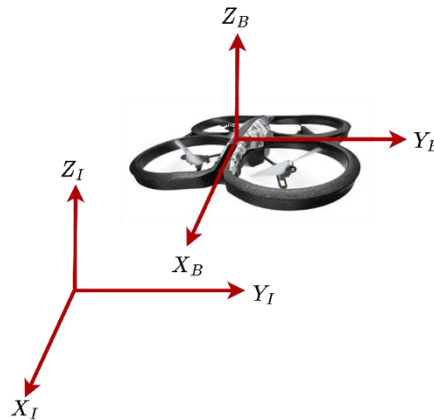
Bu çalışmada, hava robotunun yörünge takibini gerçekleştirebilmesi için genetik ayarlı ve integral etkisine göre çalışan LQR kontrolör geliştirilmiştir. Önerilen kontrolör, standart LQR ve FPID kontrolörler ile performansları karşılaştırılmıştır. MATLAB/Simulink ortamında 6 DOF ile modellenen hava robotu için geliştirilen kontrolör iç-dış döngü yapısına uygun olacak şekilde tasarlanmıştır.

Bu makalenin katkısı olarak, üç farklı kontrol prensibini benimseyen yaklaşımlar arasında performans takibi RMSE kriterine göre gerçekleştirilmiş ve yörünge takibindeki başarımları ortaya konmuştur. Performans kriterine göre bir uygulamada hava robotunu kullanacaklar için hangi kontrolörün nasıl bir davranış sergileyeceğine dair bir çıktıda bulunulmuştur. Ek olarak geliştirilen kontrolör ve sistem modeli github üzerinden paylaşılmış ve gelecekteki çalışmalar için bir zemin oluşturulmuştur.

Makale belirtildiği şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2’de hava robotu üzerine etki eden hareket denklemleri Newton-Euler yaklaşımına göre elde edilmiş, belirli kabuller altında doğrusallaştırılmış ve durum-uzay formunda sunulmuş, iç-dış döngü yapısına göre çalışacak genetik ayarlı LQR tasarımından bahsedilmiştir. Bölüm 3’te hava robotu olarak X konfigürasyonunu kullanan Parrot Arrot AR. Drone 2.0. tasarım parametrelerine göre modellenmiş ve MATLAB/Simulink ortamında belirlenen referans yörüngenin takip edilmesine yönelik deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bölüm 4’te elde edilen deneysel sonuçlar değerlendirilmiş ve gelecekteki çalışmalardan bahsedilmiştir.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Bu bölümde, Newton-Euler formüllerine göre hava robotu üzerinde oluşan dinamik hareket denklemleri elde edilecektir. Şekil 1’de hava robotunda kullanılan referans eksen takımları olarak gösterilmiştir.



Şekil 1

Hava robotu için referans eksen takımlarının tanımlanması [27]

Hava robotu gövde-sabit $\{B\}$ ve eylemsizlik referans çerçevesi $\{I\}$ şeklinde tanımlanmıştır. Eylemsizlik referans çerçevesine göre, hava robotunun ağırlık merkezinin pozisyon vektörü $p = [x \ y \ z]^T$ şeklindedir. Gövde-sabit çerçevesindeki Euler açı vektörü $n = [\varphi \ \theta \ \psi]^T$ sırasıyla yuvarlanma, yunuslama ve sapma açısı olarak gösterilmektedir. Açısal hız bileşeni ise $\omega = [p \ q \ r]^T$ şeklinde tanımlanmaktadır. Belirtilen tanımlamalara göre hava robotunun hareket denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$m\ddot{p} = -mg\vec{a}_3 + {}^I R_B F \quad (1)$$

$$I\dot{\omega} = -\omega \cdot I\omega + \tau \quad (2)$$

Eşitlik 1’de kullanılan m ifadesi hava robotunun kütesini, g ifadesi kütleçekim ivmesini, F ifadesi motorlar tarafında üretilen itme kuvvetini, gövde-sabit çerçevede birim vektör $\{\vec{b}_1, \vec{b}_2, \vec{b}_3\}$, eylemsizlik referans çerçevesinde $\{\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3\}$, ${}^I R_B$ gövde-sabit çerçevesinden eylemsizlik referans çerçevesine dönüşümde kullanılan matrisini ifade etmektedir. Eşitlik 2’de nokta ile temsil edilen işlem çapraz vektör çarpımlarını, I gövde-sabit çerçevedeki 3x3 atalet matrisini ve τ hava robotunda üretilen momentleri göstermektedir. Eksen takımları arasında dönüşümleri gerçekleştiren kullanılan dönüşüm matrisi:

$${}^I R_B = \begin{bmatrix} c\theta c\psi & s\varphi s\theta c\psi - c\varphi s\psi & c\varphi s\theta c\psi + s\varphi s\psi \\ c\theta s\psi & s\varphi s\theta s\psi - c\varphi c\psi & c\varphi s\theta s\psi - s\varphi c\psi \\ -s\theta & s\varphi c\theta & c\varphi c\theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

Eşitlik 3’te matris içerisinde kullanılan s ve c ifadeleri sinüsü ve kosinüsü ifade etmektedir. Açısal değişim oranları olan $\dot{n} = [\dot{\varphi} \ \dot{\theta} \ \dot{\psi}]^T$ ifadesinden hava robotu gövdesinde meydana gelen dönme oranları aşağıdaki gibi elde edilmektedir:

$$\begin{bmatrix} \dot{\varphi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & s\varphi t\theta & c\varphi t\theta \\ 0 & c\varphi & -s\varphi \\ 0 & s\varphi s\theta & c\varphi s\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (4)$$

Eşitlik 4’te belirtilen matris içerisinde kullanılan s , c , se ve t ifadesi sırasıyla sinüs, kosinüs, sekant ve tanjantı ifade etmektedir. Hava robotuna verilen referansa ulaştıktan sonra kararlı durumdayken motorlardan elde edilen sapma momenti ve itme kuvveti arasındaki ilişki [28]:

$$T_i = c_{T_i} \Omega_i^2 \quad (5)$$

$$\tau_i = c_{\tau_i} \Omega_i^2 \quad (6)$$

Eşitlik 5’te belirtilen T_i herhangi bir motordan üretilen itme kuvvetini, c_{T_i} ifadesi açısal hız ve itme kuvveti arasındaki dönüşümü gerçekleştiren katsayı olarak kullanılmaktadır. Ω ifadesi ise motorların açısal hızlarını belirtmektedir. τ_i herhangi bir motordan üretilen sapma momentini, c_{τ_i} ifadesi açısal hız ile sapma momenti arasındaki dönüşümü gerçekleştiren katsayı olarak tanımlanmaktadır. Ek olarak bu katsayılar, pervane tipi, kanat sayısı ve hava yoğunluğuna bağlı olarak değişebileceği göz önüne alınmalıdır. Z-ekseninde oluşan sapma momenti ve itki kuvveti arasındaki ilişki incelenmesi durumunda:

$$\tau_{\psi_i} = \frac{c_{\tau_i}}{c_{T_i}} T_i = c_i T_i \quad (7)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Hava robotundaki motorlardan elde edilen itki kuvveti (T) ve x , y ve z

eksenlerinde oluşan momentler için Eşitlik 8’de gösterilmiştir. Eşitlik 8’de gösterilen ilk satır bütün motorlardan elde edilen itki kuvvetini, diğer satırlar ise x, y ve z eksenlerinde meydana gelen momentleri ifade etmektedir. Eşitlik 8’de kullanılan l ifadesi motorun hava robotunun ağırlık merkezine olan mesafesini göstermektedir.

$$\begin{bmatrix} T \\ \tau_\varphi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ l & -l & -l & l \\ -l & -l & l & l \\ c_1 & c_2 & c_3 & c_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Hava Robotu Modelinin Doğrusallaştırılması

Eşitlik (1) ve (8) arasındaki belirtilen denklem takımları incelendiğinde doğrusal olmayan karakteristiğe sahip oldukları görülmektedir. Bu çalışmada doğrusal kontrol teknikleri kullanılacağından dolayı bu denklem takımlarının belirli yaklaşımlar altında doğrusallaştırılması gerekmektedir. Doğrusallaştırma için denge noktası hava robotunun hava durma pozisyonu ($p = [x \ y \ z]^T, n = [0 \ 0 \ 0]^T$) olarak belirlenmiştir. Bu durum basitlik açısından tercih edilmiştir. Doğrusallaştırma için küçük açı yaklaşımlarına göre kosinüs değerlerinin 1, sinüs ve tanjant değerlerini de kendileri alınacak şekilde kullanılmıştır.

Bu çalışmada geliştirilecek kontrolörler iç-dış döngü yapısına göre geliştirileceği için LQR kontrolörü de bu duruma göre tasarlanmıştır. Bundan dolayı her serbestlik derecesini dikkate alacak ayrı kontrolör geliştirilmiştir. Bu kontrolörler x, y ve z eksenlerindeki pozisyon, φ, θ ve ψ eksenlerindeki açı referanslarını takip edecek şekilde tasarlanmıştır. Bu durumdan dolayı her kontrolör durum-uzay yaklaşımına göre tasarlanmıştır. Z eksenindeki yükseklik kontrolörü geliştirilirken dikkate alınan hareket denklemi:

$$\ddot{z} \cong \frac{1}{m}(T - mg) \quad (9)$$

şeklinde Z eksenin için elde edilen hareket denklemlerine bağlı kalarak durum-uzay formunda ifade edilebilmesi için durum değişkenleri ve sistem girdisinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu değişkenler aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$x_z = [z \ \dot{z}]^T, u_z = T - mg \quad (10)$$

Durum-değişkeni ve girdinin belirlenmesinin ardından z eksenindeki yükseklik kontrolörü tasarımında kullanılacak sistem dinamiği aşağıdaki gibi düzenlenmektedir:

$$\dot{x}_z = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} x_z + \begin{bmatrix} 0 \\ 1/m \end{bmatrix} u_z \quad (11)$$

$$y_z = [1 \ 0] x_z \quad (12)$$

Hava robotunun pozisyonu ifade etmede kullanılacak x ve y eksenleri, φ, θ ve ψ şeklinde olan açılarını ifade eden sistem dinamikleri paylaşılacaktır. Belirtilen sistem dinamikleri Eşitlik (10)-(12) arasındaki benzer yaklaşımlar kullanılarak durum-uzay formunda ifade edilebilmektedir. Bu eksenlerin durum-uzay formundaki ifadeleri literatürdeki bir çalışmada gösterilmiştir [29].

Gövde-sabit referans çerçevesinde meydana gelen ivme hareket denklemi aşağıdaki gibidir:

$${}^B a = \frac{F}{m} - {}^B R_I g \vec{a}_3 - \omega \cdot {}^B v \quad (13)$$

Eşitlik 13'te belirtilen ${}^B v = [u \ v \ w]^T$ ifadesi gövde-basit referans çerçevesindeki hız değerini, $\omega \cdot {}^B v$ ifadesi de merkezci ivmeyi göstermektedir. Aynı referans çerçevesindeki x ve y yönlerindeki sapma açısı ψ sıfır olarak kabul edilmesi durumunda:

$${}^B a_x \cong \theta g \quad (14)$$

$${}^B a_y \cong -\varphi g \quad (15)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Eşitlik 13'te belirtilen ${}^B v$ ifadesi ise aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir.

$$\dot{u} \cong \theta g \quad (16)$$

$$\dot{v} \cong -\varphi g \quad (17)$$

Hava robotunda meydana gelen açı değişimleriyle ilgili yuvarlanma ekseninde kullanılan hareket denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\ddot{\varphi} \cong \frac{\tau_{\varphi}}{I_x} \quad (18)$$

Yunuslama ekseninde meydana gelen değişimleri ifade eden hareket denklemi aşağıdaki gibi belirtilebilmektedir:

$$\ddot{\theta} \cong \frac{\tau_{\theta}}{I_y} \quad (19)$$

Hava robotunda meydana gelen sapma eksenindeki açı değişimlerini tanımlamak için aşağıdaki belirtilen hareket denklemi kullanılmaktadır:

$$\ddot{\psi} \cong \frac{\tau_{\psi}}{I_z} \quad (20)$$

Böylelikle, hava robotunu 6 serbestlik derecesiyle modellemek için elde edilmesi gereken hem öteleme hem de dönme hareketlerine ait denklem takımları çıkartılmıştır. Bu işlemlerden sonra kontrolör tasarımlarına geçilebilmektedir.

Kontrolör Tasarımı

Bu bölümde, tüm durumları geri besleme olarak alındıktan sonra sistem dinamikleri üzerinde optimizasyon gerçekleştiren optimal bir kontrolör tekniği olan LQR tasarımından bahsedilecektir. LQR kontrolörünü tasarlayabilmek için kontrol edilecek sistem dinamikleri durum-uzay formunda aşağıdaki gibi ifade edilmesi gerekmektedir:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (21)$$

$$y = Cx + Du \quad (22)$$

LQR kontrolöründe kullanılan optimizasyon fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt \quad (23)$$

Eşitlik 23'te kullanılan Q matrisi ağırlıkları, R ifadesi kontrolör matrisini belirtmektedir. Optimal kontrolör katsayısının belirlenmesi için:

$$K = R^{-1}B^T P \quad (24)$$

Eşitlik 24'te kullanılan P matrisinin kararlı durumu Riccati denkleminde göre belirlenmektedir:

$$A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P + Q = 0 \quad (25)$$

LQR kontrolör tasarımı, pertürbasyonları ve kalıcı-durum hatasını ortadan kaldırmak için bir integratör eklenmiştir. Böylelikle, belirsizliklere karşı daha gürbüz ve kalıcı-durum hatasına karşı bir düzeltme gerçekleştirilmiştir. İntegral etkisinin LQR kontrolöre eklenmesi durumunda:

$$\dot{\xi} = ref - y = ref - Cx \quad (26)$$

şeklinde düzenlenebilir. Eşitlik 26'da bahsedilen ref ifadesi kontrolörden beklenen referans girdisini ifade etmektedir. İntegral etkisinin LQR kontrolöre eklenmesiyle kontrol tepkisinin de bu duruma göre düzenlenmesi gerekmektedir:

$$u(t) = -Kx(t) + k_1 \xi \quad (27)$$

İntegral etkisinin kontrolör tepkisine eklenmesiyle beraber bu değişikliğin durum-uzay formundaki ifadesi [29]:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{\xi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ -C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \xi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} ref \quad (28)$$

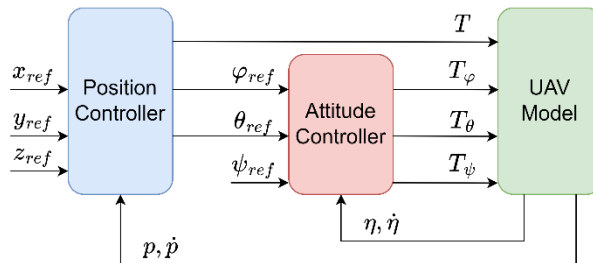
şeklinde ifade edilebilmektedir. Eşitlik 28'de kullanılan A ve B matrislerinin de integral etkisinin dahil edilmesinden sonra düzenlenmesi gerekmektedir. Bu düzenleme sonucunda elde edilen yeni sistem ve çıktı matrisi Eşitlik 29'da gösterilmiştir.

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ -C & 0 \end{bmatrix}, \bar{B} = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (29)$$

İntegral LQR kontrolörün çıktısını ifade edecek K matrisi ise:

$$\bar{K} = [K \quad -k_1] \quad (30)$$

şeklinde düzenlenmelidir. Hava robotuna verilen pozisyon ve açı referanslarını takip etmesini sağlayacak iç-dış döngü yapısına göre tasarlanacak integral LQR kontrolör mekanizması Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2

İntegral LQR kontrolör için kullanılan iç-dış döngü yapısı [29]

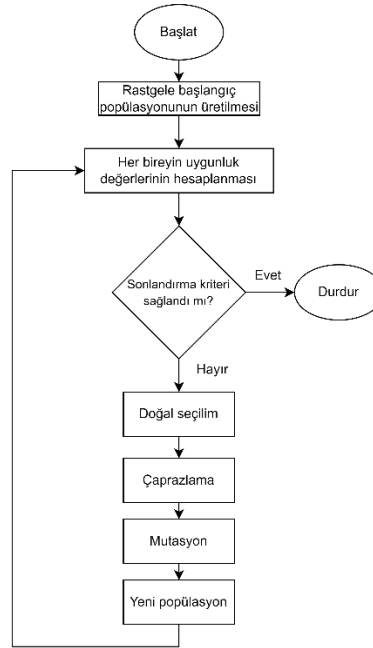
LQR kontrolöre ait katsayıları belirlemek ciddi uzmanlık gerektiren bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır. Genellikle bu durumda deneme-yanılma yöntemiyle katsayılar ayarlanmaktadır. İç-dış döngü yapısına göre geliştirilen LQR kontrolör için ayarlanması gereken 18 katsayı bulunmasından

dolayı bu ayarlama işleminin optimizasyon algoritması aracılığıyla gerçekleştirilmesi hem zaman yönetimi hem de performansta kazanılacak iyileştirmeler açısından tercih edilmiştir.

Genetik Algoritma

Genetik algoritma (GA), optimizasyona dayalı en iyi sonucu aramaya odaklanan bir yaklaşım sergilemektedir. 1975 yılında John Holland tarafından geliştirilmiştir. GA, doğal seçim, mutasyon ve çaprazlama operatörlerinden oluşmaktadır. GA kendisine verilen uygunluk fonksiyonu için en iyi sonucu üretecek değerleri aramaya yönelik çalışmaktadır. GA'nın akış şeması Şekil 3'te paylaşılmıştır.

Hava robotuna verilen pozisyon ve açı referanslarını takip edebilmesi için belirlenmesi gereken 18 katsayının tespit edilmesinde GA'dan faydalanılmıştır. GA'nın çalışabilmesi için kendisine bir amaç fonksiyonu tanımlanması gerekmektedir. Hava robotuna ait LQR kontrolör katsayılarını belirlemek için GA'ya verilen amaç fonksiyonu Eşitlik 31'de gösterilmiştir.



Şekil 3

Genetik algoritma akış şeması

Eşitlik 31'de tanımlanan amaç fonksiyonu RMSE hata kriterine göre çalışmaktadır. Hava robotuna verilen pozisyon girdisine karşı elde edilen hatayı minimize eden katsayıları arayacak şekilde kurgulanmıştır.

$$f_{min} = rmse(x) + rmse(y) + rmse(z) \quad (31)$$

GA'nın bu işlemi gerçekleştirebilmesi için birtakım katsayılarının da belirlenmesi gerekmektedir. GA'nın arama işlemini başlatabilmesi için başlangıçta belirlenen parametreler, jenerasyon sayısı:30, popülasyon sayısı: 20, çaprazlama oranı: 0,85, mutasyon oranı: 0,20 olacak şekilde kullanılmıştır. GA, AMD Ryzen 7 3700U işlemci ve 16GB RAM'e sahip bir donanım üzerinde çalıştırılmıştır. GA için belirtilen parametreler ve donanım özelliklerine göre çalışma süresi 780,32 saniye olarak tespit edilmiştir.

BULGULAR (RESULTS)

Bu çalışmada integral etkisini de içeren LQR kontrolör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen kontrolöre ait katsayıları GA yardımıyla optimize edilmiştir. Genetik ayarlı LQR kontrolörün performansı, standart LQR ve FPID kontrolöre göre karşılaştırılacak şekilde belirlenen referans

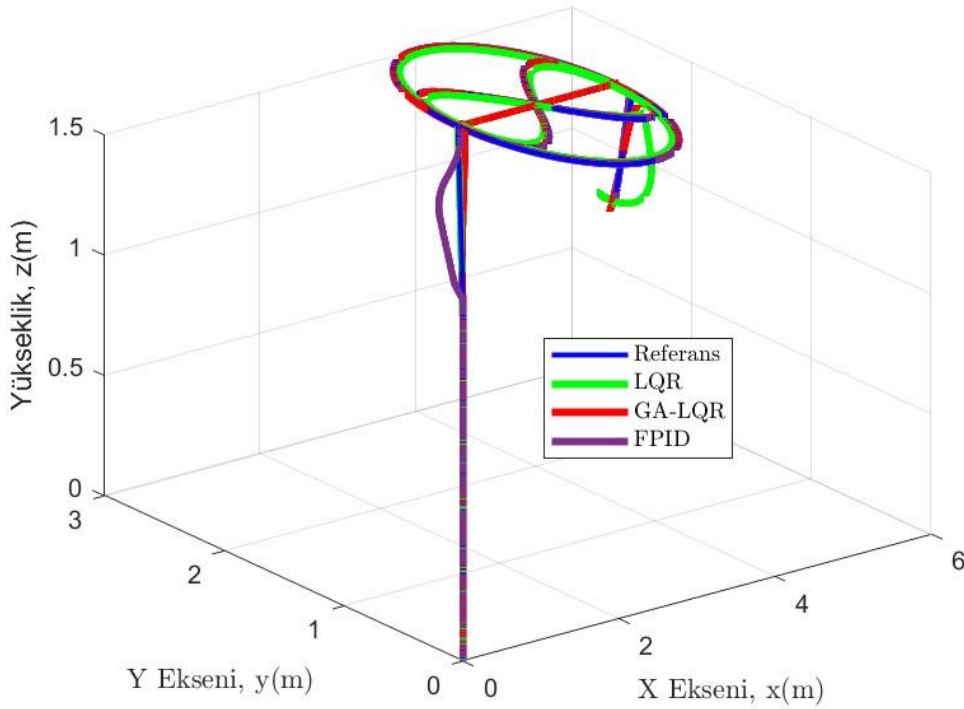
yörüngenin takip edilmesinde oluşan hataya göre değerlendirilmiştir. Oluşan bu hata değeri RMSE kriterine göre incelenmiştir. MATLAB/Simulink ortamında 6 DOF ile modellenen hava robotuna ait parametreler Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1

Parrot AR. 2.0 hava robotuna ait fiziksel parametreler

Parametreler	Değeri
Kütle (kg)	0,46
Motorun Ağırlık Merkezine Olan Mesafesi (m)	0,127
Atalet Momenti I_x (kgm^2)	2,24e-4
Atalet Momenti I_y (kgm^2)	2,90e-4
Atalet Momenti I_z (kgm^2)	5,30e-4

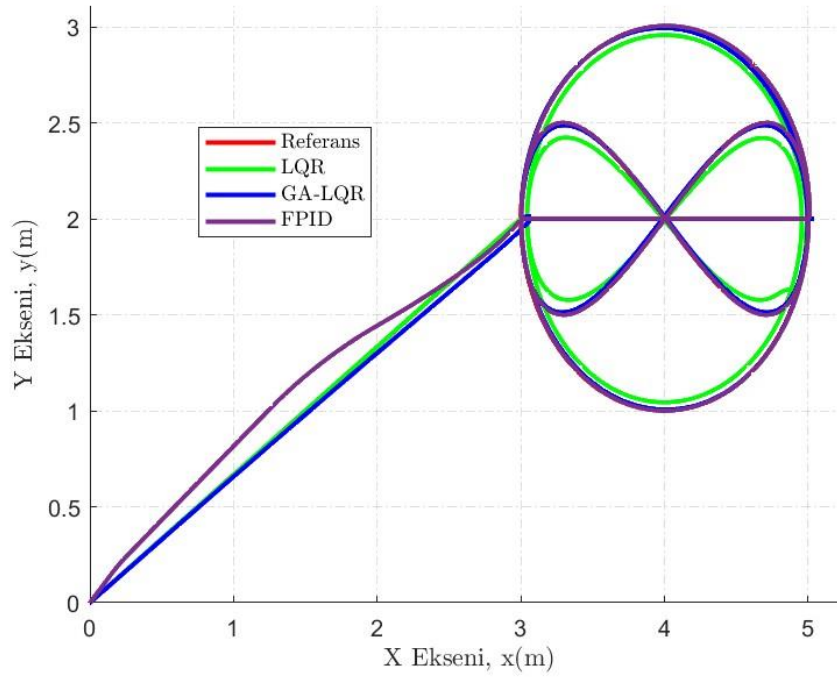
Hava robotunun performansını değerlendirmek için sekiz eğrisini takip etmesi istenmiştir. Bu yörünge takibi genetik ayarlı LQR kontrolör haricinde standart LQR ve FPID ile de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma genetik ayarlı integral etkisiyle tasarlanan LQR kontrolörün performansının incelenmesi için gerçekleştirilmiştir. Hava robotuna verilen sekiz eğrisi ve farklı kontrolörlerin takip başarımları Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4

Hava robotunun farklı kontrolörler ile yörünge takibini gerçekleştirilmesi

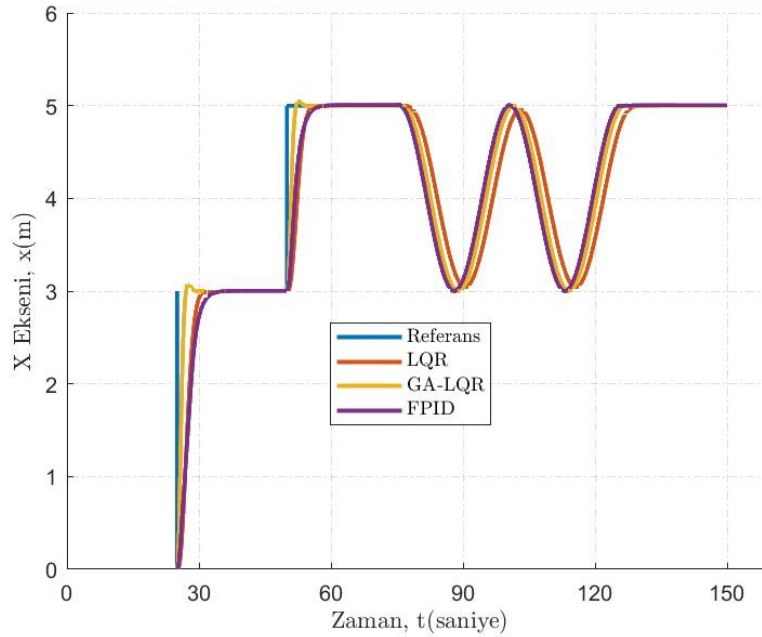
Sekiz eğrisinin (lemniscate) referans yörünge olarak kullanılması durumunda elde edilen sonuçlara göre genetik ayarlı LQR kontrolörün diğer kontrolörlere kıyasla tüm eksenlerde meydana gelen RMSE hataların toplamı 0,4815m olarak tespit edilmiştir ve diğer kontrolörlere göre en az hataya ulaştığı gözlemlenmiştir. FPID ve standart LQR kontrolörün referanstan ayrıldıkları bazı noktalar Şekil 4’te açıkça görülmektedir. Bu yörüngenin takibi esnasında elde edilen performansların farklı bir açıdan değerlendirilmesi için x ve y eksenlerinden oluşan çizim Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5

Hava robotunun farklı kontrolörlerle yörünge takibinin X ve Y pozisyonlarına göre incelenmesi

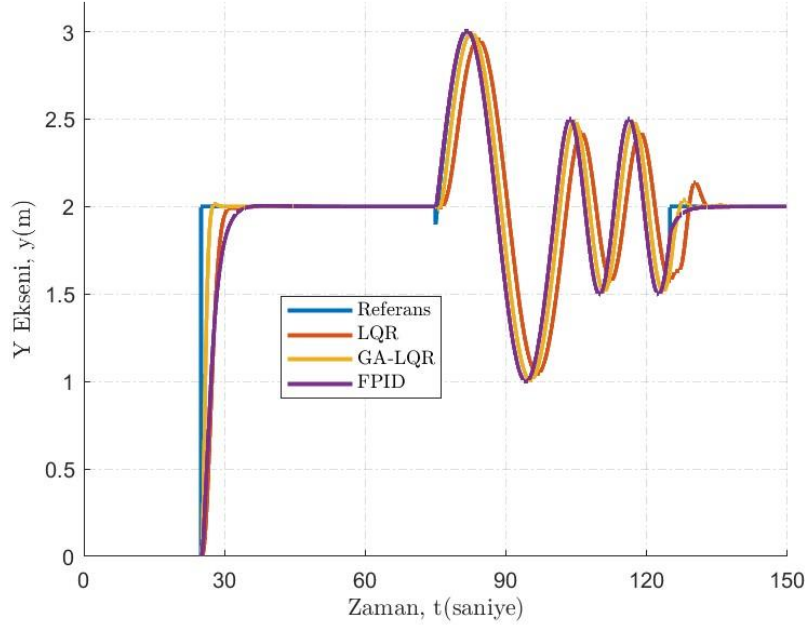
Hava robotuna verilen sekiz eğrisinin takip edilmesinde elde edilen sonuçların x ve y eksenlerine göre değerlendirilmesi durumunda en az hatanın RMSE kriterine göre 0,4276m olarak genetik ayarlı LQR kontrolör tarafından elde edildiği tespit edilmiştir. Hava robotuna verilen referans yörüngesinin sadece x ekseninde elde edilen sonuçlar Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6

Hava robotunun farklı kontrolörlerle yörünge takibinin X eksenindeki pozisyon değişimine göre incelenmesi

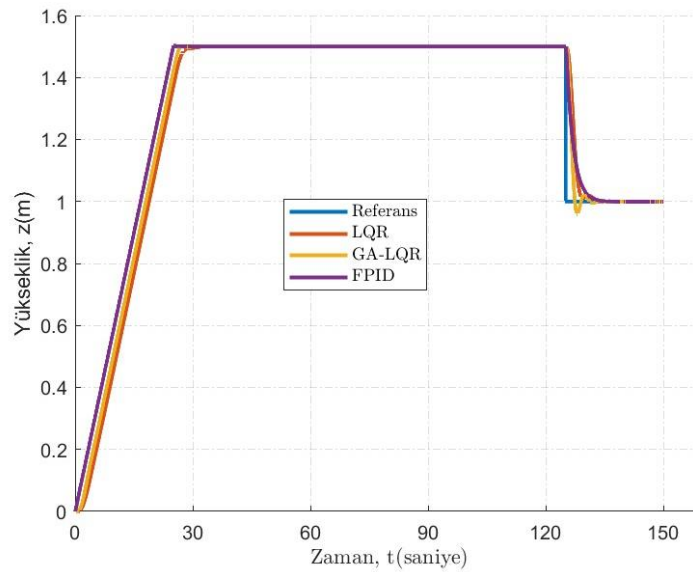
X eksenindeki referansların takip edilmesine göre yapılan değerlendirmeye göre genetik ayarlı LQR kontrolör RMSE kriterine göre FPID kontrolörüne karşı %31,3 oranında, LQR kontrolörüne karşı %43,7 oranında daha az hata değeri ürettiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde y eksenindeki performansların incelenmesi Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7

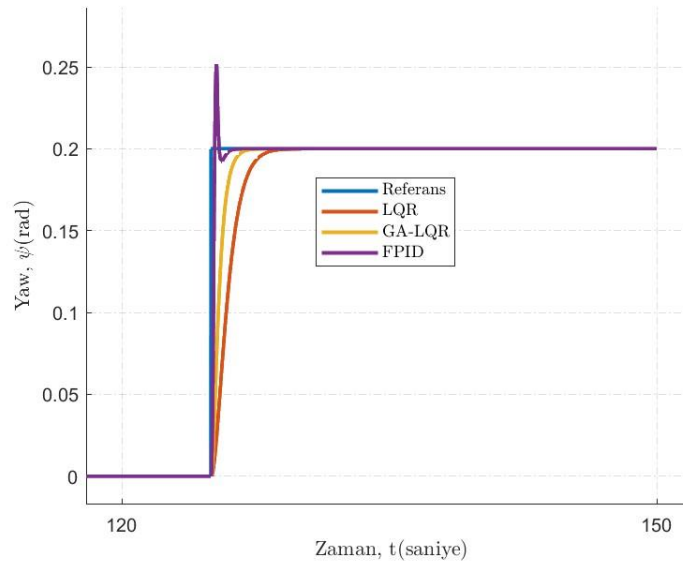
Hava robotunun farklı kontrolörler ile yörünge takibinin Y eksenindeki pozisyon değişimine göre incelenmesi

Hava robotuna verilen referansın takip edilmesi esnasında y eksenindeki değişimler incelendiğinde genetik ayarlı LQR kontrolörün FPID kontrolöre göre %18,4 ve LQR kontrolöre göre %46,8 oranında daha az bir hata değeriyle referansı takip ettiği gözlemlenmiştir. Z eksenindeki referansların takip edilmesi durumunda elde edilen sonuçlar Şekil 8’de paylaşılmıştır.



Şekil 8

Hava robotunun farklı kontrolörler ile yörünge takibinin z eksenindeki pozisyon değişimine göre incelenmesi



Şekil 9

Hava robotunun farklı kontrolörler ile yörünge takibinin sapma açısındaki değişimine göre incelenmesi

0,2 radyanlık bir açının sapma ekseninde takip edilmesinin istenmesi durumunda FPID kontrolörün yaklaşık %25 oranında aşımın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Diğer LQR tabanlı kontrolörlerde bu aşım oluşmamıştır. Genetik ayarlı LQR kontrolörü ise yükselme süresi açısından FPID'nin gerisinde kalmasına rağmen aşım değerinin oluşmadığı tespit edilmiştir. Hava robotuna verilen referans yörünge takip edilmesi esnasında oluşan hata RMSE kriterine göre incelenmesi durumunda elde edilen sonuçlar Tablo 2'de paylaşılmıştır.

Tablo 2

Referansın Takip Edilmesi Esnasında Oluşan Hatanın RMSE Kriterine Göre İncelenmesi

Kontrolörler	X Eksen	Y Eksen	Z Eksen
LQR	0,4623	0,3145	0,0728
Genetik Ayarlı LQR	0,2603	0,1673	0,0539
FPID	0,3784	0,2051	0,0418

RMSE kriterine göre gerçekleştirilen karşılaştırma sonucuna göre genetik ayarlı LQR kontrolörün referansı daha başarılı takip ettiği tespit edilmiştir. X ve y ekseninde genetik ayarlı LQR kontrolör daha az bir hatayla referansı takip ederken, z ekseninde FPID kontrolörün daha başarılı olduğu gösterilmiştir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Bu çalışmada hava robotu için genetik ayarlı ve integral etkisine göre LQR kontrolör tasarlanmıştır. Kontrolör tasarımına geçmeden önce hava robotuna ait hareket denklemleri elde edilmiş ve 6 DOF ile MATLAB/Simulink ortamında modellenmiştir. Model-tabanlı kontrolör tasarımındaki problemlerden birisi olan katsayıların belirlenmesi noktasında GA kullanılarak belirlenen uygunluk fonksiyonunu minimize edecek kontrolör katsayıları tespit edilmiştir. Genetik ayarlı ve integral etkisine göre tasarlanan LQR kontrolörün belirlenen katsayılarıyla elde edilen sonuçları karşılaştırmak için standart LQR ve hibrit bir kontrolör olan FPID kullanılmıştır. Farklı kontrolörlerin performanslarını değerlendirmek için sekiz eğrisi referans olarak uygulanmıştır. Bu referansın takip edilmesi sırasında oluşan hata RMSE kriterine göre değerlendirilmiştir. Genetik ayarlı LQR kontrolör x, y ve z eksenlerindeki hataların toplanmasına göre gerçekleştirilen karşılaştırmaya göre, standart LQR kontrolöre göre %43,22 FPID kontrolörüne göre %22,99 oranında daha başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre genetik ayarlı ve integral etkisine göre tasarlanan LQR kontrolörün hava robotlarının performanslarında iyileştirme sağladığı tespit edilmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarın bu çalışma için beyan ettiği herhangi bir çıkar çatışması yoktur (The author has no conflict of interest to disclose for this study).

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] C.-C. Chang, J.-L. Wang, C.-Y. Chang, M.-C. Liang, M.-R. Lin, Development of a multicopter-carried whole air sampling apparatus and its applications in environmental studies, *Chemosphere*. 144 (2016), 484-492.
- [2] J.A. Paredes, J. González, C. Saito, A. Flores, Multispectral Imaging System with UAV Integration Capabilities for Crop Analysis, içinde: *2017 First IEEE International Symposium of Geoscience and Remote Sensing (GRSS-CHILE)*, 2017, 1-4.
- [3] S. Anweiler, D. Piwowarski, Multicopter platform prototype for environmental monitoring, *Journal of Cleaner Production*. 155 (2017), 204-211.
- [4] B.E. Schäfer, D. Picchi, T. Engelhardt, D. Abel, Multicopter Unmanned Aerial Vehicle for Automated Inspection of Wind Turbines, içinde: *2016 24th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*, 2016, 244-249.
- [5] M. Stokkeland, K. Klausen, T.A. Johansen, Autonomous Visual Navigation of Unmanned Aerial Vehicle for Wind Turbine Inspection, içinde: *2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 2015, 998-1007.
- [6] D. Lee, H. Jin Kim, S. Sastry, Feedback linearization vs. adaptive sliding mode control for a quadrotor helicopter, *International Journal of control, Automation and systems*. 7 (2009), 419-428.
- [7] J. Farrell, M. Sharma, M. Polycarpou, Backstepping-based flight control with adaptive function approximation, *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*. 28 (2005), 1089-1102.
- [8] Z. Zuo, C. Wang, Adaptive trajectory tracking control of output constrained multi-rotors systems, *IET Control Theory & Applications*. 8 (2014), 1163-1174.
- [9] J. Spencer, J. Lee, J.A. Paredes, A. Goel, D. Bernstein, An Adaptive Pid Autotuner for Multicopters with Experimental Results, içinde: *2022 International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2022, 7846-7853.
- [10] Z.T. Dydek, A.M. Annaswamy, E. Lavretsky, Adaptive control of quadrotor UAVs: A design trade study with flight evaluations, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 21 (2012), 1400-1406.
- [11] A.R. Dooraki, D.-J. Lee, Reinforcement Learning Based Flight Controller Capable of Controlling a Quadcopter with Four, Three and Two Working Motors, içinde: *2020 20th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, 2020, 161-166.
- [12] Y. Song, A. Romero, M. Müller, V. Koltun, D. Scaramuzza, Reaching the limit in autonomous racing: Optimal control versus reinforcement learning, *Science Robotics*. 8 (2023), 1-13.
- [13] C. Guzey, T. Kumbasar, Aggressive maneuvering of a quadcopter via differential flatness-based fuzzy controllers: From tuning to experiments, *Applied Soft Computing*. 126 (2022), 109223.
- [14] G. Unal, Integrated design of fault-tolerant control for flight control systems using observer and fuzzy logic, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. 93 (2021), 723-732.
- [15] E. Kayacan, R. Maslim, Type-2 Fuzzy Logic Trajectory Tracking Control of Quadrotor VTOL Aircraft with Elliptic Membership Functions, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. 22 (2017), 339-348. doi:10.1109/TMECH.2016.2614672.
- [16] E. Yazid, M. Garrat, F.Santoso, Optimal PD Tracking Control of a Quadcopter Drone Using Adaptive PSO Algorithm, içinde *The 2018 International Conference on Computer, Control, Informatics and its Application*, 2018, 146-151.
- [17] M.S. Can, H. Ercan, Real-time tuning of PID controller based on optimization algorithms for a quadrotor, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*. 94 (2021), 418-430.
- [18] Ş. Yıldırım, N. Çabuk, V. Bakırcıoğlu, Optimal PID controller design for trajectory tracking of a

- dodecarotor UAV based on grey wolf optimizer, *Konya Journal of Engineering Sciences*. 11 (2023), 10-20.
- [19] I. Siti, M. Mjahed, H. Ayad, A. El Kari, New trajectory tracking approach for a quadcopter using genetic algorithm and reference model methods, *Applied Sciences*. 9 (2019), 1780.
- [20] M.J. Mahmoodabadi, N.R. Babak, Robust fuzzy linear quadratic regulator control optimized by multi-objective high exploration particle swarm optimization for a 4 degree-of-freedom quadrotor, *Aerospace Science and Technology*. 97 (2020), 105598.
- [21] M.N. Shauqee, P. Rajendran, N.M. Suhadis, Proportional double derivative linear quadratic regulator controller using improvised grey wolf optimization technique to control quadcopter, *Applied Sciences*. 11 (2021), 2699.
- [22] A.O. Faouri, P. Kasap, maximum likelihood estimation for the nakagami distribution using particle swarm optimization algorithm with applications, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5 (2023), 169-178.
- [23] M. Hacıbeyoglu, M. Çelik, Ö. Erdaş Çiçek, K en yakın komşu algoritması ile binalarda enerji verimliliği tahmini, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5 (2023) 28-37.
- [24] M. Karakoyun, A. Özkış, transfer fonksiyonları kullanarak ikili güve-alev optimizasyonu algoritmalarının geliştirilmesi ve performanslarının karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 3 (2021) 1-10.
- [25] L. Meier, D. Honegger, M. Pollefeys, PX4: A Node-Based Multithreaded Open Source Robotics Framework For Deeply Embedded Platforms, içinde: *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2015.
- [26] ArduPilot Documentation — ArduPilot documentation, (t.y.). <https://ardupilot.org/ardupilot/> (erişim 13 Haziran 2023).
- [27] L. Martins, C. Cardeira, P. Oliveira, Linear quadratic regulator for trajectory tracking of a quadrotor, *IFAC-PapersOnLine*. 52 (2019), 176-181.
- [28] G.J. Leishman, Principles of helicopter aerodynamics with CD extra, *Cambridge university press*, 2006.
- [29] L. Martins, Linear and nonlinear control of uavs: design and experimental validation, Master's Thesis, *Instituto Superior Técnico*, Lisbon, Portugal, 2019.

Özgün Elektroosmotik Mikrokarıştırıcı Tasarımının Farklı Voltajlardaki Karıştırma Performansının Nümerik İncelenmesi

Sinan YİĞİT^{1*} , Mehmet Berk AZDURAL² , Ali KAHRAMAN² 

¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Konya, Türkiye

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 10.03.2024
Kabul Tarihi: 26.06.2024
Yayın Tarihi: 31.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Biyomems,
Çip Üzerinde Laboratuvar,
Mikroakışkan,
Mikrokarıştırıcı.

ÖZET

Bu çalışmada, mikrokarıştırıcıların tasarımı ve performansı üzerine nümerik bir inceleme sunulmuştur. İnceleme, özellikle yüzük tipi elektroosmotik mikrokarıştırıcıların farklı voltaj ve frekanslardaki karıştırma etkinliği ve maliyetleri üzerinde odaklanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan nümerik analizler, karışma performansını belirleyen faktörleri ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, mikrokarıştırıcıların tasarımı ve optimize edilmesinde dikkate alınması gereken nümerik bilgileri vurgulanmıştır. Frekansın artışının karışma performansı üzerindeki etkileri incelenmiş ve belirli bir bölgede karışma performansını artırırken, bazı durumlarda negatif etkilere neden olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, voltajın karışma üzerindeki etkileri de detaylı olarak değerlendirilmiş ve doğrudan bir artışın karışma etkinliğini artırdığı belirlenmiştir. Özellikle, geometrik boyutlar, uygulanan gerilim ve frekans gibi parametrelerin karışma performansı üzerinde belirleyici olduğu görülmüştür. 1 ila 5V arası gerilimler ile 4 ve 8Hz frekanslarında analizler gerçekleştirilmiştir. En iyi performans, 4,5V ve 8Hz uygulandığı durumda elde edilmiştir. Bu bağlamda, gelecekteki çalışmalarda, daha karmaşık sistemlerin ve farklı çalışma koşullarının dikkate alınarak daha kapsamlı analizlerin yapılması önerilmektedir.

A Numerical Study of the Mixing Performance of the Electroosmotic Micromixer Design at Different Voltages

Article Info

Received: 10.03.2024
Accepted: 26.06.2024
Published: 31.12.2024

Keywords:

Biomems,
Lab on a Chip,
Microfluidics,
Micromixer.

ABSTRACT

In this study, a numerical investigation on the design and performance of micromixers is presented. The investigation focuses particularly on the mixing efficiency and costs of ring-type electroosmotic micromixers at different voltages and frequencies. Numerical analyses performed using the finite element method reveal the factors that determine mixing performance. According to the obtained results, numerical data that should be considered in the design and optimization of micromixers are highlighted. The effects of increasing frequency on mixing performance were examined, and it was observed that while it enhances mixing performance in a certain range, it can cause negative effects in some cases. Similarly, the effects of voltage on mixing were also evaluated in detail, and it was determined that a direct increase in voltage enhances mixing efficiency. Specifically, parameters such as geometric dimensions, applied voltage, and frequency were found to be decisive on mixing performance. Analyses were conducted at voltages ranging from 1 to 5V and at frequencies of 4 and 8Hz. The best performance was achieved when 4.5V and 8Hz were applied. In this context, it is recommended that future studies consider more complex systems and different operating conditions for more comprehensive analyses.

Bu makaleye atıfta bulunmak için:

Yiğit, S., Azdural, M.B. & Kahraman, A. (2024). Özgün Elektroosmotik Mikrokarıştırıcı Tasarımının Farklı Voltajlardaki Karıştırma Performansının Nümerik İncelenmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 483-494. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.60>

*Sorumlu Yazar: Sinan Yiğit, sinan.yigit@erbakan.edu.tr



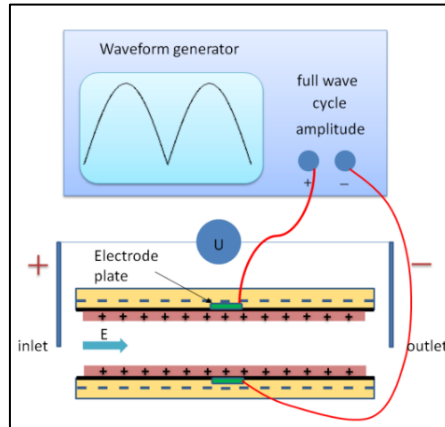
This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mikro fabrikasyon yöntemlerinin kullanımlarının gelişmesiyle mikro toplu analiz sistemleri, ve çip üzerinde laboratuvar (lab on a chip/LOC) uygulamaları geçtiğimiz 10 yılda kat ettikleri mesafeye öne çıkmaktadır [1]. Çip üzerinde laboratuvar (LOC) alanındaki çalışma tecrübeleri, hastalıkların erken tespiti ve tedavisinde tıp bilimine büyük katkıda bulunmasının dışında, diğer alanlardaki mikroakışkan uygulamalarının geliştirilmesine ön ayak olmuştur. LOC uygulamaları, genellikle replika kalıplama, mikrokontakt baskılama gibi yumuşak litografi teknikleri ile üretilir. Yumuşak litografi ile üretim, gelişmiş cihazlara gereksinim duyarken, günümüzde üç boyutlu baskı tekniklerinin gelişmesi, evlerde dahi üretilebilmesine olanak sağlanmıştır. LOC uygulamaları birçok alt mikroakışkan sistemlere sahip olup, çoğu uygulama bünyesinde mikrokarıştırıcıları içermektedir. Mikrokarıştırıcılar, sıvıların verimli olarak birbirine karıştırılmasının gerekli olduğu Kimya, Biyoloji, Tıp ve Endüstri gibi alanlarda büyük önem arz etmektedir [2].

Mikrokarıştırıcılar, herhangi bir makro ölçekli laboratuvar ekipmanlarına gereksinim duyulmaksızın, taşınabilir bir ortamda karıştırma işleminin yapılmasını sağlayan ve mikro ölçekte dizayn edilen cihazlardır. Laboratuvar ölçekli sistemlere göre nispeten daha az maliyetli, daha hızlı ve güvenlidir. Üretiminde en yaygın kullanılan malzeme yüksek basınca dayanıklılığı ve sızdırmazlığa katkısı ile bilinen silikon bazlı PDMS(Polydimethylsiloxane) malzemesidir. Bu platformlar, mikro boyutlardaki ölçme sistemlerine ait numunelerin hassas bir şekilde karıştırılmasını sağlar. Tıbbi uygulamalarda bu sıvılar, kanla etkileştiğinde kanın ya da hücrelerin bazı özelliklerini incelenebilir kılacak olan heparin, sodyum sitrat gibi proteinleri alt bileşenlerine ayıracak sıvılar olabilir.

Mikrokarıştırıcıların içerisindeki akışkanlara etki eden ataletsel kuvvetlerin, viskoz kuvvetlere göre etkisinin göz ardı edilebilecek kadar az olduğu, $Re < 1$ durumu Stokes(Sünme) akışı olarak adlandırılır. Laminer akışın özel bir hali olan Stokes akışı, çok yavaş akışlarda gerçekleşir. Genellikle mikrokanaallardaki karışma olayları boyutlarından ötürü bu sınıfa girer. Bu durumda karışmanın gerçekleştirilebilmesi, dışarıdan bir etki uygulanmasını gerektirir. Dışarıdan uygulanabilecek kuvvetler Elektriksel alandan (Elektroosmotik) kaynaklanabileceği gibi manyetik alan, piezoelektrik, basınç alanı ve akustik gibi etkilere de oluşabilir. Bu şekilde çalışan bir mikrokarıştırıcının temel çalışma prensibi Şekil 1’de gösterilmiştir [6].



Şekil 1

Temel çalışma prensibini gösteren bir görsel

Mikro ölçekte karıştırmanın avantajları olsa da, akışkanların bu boyuttaki davranışlarından ötürü bazı yeni zorluklar ortaya çıkmaktadır. Bu ölçekte viskoz kuvvetlerin, ataletsel kuvvetlere oranla, daha baskın olması akışın laminer olmasına ve karışmanın sadece yayılım etkileri vasıtasıyla

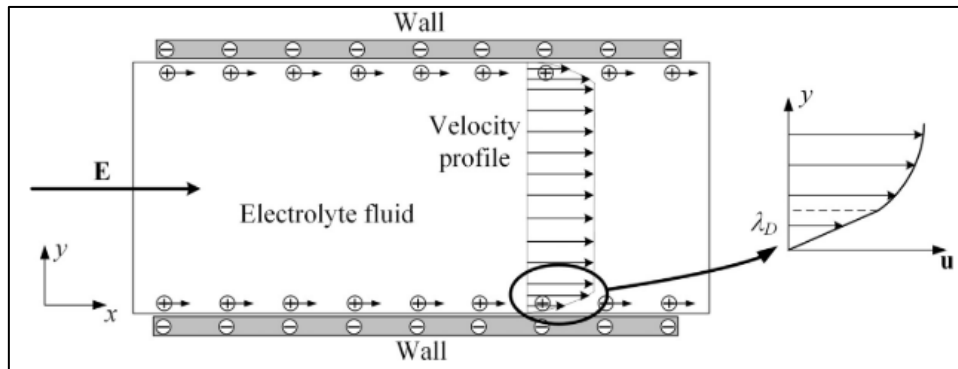
gerçekleşmesine yol açar [3]. Bu sebepten karıştırıcılar aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılırlar. Pasif karıştırıcılarda sıvılar arasında oluşan ara yüzeydeki kütle transferi laminer sıvı tabakalarını zamanla bozar [4]. Bu etki, kütsel yayılım katsayısına bağılı olmakla beraber, genellikle yavaş gerçekleşir. Bazı sıvılar aralarındaki yüksek yoğunluk farkı ve yüzey gerilmelerinden ötürü kendiliğinden karışamaz, bu noktada aktif karıştırıcılara ihtiyaç duyulur. Aktif karıştırıcılar, akışkanlara dışarıdan bir etki uygulayarak viskoz kuvvetlerin akış üzerindeki etkilerini bertaraf eder. Bu etkiler elektrik alan kaynaklı olabileceği gibi manyetik alan, piezoelektrik, basınç veya akustik akustik kaynaklı olabilir [5].

Genellikle elektrokimyada kullanılan elektroosmotik etkinin mikro ve nano cihazlardaki kullanımının yaygınlaşması günümüzde bu alandaki çalışmaları önemli kılmaktadır. Bu gelişmeler neticesinde geçtiğimiz on yılda fonksiyonel biyomedikal cihaz üretimindeki kullanımı giderek artmıştır [7]. Alternatif akımlı elektrosmosis mikropompalarda ve karıştırıcılarda, mikroparçacıkların ayrıştırılmasında, damlacık oluşturma uygulamalarında; düşük çalışma voltajı, az miktarda elektrot bozunması ve akışkan kontrolünün kolay olması özelliklerinden dolayı diğer metotlara nazaran tercih edilebilirler [8]. ICEO uygulamalarında akışa etkiyen kuvvetler, mikrokanal çeperlerinde elektrik alanların simetrik konumlandırılması ile oluşturulur. Çeper yüzeyinde oluşan akım yoğunluğu, yüzey ile zıt yüklü iyonları çepere doğru hareketlendirir ve bunun neticesinde sıvı içerisinde elektriksel çift tabaka olarak adlandırılan yapı ortaya çıkar [9]. Bu kanal duvarlarına dik ve akış yönünde ek bir elektriksel etki uygulanırsa, akışkan coulomb kuvvetlerinin etkisiyle bu yönde akmaya başlar. Çift tabaka dışında kalan ve elektriksel alandan daha az etkilenen kanal ortasındaki akış ise üniform bir hız profili oluşturur. Akışkan içerisinde ICEO etkiler vasıtasıyla oluşturulan bu hız profili, akışkanın kendi viskozitesinden kaynaklanan hidrodinamik hız profilinden farklılıklar gösterir. Laminer ya da türbülanslı bir akışta duvar dibine yaklaştıkça kaymazlık şartından ötürü yavaşlayan akış, momentumun korunumundan dolayı kanal ortasındaki akışın parabolik bir hız profili kazanmasına sebep olur. Benzer şekilde, ICEO etkisindeki akışta da çift tabaka içerisinde kalan bölgelerde hız profili yavaşlarken, dışında kalan bölgelerdeki akış sabit bir hıza sabit olur. ICEO etkisindeki kanal içerisindeki sabit hız değeri Helmholtz–Smoluchowski denklemi ile yaklaşık olarak elde edilebilir [9].

$$V_{eo} = \mu_{eo}E = -\frac{\varepsilon_0\varepsilon_r\zeta}{\eta}E \quad (1)$$

μ_{eo} ($m^2/V.s$) elektroosmotik mobilite, ε_0 (F/m) vakum dielektrik sabiti, ε_r (-) akışkana ait dielektrik katsayısı, η ($kg/m.s$) akışkan viskozitesi, ζ (V) Zeta potansiyeli, E (V/m) elektrotlara uygulanan elektriksel potansiyel fark olarak isimlendirilir Denklem (1). Elektroosmotik hız profiline ait görsel

Şekil 2’de görülebilir [10].



Şekil 2
ICEO hız profili

Kanal geometrisi pasif karıştırıcılarda olduğu gibi aktif karıştırıcılarda da önemli bir etkidir. Geometrinin boyutlarına bağılı olarak ataletsel kuvvetler karışmaya yardımcı olabilir. Bu durumda

ataletsel kuvvetlerin, viskoz kuvvetlere oranı olarak tanımlanan Reynolds sayısı karışma performansının bir ölçüsü olarak değerlendirilir. Denklem 2’de ifade edildiği üzere Reynolds sayısı, yoğunluk, akışkan hızı, hidrolik çapı çarpımının dinamik viskoziteye oranıyla hesaplanabilir.

$$Re = \frac{\rho U D_h}{\mu} \quad (2)$$

ρ (kg/m³) yoğunluk, U (m/s) akışkan hızı, D_h (m) hidrolik çap, μ (Pa.s) dinamik viskozite olarak isimlendirilir.

Peclet sayısı karışmanın başka bir ölçütüdür ve konveksiyonun kütsel yayınıma oranı olarak ifade edilir [11]. Peclet sayısı, akışkanın difüzyon hızını (moleküller arası karışım) ve akışkanın taşıdığı maddeyi (konveksiyon hızıyla) ne kadar hızlı ilettiğini gösterir. Mikrokariştiricilerde ise kütle transferi genellikle difüzyon etkisiyle gerçekleşir. Peclet sayısının düşük olduğu durumlarda difüzyon daha baskın olur. Bu durum, karışımın homojenliğini ve reaksiyonun etkinliğini etkileyebilir. Öte yandan, yüksek Peclet sayıları, konveksiyonun difüzyona göre baskın olduğu durumları ifade eder. Bu durumda, karışım hızlı bir şekilde gerçekleşir ve reaksiyon süresi kısaldır. Ancak, yüksek Peclet sayıları bazen karışımın homojenliğini azaltabilir ve sistemdeki türler arası geçişkenliği etkileyebilir. Sonuç olarak, mikrokariştiricilerde Peclet sayısının belirlenmesi, karışımın hızı, homojenliği ve reaksiyon etkinliği gibi faktörlerin kontrol edilmesi açısından önemlidir. Bu sayede, sistemde istenilen reaksiyon koşulları ve ürün özellikleri sağlanabilir. Çalışmada giriş sınır koşuluna göre hesaplanan Peclet sayısı 8000 civarındadır. Elektroosmotik etki kullanılmadığında yüksek Peclet sayısı (Denklem 3) dolayısıyla plug flow akış rejimine benzer olarak karışmaksızın devam edeceği öngörülmektedir.

$$Pe = \frac{LU}{a} \quad (3)$$

L (m) karakteristik uzunluk, U (m/s) akışkan hızı, a (m²/s) difüzyon katsayısı olarak isimlendirilir.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Akışkanların davranışlarının matematiksel olarak ifade edip, altında yatan fiziki anlayabilmek, tasarım sürecinde yapılabilecek hataların önüne geçmede büyük önem arz eder. Navier Stokes denklemi akışkanların davranışlarını açıklayan genelleştirilmiş matematiksel denklemdir [12]. Kütle korunumu diğer adıyla süreklilik denklemi ve momentumun denklemlerini içerir. Sıkıştırılmaz Newtonian akışkanlar için matematiksel ifade aşağıdaki şekilde Denklem 4 ve 5’te ifade edilmiştir.

$$\nabla \cdot V = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\delta V}{\delta t} + \rho(V \cdot \nabla) \cdot V = -\nabla P + \mu \nabla^2 V \quad (5)$$

Denklem 5’ten basınç ve hız değerleri elde edilebilirken Denklem 6 haline dönüştürülerek kütsel transport çözümünü de içerecek hale getirilir [13].

$$\frac{\delta c}{\delta t} = D \nabla^2 c - u \cdot \nabla c \quad (6)$$

İki solüsyonun karışma performansının karşılaştırılmalı olarak incelenebilmesi için bir kriter ihtiyacı duyulmaktadır. Bu ihtiyaç neticesinde literatürde Karışma İndeksi kavramı ortaya atılmıştır [14]. Denklem 7’de bu indeksin hesaplanmasında kullanılan ifadeyi göstermektedir.

$$\sigma = \left(1 - \frac{\int_L |c - c_m| dy}{\int_L |c_0 - c_m| dy} \right) \times 100 \quad (7)$$

Çıkıştaki konsantrasyon ortalama konsantrasyon c , homojen karışımın konsantrasyonu c_m ,

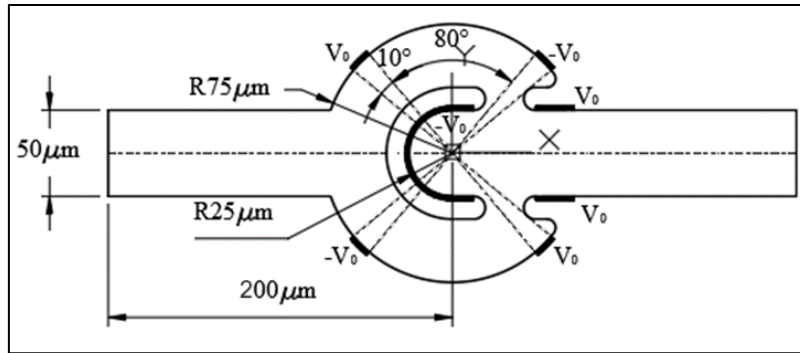
girişteki karışmayan sıvıların konsantrasyon farkı c_0 olarak ifade edilir. Literatürde karşılaştırma amacıyla kullanılan diğer bir parametre ise Karışma maliyeti olarak adlandırılır. Karışma indeksinin, kanal boyunca oluşan basınç farkına oranı olarak Denklem 8’de ifade edilmiştir [15].

$$\text{Karışma maliyeti} = \frac{\sigma}{\Delta P} \quad (8)$$

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Uygulaması (Computational Fluid Dynamics Study)

Ahmed ve ark. [16] çalışmalarında 2400 μm uzunluğa, 300 μm genişliğe ve 36 μm yüksekliğe sahip bir T tipi karıştırıcıya heterojen elektrot yamaları uygulamış, yamaların geometrik parametrelerinin karışma indeksi üzerinde etkilerinin optimum durumda kanal ortasında %95, kanal çıkışında ise %99 olarak bulmuştur. Hu ve ark. [17] çalışmalarında 80 μm yüksekliğinde, 200 μm genişliğinde değişik uzunluklardaki, Y tipi bir karıştırıcılara asimetrik Herringbone elektrotları uygulamış, verilen geometrideki giriş hızı, voltaj, frekans değişimlerine göre karışma performanslarını incelemiş ve %81 ila %96 arasında değerler elde etmiştir. Zhou ve ark. [18] çalışmalarında yüzük tipi bir karıştırıcının geometrik şeklini değiştirerek kayda değer bir gelişime ulaşmıştır. Jalili ve ark. [19] çalışmalarında 80 μm uzunluğunda, 10 μm genişliğinde yüzük tipi bir karıştırıcı geometrisini keskin köşeli yapılar da dahil olmak üzere üç farklı şekilde incelemiş bunun sonucunda keskin köşeli olanların yuvarlak hatlar kadar başarılı olamadığı sonucunu ortaya koymuştur.

Literatürde daha önceki yapılan çalışmalar dikkate alınarak keskin hatlar içermeyen, kesit daralmasını ve elektrotların birbirlerine olan konumlarını kullanarak karışmayı arttıracak bir geometri tasarımı planlanmıştır. Yüzük tipi bir ICEO karıştırıcı tasarlanmış ve tasarlanan geometri akış analizi yapılmak üzere bir sonlu elemanlar programı olan Comsol yazılımına aktarılmıştır. Bu yazılımda sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak laminar akış, elektrik alan ve kütle taşıyım çözümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3’te yerleri belirtilen elektrotlara sırasıyla 1, 2,5 ve 5V’luk AC gerilim uygulanmış ve bu gerilme değerlerinin değişim sıklıklarına göre dinamik karışma davranışları 1,25sn’lik simülasyon boyunca gözlemlenmiştir. Akışkanlar kanala 400 $\mu\text{m}/\text{s}$ hızla girerken hesaplanan Reynolds sayısı 0,32 olarak elde edilmiştir. Çözüm, kanal yüksekliği boyunca parametrelerin değişimi göz ardı edilerek 2D olarak modellenmiştir.



Şekil 3

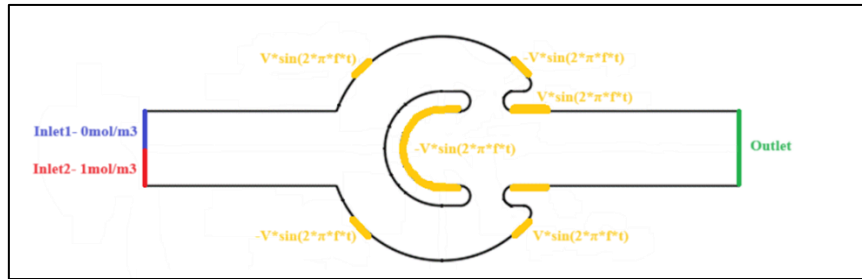
Tasarımı yapılan ICEO mikrokariştirici

Materyal Özellikleri (Material Properties)

Karıştırma etkinliğinin değerlendirilmesinde literatürdeki nümerik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan sulu çözeltilerden faydalanılmıştır. Bu sebeple bu çalışma kapsamında da karıştırılan sıvılardan biri saf su iken diğeri 1 mol/m³ oranında çözünmüş madde (boyar madde) içeren su karışımıdır.

Tablo 1*Simülasyonda kullanılan akışkan için materyal özellikleri*

Akışkan türü	Su
Yoğunluk	1000[kg/s]
Dinamik Viskozite	0,0010005 [Pa.s]
Elektriksel İletkenlik	0,11845[S/m]
Dielektrik Sabiti	80,2
Yayınım katsayısı	1E-11[m ² /s]

Uygulanan Sınır Koşulları (Applied Boundary Conditions)**Şekil 4***Analizde uygulanan sınır koşulları*

Şekil 4’te belirtilen elektrotlara herhangi bir faz farkı olmadan 4 ve 8 Hz sıklığında sinüs fonksiyonu uygulanmış geriye kalan tüm duvarlar elektriksel olarak izole kabul edilmiştir. Ayrıca tüm duvarlara kaymazlık şartı yerine elektroosmotik hız şartı uygulanmıştır.

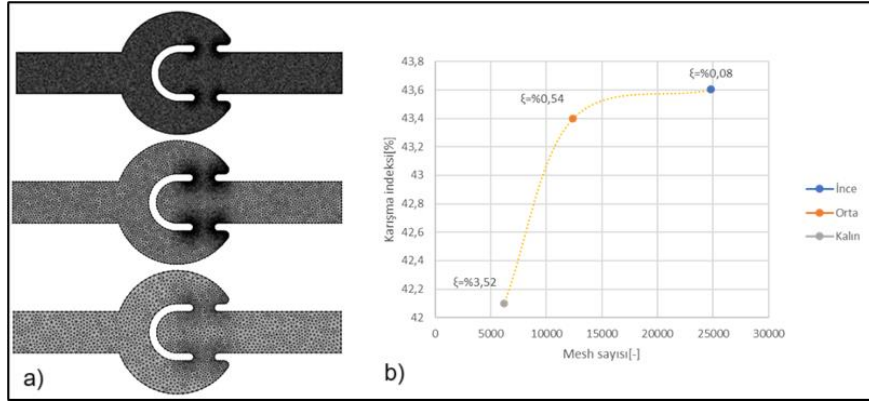
Tablo 2*Sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılan simülasyon modelinde kullanılan sınır koşulları*

Sınır koşulları	Sınır koşulu türü	Değeri
Inlet1	Normal Hız sınır koşulu, Inflow	400[μm/s], 0[mol/m3]
Inlet2	Normal Hız sınır koşulu, Inflow	400[μm/s], 1[mol/m3]
Outlet	Sabit Basınç sınır koşulu, Outflow	0[Pa] gösterge basıncı
Wall1	Elektroosmotik hız sınır koşulu	Zeta potansiyeli (-0,1)[V], Dielektrik sabiti 80,2 +- 1[V]*sin(2π*f[Hz]*t[s]),
Wall2	Elektrik potansiyel sınır koşulu	+ -2.5[V]*sin(2π*f[Hz]*t[s]), +- 5[V]*sin(2π*f[Hz]*t[s])

Sayısal Çözüm (Numerical Solution)

Çözümler bir sonlu hacimler çözücüsü olan Comsol programında gerçekleştirilmiştir. Zamana bağlı gerçekleştirilen analizlerde 0,005sn’lik sabit zaman adımı kullanılmıştır. Her bir zaman adımında çözümlenen denklemlere ait iteratif farklar 1E-4 yakınsama seviyelerine ulaşmıştır. Analizler 300 iterasyon yani 1,5sn süresince koşturulmuştur. Analizlerde, akış, kütle transferi ve elektrik alan çözümlmeleri için ikinci dereceden ayrıklaştırma şemaları kullanılmıştır.

Mesh sayısı bağımsız analizinde Richardson ekstrapolasyonu metodu kullanılmıştır [20]. 8 Hz, 1 V parametrelerinin uygulandığı konfigürasyon için kalın-6200 eleman, orta-12400 eleman ve ince-24800 eleman olmak üzere üç farklı mesh sayısı için analizler gerçekleştirilmiştir. Mesh seviyeleri eleman sayıları oranı olan inceltme oranı (Refinement ratio) 2 olarak kabul edilmiştir. Sırasıyla, %42,1, %43,4 ve %43,6 karışma indeksi değerleri elde edilmiştir. Hesaplamalara göre yakınsama değeri (Order of convergence) 2,70, yüzde ayrıklaştırma hata oranları ise sırasıyla %3,52, %0,54, %0,08 olarak bulunmuştur. $GCI_{ince-orta}$ ve $GCI_{orta-kalın}$ (Grid convergence index) değerleri sırasıyla %0,09 ve %0,59, asimptotik yakınsama aralığı (Asimptotic range of convergence) ise 1,03 olarak bulunmuştur. Yüzde ayrıklaştırma hata oranlarının %5'ten az olması ve asimptotik yakınsama aralığının 1'e yakın olmasından monoton yakınsamaya ulaşıldığı görülmektedir. Alınan sonuçlar Şekil 5'te gösterilmiş olup alınan sonuçların mesh sayısından bağımsız olduğu söylenebilir.



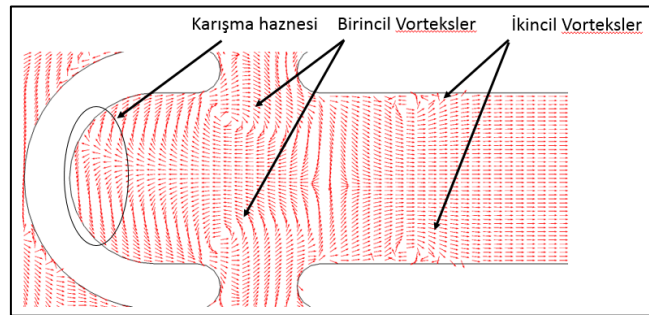
Şekil 5

(a) Kalın, orta, ince mesh görünimleri (b) karıştırma indeksine göre ayrıklaştırma hataları

BULGULAR (RESULTS)

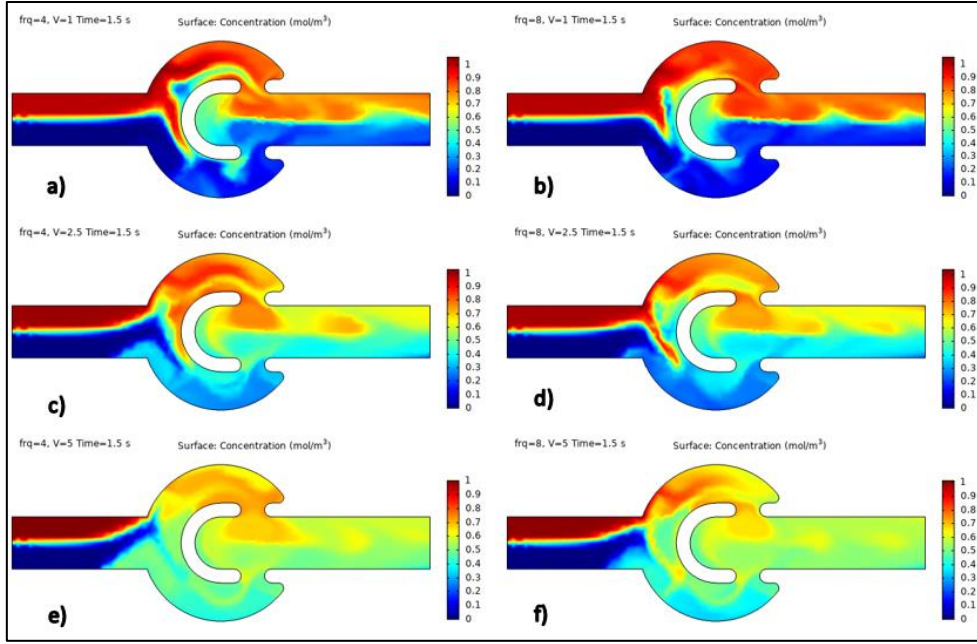
Kesit daralmasının sonrasında karışma haznesine dolan akış iki farklı elektrik alandan etkilenecek kesit alanının daraldığı yere yakın yerlerde periyodik vorteksler oluşturur. Karışmayı sağlayan bu vorteksler

Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6

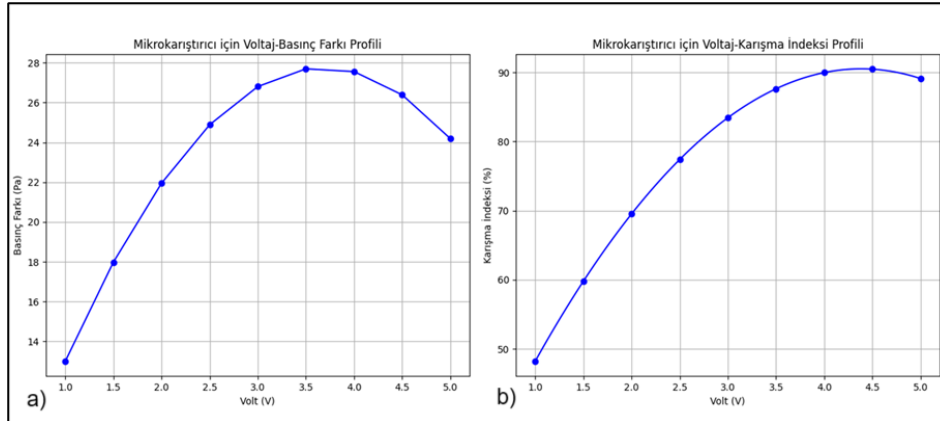
Karışmaya Etki Eden Birincil ve İkincil Vorteksler



Şekil 7

1.5 sn'lik karıştırma sonucunda konsantrasyon gradyanları (a) $f=4$ Hz $V=1$ V, (b) $f=8$ Hz $V=1$ V, (c) $f=4$ Hz $V=2,5$ V, (d) $f=8$ Hz $V=2,5$ V, (e) $f=4$ Hz $V=5$ V, (f) $f=8$ Hz $V=5$ V

Şekil 7'de görüldüğü üzere 1.5sn sonundaki karışma indeksleri sırasıyla a) %48,2, b) %43,7, c) %77,4, d) %74,1, e) %89,1, f) %90,4 olarak elde edilmiştir. Yine aynı şekilde karışma maliyeti değerleri sırasıyla a) 83,3, b) 75,6, c) 133,84, d) 128, e) 153,9, f) 156,4 olarak hesaplanmıştır. Literatürde gerçekleştirilen bir çalışmada $Re=30$ durumunda 3 boyutlu bir ayrıştır ve birleştir tipi (split-and-recombine) bir mikrokariştirici kullanılmış ve karıştırma indeksi %88,4 olarak elde edilmiştir. [21] Diğer bir çalışmada ise clothoid geometriye sahip pasif bir mikrokariştirici $Re>70$ olduğu durumlarda karışma indeksinin %80 civarında olduğu bulunmuştur. [22] Literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında bulguların uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

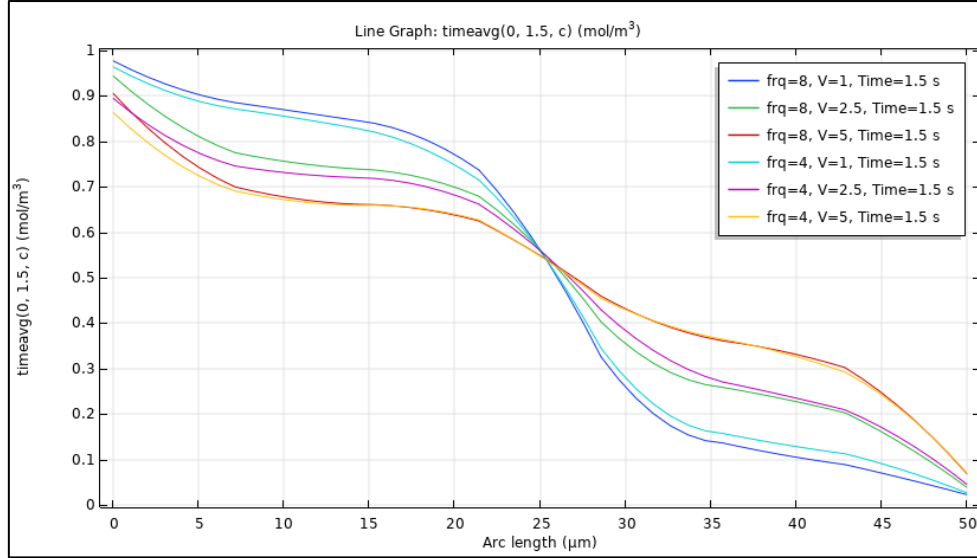


Şekil 8

(a) Voltaj-Basınç, (b) Voltaj-Karışma indeksi grafikleri

1,0 V ile 3,5 V arasında voltaj arttıkça basınç farkı da artmaktadır ve 3,5 V civarında maksimum değeri olan yaklaşık 27 Pa'ya ulaşmaktadır. 3,5 V'dan sonra ise voltaj arttıkça basınç farkı azalmaya başlamaktadır. Bu durum, mikrokariştiricinin 3,5 V civarında en yüksek basınç farkını sağladığını ve bu değerden sonra verimliliğin düştüğünü göstermektedir.

Voltaj-Karışma indeksi grafiği incelendiğinde ise voltaj arttıkça karışma indeksinin de arttığı görülmektedir. 1,0 V'dan 4,5 V'a kadar sürekli bir artış gözlemlenmektedir. 4,5 V'da maksimum karışma indeksi olan yaklaşık %90'a ulaşmakta ve bu noktadan sonra karışma indeksi sabit kalmakta ve ardından hafif bir düşüş göstermektedir. 4.5 V civarında ise en iyi karışma performansını sergilediğini görülmektedir.



Şekil 9

1,5 sn'lik karıştırma boyunca çıkıştaki zaman ortalamalı konsantrasyon eğrileri

2 boyutlu yüzey geometrisinin çıkış çizgisinden alınan ortalamalı değerler Şekil 9'da gösterilmiştir. Karışmanın daima kanal ortasında en iyi gerçekleştiği cidarlara yakın olan noktalarda ise uygulanan voltaj ve frekansa göre farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Frekans değişiminin 4'ten 8'e çıkarılmasının ihmal edilebilir etkisinin olduğu bulunmuştur.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

- Frekansın artırılmasının karışma performansına belirli bir bölgede pozitif etki ettiği bu alanın dışında negatif etkisinin olduğu, fakat bu durumun çıkış basıncını arttırdığı gözlemlenmiştir. ICEO mikrokaraştırıcılar yapılarından dolayı, mikropompa olarak da kullanılabilirdiğinden frekansın artırılmasının mikropompa olarak kullanımında pozitif bir etkisinin olduğu görülmüştür.
- Mikrokaraştırıcının, basınç farkı açısından en verimli şekilde 3,5 V'da çalıştığı bulunmuştur. Karışma indeksi açısından ise en verimli şekilde 4,5 V'da çalışmaktadır. Optimum voltaj seçimi yapılırken her iki parametre de göz önünde bulundurulmalı, uygulamanın hangi parametreye daha fazla önem verdiğine göre en uygun voltaj seçilmelidir. Eğer hem yüksek basınç farkı hem de yüksek karışma indeksi isteniyorsa, voltajın 3,5 V ile 4,5 V arasında bir değerde tutulması ideal olabilir.
- Voltaj miktarının direkt olarak karışmayı arttırdığı, karışma indeksi ve maliyeti değerleri üzerinde pozitif etki ettiği görülmüştür. Geometrik boyutlar performans üzerinde büyük önem arz etmektedir. Geometrik boyutların değiştirilmesi ve giriş hızının artırılması Reynolds sayısını önemli ölçüde etkilemektedir. Lakin Reynolds sayısının artırılması, kayda değer ataletsel kuvvetlere sebep olmadığı sürece karıştırıcının etkinliğini düşürmektedir. Reynolds sayısının 0,32 olduğu durumda gerçekleştirilen çalışmamızda, Reynolds sayısı artırıldığında artan kütesel

debi nedeniyle aynı voltaj değerinde karışmanın daha geç gerçekleştiği görülmüştür. Elektroosmotik etkinin boyutlar arttıkça etkisinin azalmasından ötürü tasarım aşamasında yanlış boyutlandırılan bir mikrokarıştırıcının beklenenden daha yüksek voltaj değerlerine gereksinim duyacak olması kaçınılmazdır. Ayrıca sıvıların içerisinde çözünmüş olan iyonların sayısı elektriksel iletkenliğe, bununla birlikte performansa da etkimektedir.

- Çalışmamız neticesinde yapılan tasarımın 8 Hz 4,5 V uygulandığı durumda en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Sonuç olarak karıştırıcı tasarımı yapılırken boyut, hız, uygulanan frekans ve gerilim değerlerinin karışmaya etkisinin istenilen düzeyde olduğundan emin olmak üzere nümerik çözümlerin yapılmasının faydalı olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 3

Semboller

μ_{eo} (m ² /V.s)	Elektroosmotik mobilite
ε_0 (F/m)	Vakum dielektrik sabiti
ε_r (-)	Akışkana ait dielektrik katsayısı
η (kg/m.s)	Akışkan vizkozitesi
ζ (V)	Zeta potansiyeli
E (V/m)	Elektrotlara uygulanan elektriksel potansiyel fark
ρ (kg/m ³)	Yoğunluk
U (m/s)	Akışkan hızı
D_h (m)	Hidrolik çap
σ (-)	Karışma indeksi
C (mol/m ³)	Konsantrasyon

Etik Kurul Onayı (Ethical Commttee Approval)

Bu çalışmada etik kurul onayı gerektiren insan veya hayvan denekleri kullanılmamıştır. Araştırma, kamuya açık veri setleri, literatür taramaları veya teorik analizler üzerinden yürütülmüştür. Etik kurallar gereği, araştırma sürecinin her aşamasında akademik dürüstlük ve bilimsel etik kurallara tam uyum sağlanmıştır. Bu nedenle, etik kurul onayı gerekmemiştir.

Yazar Katkıları (Author Contributions)

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) M.B.A. (%50) – S.Y. (%50)

Veri Toplama (CRediT 2) M.B.A. (%60) – S.Y. (%40)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) S.Y. (%50) – A.K. (%50)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) M.B.A. (%60) – S.Y. (%40)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) M.B.A. (%40) – S.Y. (%30) – A.K. (%30)

Finansman (Financing)

Çalışma herhangi bir kurum/kuruluş tarafından finanse edilmemiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarların bu çalışma için beyan ettikleri herhangi bir çıkar çatışması yoktur. (The author has no conflicts of interest to disclose for this study.)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Desteklemiyor.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] S. Jeong, J. Park, J.M. Kim, S. Park, Microfluidic mixing using periodically induced secondary potential in electroosmotic flow, *Journal of Electrostatics*. 69 (2011), 429–434. doi:10.1016/j.elstat.2011.06.001.
- [2] X. Jia, B. Che, G. Jing, C. Zhang, Air-bubble induced mixing: A fluidic mixer chip, *Micromachines*. 11 (2020), 1–9. doi:10.3390/mi11020195.
- [3] P. Modarres, M. Tabrizian, Phase-controlled field-effect micromixing using AC electroosmosis, *Microsystems and Nanoengineering*. 6 (2020). doi:10.1038/s41378-020-0166-y.
- [4] K. Du, W. Liu, Y. Ren, T. Jiang, J. Song, Q. Wu, Y. Tao, A high-throughput electrokinetic micromixer via AC field-effect nonlinear electroosmosis control in 3D electrode configurations, *Micromachines*. 9 (2018). doi:10.3390/mi9090432.
- [5] G. Cai, L. Xue, H. Zhang, J. Lin, A review on micromixers, *Micromachines*. 8 (2017). doi:10.3390/mi8090274.
- [6] S. Dong, P.F. Geng, D. Dong, C.X. Li, Mixing enhancement of electroosmotic flow in microchannels under DC and AC electric field, *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 13 (2020), 79–88. doi:10.29252/jafm.13.01.30063.
- [7] Y. Ren, W. Liu, Y. Tao, M. Hui, Q. Wu, On AC-field-induced nonlinear electroosmosis next to the sharp corner-field-singularity of leaky dielectric blocks and its application in on-chip micro-mixing, *Micromachines*. 9 (2018). doi:10.3390/mi9030102.
- [8] X. Gao, Y. Li, Simultaneous microfluidic pumping and mixing using an array of asymmetric 3D ring electrode pairs in a cylindrical microchannel by the AC electroosmosis effect, *European Journal of Mechanics, B/Fluids*. 75 (2019), 361–371. doi:10.1016/j.euromechflu.2018.10.008.
- [9] H.Y. Wu, C.H. Liu, A novel electrokinetic micromixer, *Sensors and Actuators, A: Physical*. 118 (2005), 107–115. doi:10.1016/j.sna.2004.06.032.
- [10] Y. Deng, T. Zhou, Z. Liu, Y. Wu, S. Qian, J.G. Korvink, Topology optimization of electrode patterns for electroosmotic micromixer, *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 126 (2018), 1299–1315. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.06.065.
- [11] M.B. Okuducu, M.M. Aral, Novel 3-D T-shaped passive micromixer design with Helicoidal Flows, *Processes*. 7 (2019). doi:10.3390/pr7090637.
- [12] M. Rafeie, M. Welleweerd, A. Hassanzadeh-Barforoushi, M. Asadnia, W. Olthuis, M.E. Warkiani, An easily fabricated three-dimensional threaded lemniscate-shaped micromixer for a wide range of flow rates, *Biomicrofluidics*. 11 (2017). doi:10.1063/1.4974904.
- [13] J. Clark, M. Kaufman, P.S. Fodor, Mixing enhancement in serpentine micromixers with a non-rectangular cross-section, *Micromachines*. 9 (2018). doi:10.3390/mi9030107.
- [14] K.-R. Huang, Z.-H. Hong, J.-S. Chang, Microfluidic mixing on application of traveling wave electroosmosis, *European Journal of Mechanics B/Fluids*. 48 (2014), 153–164. doi:10.1016/j.euromechflu.2014.05.010.
- [15] W. Raza, S. Hossain, K.Y. Kim, A review of passive micromixers with a comparative analysis, *Micromachines*. 11 (2020). doi:10.3390/mi11050455.
- [16] F. Ahmed, K.Y. Kim, Parametric study of an electroosmotic micromixer with heterogeneous charged surface patches, *Micromachines*. 8 (2017). doi:10.3390/mi8070199.
- [17] Q. Hu, J. Guo, Z. Cao, H. Jiang, Asymmetrical induced charge electroosmotic flow on a herringbone floating electrode and its application in a micromixer, *Micromachines*. 9 (2018). doi:10.3390/mi9080391.
- [18] T. Zhou, H. Wang, L. Shi, Z. Liu, S. Joo, An enhanced electroosmotic micromixer with an efficient asymmetric lateral structure, *Micromachines*. 7 (2016), 218. doi:10.3390/mi7120218.

- [19] H. Jalili, M. Raad, D.A. Fallah, Numerical study on the mixing quality of an electroosmotic micromixer under periodic potential, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 234 (2020), 2113–2125. doi:10.1177/0954406220904089.
- [20] Roache, P.J., K. Ghia, and F. White, Editorial policy statement on the control of numerical accuracy, *ASME Journal of Fluids Engineering*. 108 (1986) 2.
- [21] Shakhawat Hossain, Kwang-Yong Kim, Mixing analysis in a three-dimensional serpentine split-and-recombine micromixer, *Chemical Engineering Research & Design*. 100 (2015), 95-103.
- [22] F. Pennella, M. Rossi, S. Ripandelli, M. Rasponi, F. Mastrangelo, M. Deriu, L. Ridolfi, C. Kähler, U. Morbiducci, Numerical and experimental characterization of a novel modular passive micromixer, *Biomedical Microdevices*. 14 (2012), 849-862.

Hava LiDAR Verilerininin Basit Üçgen Düzensiz Ağ Algoritması ile Filtrelenmesi

Fırat URAY^{1*}  Abdullah VARLIK¹ 

¹ Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 10.05.2024
Kabul Tarihi: 25.07.2024
Yayın Tarihi: 31.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Uzaktan Algılama,
Nokta Bulutu,
LiDAR,
Filtreleme,
Sınıflandırma.

ÖZET

Son yıllarda havadan ve karadan lazer tarama sistemleri jeo-uzamsal bilgi elde etmek için giderek daha popüler hale gelmiştir. Yüksek kaliteli 3B nokta bulutları çok çeşitli uygulamalar için kullanılmakta olup sayısal arazi modelleri (SAM) bu ürünlerden birini temsil etmektedir. Light Detection and Ranging (LiDAR) verileri, planlama uygulamalarının temel unsurları olan sayısal yükseklik modellerinin (SYM) üretilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. LiDAR nokta bulutlarından zemin dışı nesnelerin çıkarılması, DTM üretim iş akışının ana sorunudur. Üçgenleştirilmiş düzensiz ağ (DÜA) yoğunlaştırma, LiDAR filtreleme algoritmaları arasında klasik bir tekniktir. Bu çalışmada, klasik DÜA yoğunlaştırmadan türetilen basit DÜA yoğunlaştırma (sTIN) adlı basit bir filtreleme algoritması önerilmiştir. sTIN'in performansı, uyarlanabilir üçgenleştirilmiş düzensiz ağ, basit morfolojik filtre ve geliştirilmiş aşamalı DÜA yoğunlaştırma olmak üzere üç filtre ile test edilmiştir. Önerilen algoritmanın ortalama tip I hata oranı %5,6, ortalama tip II hata oranı %10,42 ve ortalama toplam hata oranı %8,2'dir. Ayrıca, algoritmaların güçlü ve zayıf yönleri, karesel ortalama hata (KOH) değerleri ve SAM'ların görsel analizleri açısından incelenmiştir.

Filtering Airborne LIDAR Data Using Simple Triangulation Irregular Network

Article Info

Received: 10.05.2024
Accepted: 25.07.2024
Published: 31.12.2024

Keywords:

Remote Sensing,
Point Cloud,
LiDAR,
Filtering,
Classification.

ABSTRACT

In recent years, airborne and terrestrial laser scanning systems have become increasingly popular for obtaining geospatial information. High-quality 3D point clouds are used for a wide range of applications, with digital terrain models (DTMs) representing one of these products. Light Detection and Ranging (LiDAR) data is widely used in producing digital elevation models (DEM), which are fundamental elements of planning applications. Removing non-ground objects from LiDAR point clouds is the main problem of the DTM production workflow. Triangulated irregular network (TIN) densification is a classical technique among LiDAR filtering algorithms. In this study, a simple filtering algorithm entitled simple TIN densification (sTIN) is proposed, which is derived from classic TIN densification. The performance of sTIN is tested with three filters, namely, the adaptive triangulated irregular network, the simple morphological filter and the improved progressive TIN densification. The proposed algorithm has an average type I error rate of 5.6%, an average type II error rate of 10.42% and an average total error rate of 8.2%. In addition, the strengths and weaknesses of the algorithms are examined with regards to the root-mean-square error (RMSE) values and visual analyses of DTMs.

To cite this article:

Uray, F. & Varlık, A. (2024). Filtering airborne LIDAR data using simple triangulation irregular network. *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, 6(3), 495-511. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.61>

*Sorumlu Yazar: Fırat Uray, furay@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

INTRODUCTION

Surveying technologies rapidly grown in last twenty years and contains various aspects of map making from using different approaches for geographical information systems and cadastre applications [1-2] to create 3D models using images [3] to analyzing land cover and land use with satellite images [4]. LiDAR technology allows the creation of spatial twins of any region, from small to large scale. Airborne LiDAR technology can acquire high-precision and high-density point cloud data of terrain [5]. The point cloud is the most basic form of LiDAR data and which is composed of three-dimensional points and associated attributes, like the intensity of points or color information when laser scanners are integrated with digital cameras. The generation of high-resolution DEM, which is a detailed representation of the shape of the terrain, is one of the important applications of LiDAR technology [6]. Many filtering methods have been proposed by researchers to retain terrain. Zhang et al. created ALDPAT (Airborne LiDAR Data Processing and Analysis Tools), which is open-source software used to filter LiDAR point cloud data with different five algorithms. LiDAR filtering methods can be classified into four categories; triangular irregular network (TIN) based, morphology based, slope based, and segmentation based.

One of the most widely used and reliable algorithms for ground filtering is the triangulation-based method from Axelsson known as the adaptive triangulated irregular network (ATIN) [7-8]. The ATIN uses seed points in the original point cloud data and a TIN surface is built based on the seed points. Other points are tested against these triangles with parameters that are the angle and distance between the point and triangle. If the parameters of the algorithm are below the thresholds, the algorithm iteratively adds points [9-11]. Out of eight algorithms tested, Axelsson's algorithm performed the best for twelve out of fifteen samples [12]. The ATIN's excellent performance can be attributed to its ability to retain and handle all point cloud data prior to producing a DTM. Recent attempts to surpass the performance of the ATIN method have had mixed results [6]. A triangulation-based algorithm known as, virtual deforestation (VDF), uses the smoothness of the ground. This method presumes that bare earth is generally made up of smooth surfaces with no sharp corners. Thus, object points are selected among strong curvatures points. This method first generates a TIN model and then creates a point database and converts the TIN model into a grid. The central point of the grid is then allocated the mean value inside the window. The curvature is defined as the elevation difference between the mean value and the corresponding value in the point database that was converted from the model. Two threshold values are given, one of these is to filter these points above the terrain and the other one is for removing negative outliers. The algorithm labels the non-ground points as object and builds a new TIN with the filtered ground points. This process continues until no more points are removed [11]. Zhao's proposed algorithm improves the selection of potential ground points by applying morphological operations and increases the performance of the classic TIN algorithm [12].

Furthermore, many LiDAR filtering algorithms have been developed based on mathematical morphology, which utilizes object shapes or shape measurements. Experiments on LiDAR data have shown that a morphological filter can remove non-ground objects [13]. Kilian used a progressive morphological filter on a gridded surface model, which was based on a sequence of opening operations. [14]. This method was later developed into a working algorithm by [15]. Chen proposed an improved technique that searches for large features to identify the potential non-ground points. Chen's algorithm was tested against Axelsson's algorithm with fifteen ISPRS sample LiDAR point cloud datasets and showed improved results for seven of fifteen samples [16]. Many other improved versions of progressive morphological algorithms have been proposed [17-18]. An alternative method based on geodesic transformations of mathematical morphology has also been proposed [19].

Another morphological-based algorithm is the simple morphological filter (SMRF) from Pingel.

This method has been adapted from a technique used by the methods of Zhang and Chen. This algorithm consists of four stages. The first stage includes the generation of the minimum surface from the lowest points within each cell. Applying a filter to the minimum surface is the second step of the SMRF process. In this stage, a vector of window sizes based on the supplied maximum is created. The distinctive feature of the SMRF arises in this stage. The window size is increased by one pixel per iteration up to the maximum iteration value defined by the user. The user defined slope tolerance value multiplied by the window radius and the cell size of the grid is equal to an elevation threshold value. A disk-shaped element is used to apply a morphological opening to the minimum surface to creating the next surface. The radius of this element is equal to the current window size. If the elevation difference of any of the cells between the minimum surface and the next surface is greater than the threshold, they are flagged as object cells. The next surface acts as the “minimum surface” for the next iteration. For each window size in the vector, this process continues. In the third stage, a binary grid is generated from the results of the iteration process. Each cell is classified as being bare earth or an object. A morphological mask is applied to the minimum surface to clear object cells. A provisional DEM is produced from the bare earth cells and SMRF uses advanced image inpainting techniques to interpolate the empty cells. The last step of the SMRF is the identification of the bare-earth and object points based on their relation to the interpolated DEM. The distance difference between each LiDAR point's elevation and the temporary DEM is calculated, and the result is compared to the threshold that was set. Pingel suggested one more parameter, namely the transforming threshold to a slope-dependent value to increase the threshold on steep slopes. The elevation threshold is then equal to a fixed distance plus the slope of the DEM at each point. The parameters and detailed description of the SMRF can be found in Pingel's paper [6].

Vosselman et al. proposed the first slope-based filtering algorithm. The slope between two neighbouring points is tested against the pre-defined threshold. If the slope value is greater than the threshold, one of the subject points is classified as a non-ground point [20]. However, this method does not show good performance when applied on rough terrain, such as cliffs. Susaki improved Vosselman's technique by applying changeable threshold values based on terrain types [21]. A multi-directional ground filtering algorithm (MGF) has been proposed by Meng. MGF uses the advantages of directional scanning, and it considers the slopes for neighbouring pixels in up to four directions and the elevation difference between the pixels [22]. Chen proposed a multi-resolution hierarchical classification algorithm that filters LiDAR point cloud in levels of hierarchy. This method is designed to directly and iteratively filter the point cloud data using thin plate spline-based surface interpolation. However, this method suffers from difficulties in filtering non-ground points in steep slope areas [17].

Segmentation-based methods consist of two main processing steps. Firstly, some segmentation techniques are applied to the data, such as clustering point clouds. Secondly, traditional filtering algorithms are used on the segmented data. This kind of filtering method generally performs better performance than other techniques if segmentation step is sufficiently successful. [9] proposed a region growing-based filtering algorithm based on linear prediction.

An improved progressive TIN densification filtering algorithm (IPTD) combined with a morphological method is one of the algorithms we use in this study to compare our method. The IPTD is derived from Axelsson's technique for better filtering performance for complex forested sites [18]. IPTD was created to address the considerable obstacle that for LiDAR filtering algorithms, particularly in places that are both environmentally and topographically complex. The algorithm focuses on three aspects: (1) employing the morphological method to locate possible ground seed points rather than the grid's lowest points; (2) using a buffer zone to obtain ground seed points to improve the quality of TIN to avoid the formation of unsuitable triangles; (3) the use of upward densification after downward densification to improve the ability of the IPTD to deal with slope variations [18].

In recent years, the application of machine learning techniques to image classification and recognition tasks has been highly successful. Researchers have progressively turned to employing them for the analysis of 3D point clouds. For these approaches, various supervised techniques have been adopted. Discriminant features and representative samples are two essential components that have a major influence on how effectively standard supervised classification performs. Unfortunately, the former has received relatively little attention in the published studies, as most of them validate their performances using benchmark point clouds, where the labels of the training data are typically available. However, an exception to this trend is the work of Feng and Guo [23], which presents an automatic method for sample selection that utilizes 2D land cover maps and a constructed topological graph. For the feature selection, geometric and eigen-based features are commonly used. For a representation of the local properties of points, point-based and segment-based methods extract properties based on 3D covariance matrix including 3D coordinates of points clusters.

Zhang et al. utilized a support vector machine (SVM) algorithm to classify point clouds with 13 features [24]. Lopatin et al. employed a random forest approach to classify LiDAR point clouds [25]. Niemeyer applied conditional random fields, while Shapovalov applied Markov random fields to address the point cloud classification problem [26-27]. Jahromi tested their artificial neural network-based algorithm against four samples and found an improvement over Axelsson's technique in three cases [28]. More researchers have proposed popular deep learning techniques to solve filtering problems [29-31].

In this study, we adapted Axelsson's approach to our simple TIN densification (sTIN) algorithm. In the classic PTD algorithm, every point classified as a ground point is included in the TIN construction process. Unlike Axelsson's technique, our algorithm triangulates only the lowest points in each grid instead of all classified ground points in the last iteration. In addition, the parameters are calculated only when the grid size decreases instead of at the end of each iteration. Therefore, the memory occupation decreases, and the processing capability of the algorithm increases. Before the selection of seed points, a noise-point filtering process was applied to the data to avoid false selection of ground points. Thus, it allows for the creation of a better initial surface for the start of the filtering process. Axelsson's mirroring technique was also added to the sTIN filter for the detection of non-ground points on the edge of the hillsides.

MATERIALS AND METHODS

Principle of sTIN

In this study, the sTIN filter was developed with two main differences from the classic TIN densification algorithm. The first difference is in the method of constructing the TIN. In sTIN, instead of using all obtained ground points in the last iteration, like the ATIN technique, classified ground points are divided into grids again and only the lowest points in the grids are used for reconstructing the next TIN in every iteration. The second difference is selection method of ground points. The ATIN technique uses changeable threshold values during the filtering process whereas our proposed method uses constant threshold values until the grid size is changed. The first step of sTIN is to remove the outliers from the entire dataset before beginning the filtering process. Outliers can be extreme points that are generated from the scanner, and it affects the selection of the lowest points in the cells. This process is necessary to improve filtering performance. LiDAR data is divided into 10-m grids and the average heights in the grid cells were used to generate a second-order polynomial surface for this purpose. Our decision to apply 10-m grids was related to generating time of the polynomial surface. As the grid size decreases, the number of points used to generate the polynomial surface increases, so the processing time also grows. To better represent topography, the grid size can be reduced when applying the outlier point filter algorithm on sloping land datasets. For the datasets used in this study, a 10-m grid size is

sufficient. The generation time of the surface is the main reason behind the selection of the second-order polynomial technique. According to [32], the performance of this method was 72% and is sufficient for filtering out outlier points from point cloud data. Outlier points can be determined by the distance between points and the polynomial surface. Two different predefined threshold values are used for the rural and urban areas, 5m and 10m, respectively [33]. The points that exceed the threshold from below and above the surface are removed from the data. Removing the outliers from the data improves the ground filtering and is a helpful stage for better triangulation from ground points.

The technique then builds a buffer zone to that widens the point cloud's boundaries. The purpose of extending the boundaries is to ensure that each point belongs to a triangle. To achieve this, four points at the corners of study area are created with distance of 10m from edges of LiDAR data and adding these points in the process of generating triangles. After that, all point cloud data is divided into grids with a grid size that is larger than the maximum object size in the data. That grid size also named initial grid size. The maximum object size value should be close to the size of the largest building in the point cloud. The initial triangulation is generated by classifying all the grids' lowest points as ground points. Other non-ground points are tested with thresholds. Points that belong to the triangles are not tested and accepted as ground points. Thresholds are estimated from histogram values at the end of each iteration in classic ATIN algorithm. In sTIN, the thresholds are constant until the grid size is decreased. Thresholds are recalculated from histogram values when grid size becomes smaller than the last one. Until the final grid size is 2m, next grid size will be halved. The triangulation process is repeated for each grid size and a new TIN is created. The difference between the number of ground points from the previous triangulation and the next triangulation was calculated. If the ratio of the difference to the total number of measured points in the data is below the constant threshold, the filtering process is stopped. This threshold is set to 0.001 for our technique. The workflow of proposed technique is displayed in Figure 1.

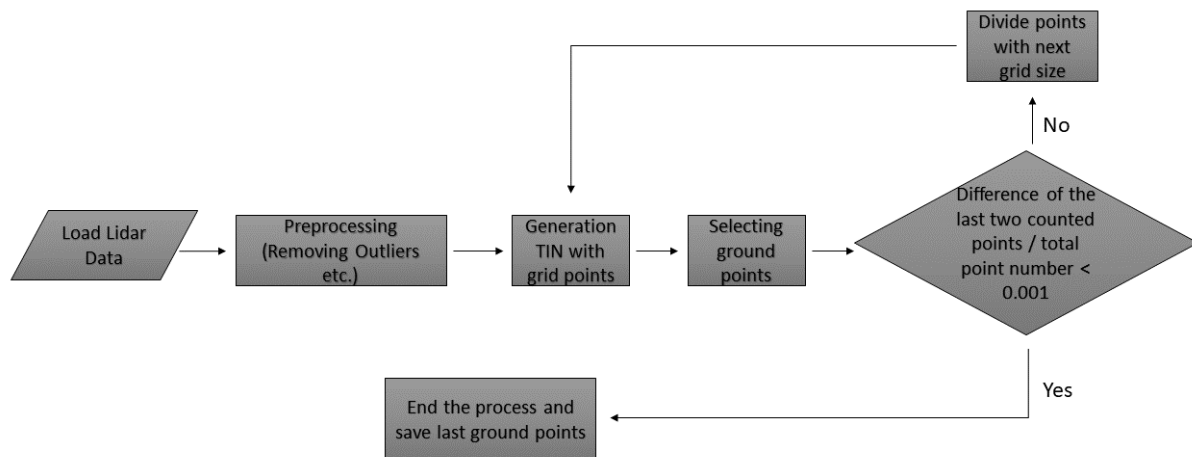


Figure 1
Flow chart of the proposed algorithm

Four parameters are used for the algorithm, namely, grid size, maximum terrain angle, distance and angle between points and triangle nodes. The optimum parameters can be estimated according to the histograms in Figure 2. The histograms give the threshold values for distance and angles. These threshold values can be chosen by the operator considering the terrain types and the sharp jump values on the graph. Maximum terrain angle or slope is determined by the ratio between distance and height of the lowest and highest points in the study area. The distance (d) and angle (α , β , γ) parameter are referred range between the triangle surface and potential ground points. The relationship among triangle and the points is given in Figure 3. The obtained ground points in the last iteration are divided into grids again. Thereafter, each lowest point in the grids is used for the construction of the TIN instead of using all

ground points. This is the main difference between sTIN and the ATIN algorithm. This technique may help to reduce the processing time.

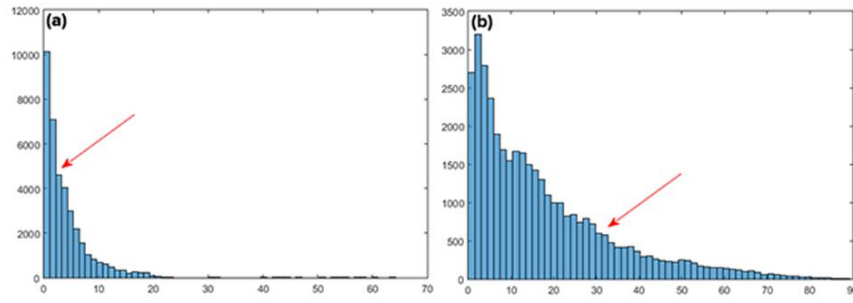


Figure 2

Histogram of (a) the distance between the points (x-axis) and the surface of triangle and (b) maximum angle between points and triangle nodes (x-axis) for sample dataset. The number of points is shown along the y-axis. Selected threshold values are marked on the graphic.

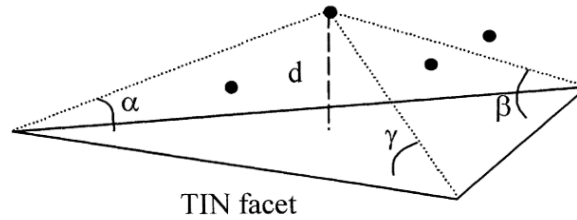


Figure 3

The distance (d) and angle (α, β, γ) parameters on the triangle surfaces [8]

In the classic ATIN, many object points that are close to the ground can be easily classified wrongly as ground points. This is because the angle between the object point and the triangle remains below the threshold. The ATIN algorithm has a weakness while classifying points on hillsides because points on the high slopes can easily exceed the threshold values. To overcome this problem, a mirroring technique is used in the triangles, which exceed predetermined maximum terrain angle for filtering.

The basis of the technique is to mirror original candidate point, $P_c (X_c, Y_c, Z_c)$, by the nearest point of the triangle, $P_n (X_n, Y_n, Z_n)$, which is located on the slope. The mirror point, $(X_{\text{mirror}}, Y_{\text{mirror}}, Z_{\text{mirror}})$, is then also tested with the distance and angle parameters of the algorithm (Equations 1-3) [8]. If the parameters of the mirror point are below the threshold, this candidate point is classified as a ground point. This technique is shown in Figure 4.

$$X_{\text{mirror}} = 2X_n - X_c \quad (1)$$

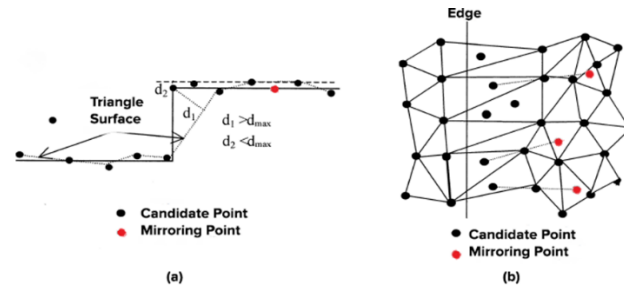
$$Y_{\text{mirror}} = 2Y_n - Y_c \quad (2)$$

$$Z_{\text{mirror}} = Z_p \quad (3)$$

Study Area

A total of fifteen benchmark LiDAR point cloud datasets were provided by ISPRS. LiDAR filtering algorithms may show variable performance when applied to different types of terrain [13]. Therefore, five of the benchmark datasets, which represent different types of terrain, were tested with the sTIN filter in this study (Table 1). The filtered ground points for the test datasets were already provided by ISPRS for the performance assessment of filtering accuracy.

The datasets were collected with an Optech ALTM system in 2000. The average point density and spacing are 1 points/m² and 0.97m, respectively. The benchmark airborne LiDAR datasets along with


Figure 4

(a) Profile view of the slope and (b) mirroring by the nearest triangle points

the manually collected reference data for ground points were downloaded from a web portal [34] DEMs of the benchmark point clouds are shown in Figure 5.

Table 1

Attributes of test datasets

Data Set	Size	Terrain type	Slope	Elevation Range (m)
SAMP11	134 x 303 m	High slope, buildings and vegetation on the hill.	Hillside	295 - 404
SAMP12	205 x 270 m	Partially flat, contain building and road.	Low	325 - 357
SAMP23	150 x 206 m	Flat, contain nested large buildings.	Low	284 - 327
SAMP52	450 x 300 m	A River and flats with steep slope.	High	249 - 347
SAMP71	400 x 220 m	Brigde and flat terrain.	Flat	293 - 310

Experiments and performance analysis

As discussed above, the proposed filtering algorithm requires four parameters. These parameters are set to the same values for both the triangulation-based filters and the morphological filter. For SMRF, Pingel's optimized parameters were used, as shown in Table 2 [6]. First parameter of SMRF is slope tolerance that governs the elevation threshold that is after used to calculate non-ground points. Elevation threshold used to detect ground or non-ground points is calculated by multiplying the given slope tolerance by the window radius and cell size. Windows radius is used applying morphological operations in SMRF algorithm. In addition, the same angle threshold and suggested threshold values for other parameters were used for the IPTD algorithm [10]. IPTD uses nearest points (k) to identify non-ground points in initial potential ground points. These nearest points then used to fit a local plane (F) on the potential points. Nearest points and distance between local plane and each point are used to calculate the parameter NormaError (r). All the parameters were determined by the operator's judgement on the LiDAR data, rather than by a trial-and-error method, which is meaningful for the various types of applications [35].

A prototype software for filtering LiDAR datasets was developed on a computer with Intel Core i5-6500 3.2 GHz CPU and 16 GB RAM using Matlab (The Mathworks) under the Windows 10 operating system.

Metrics for Performance Assessment

The RMSEs of DTMs generated from the ground points with a resolution of 1m were used to evaluate the volumetric quality of the filtered data. DTMs were created using Kriging interpolation algorithm. Many factors influence the creation of a DTM, including the interpolation method, resolution, and sampling error. Additional information about these parameters can be found in [36], although it is outside the scope of this study.

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - \hat{Z}_i)^2}{n}} \quad (4)$$

The RMSE was then calculated from the deviations of elevation values in a filtered DTM (Z_i)

from its reference DTM ($\hat{Z}_i$). The total number of points in the study area is represented by (n). Using knowledge of the terrain and accessible aerial photos, manual filtering was used to create the reference data [12]. The literature reports that the accuracy of a DTM produced by LiDAR is in the order of ± 15 cm [37-39]. When filtering LiDAR data, there are two common errors that can be committed. One is to classify ground points as non-ground measurements and the other is to select non-ground points as ground measurements. The former is known as an omission error (type I) while the latter is a commission error (type II) [40]. In addition, in this paper, we used RMSE values for the performance assessment. Moreover, omission and commission errors are represented by deviations in RMSEs. Both positive and negative volumetric errors can result from omission errors [41]. Airborne LiDAR's vertical accuracy in low-vegetative areas (such as open terrain or concrete) ranges from 0.15 to 0.25 m RMSE, according to Eq. (4) [42–46], with normally distributed errors (mean error approaching zero).

Table 2
Selected parameters for ATIN, sTIN, SMRF and IPTD

	SAMP11	SAMP12	SAMP23	SAMP52	SAMP71
ATIN and sTIN					
Initial Grid Size (m)	30	30	40	35	25
Max. Terrain Slope (%)	17	3	15	10	5
Distance (m)	2	2	4	2.4	4
Angle (°)	30	45	45	25	20
SMRF					
Slope Tolerance (%)	20	18	27	13	13
Windows Radius (m)	16	12	13	13	15
Elevation Threshold (m)	0.45	0.30	0.50	0.25	0.75
Scaling Factor	1.20	0.95	0.90	2.20	0.00
IPTD					
k Nearest	300	300	600	200	300
NormaError (r)	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8
Angle (°)	30	45	45	25	20
Distance (m)	2	2	1.5	2.4	3

Visual Analyses

For the Sample11 dataset, the ATIN shows a partially good performance in terms of visual evaluation, as shown in Figure 6. Points that belong to the vegetation layer were detected reasonably well on the high slope; nevertheless, on the hillside, it was hard to identify nested buildings for the algorithm. The SMRF algorithm also shows a close performance to the ATIN algorithm. As can be seen in Figure 7, vegetation layer on the high slope was filtered acceptably but some nested buildings could not be identified. Some of the buildings on the hillside were not detected completely while the vegetation layer was filtered successfully by sTIN. Our method was also not able to remove all the ditch slopes on the edge of the roads. sTIN achieves highest type I and type II error rates, 10.9% and 22%, respectively (Table 3). The total error rates of ATIN, sTIN, SMRF and IPTD for this dataset are 10.76%, 15.69%, 8.28 % and 13%, respectively.

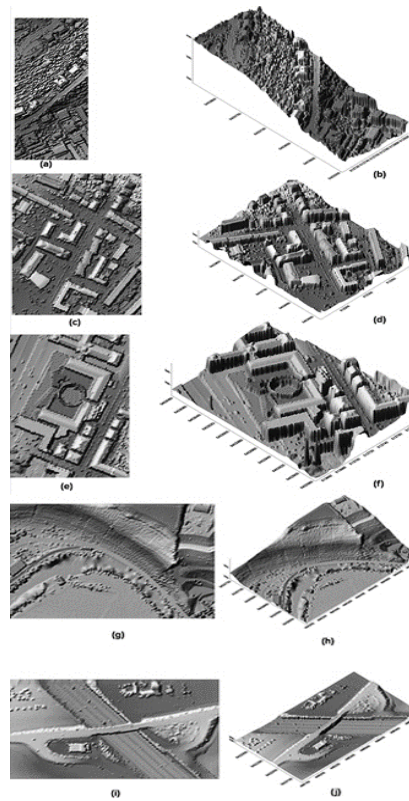


Figure 5

Datasets are displayed in shaded model maps of DEMs with cell size 1m. (a) SAMP11 in 2d (b) SAMP11 in 3d (c) SAMP12 in 2d (d) SAMP12 in 3d (e) SAMP23 in 2d (f) SAMP23 in 3d (g) SAMP52 in 2d (h) SAMP52 in 3d (i) SAMP71 in 2d (j) SAMP71 in 3d

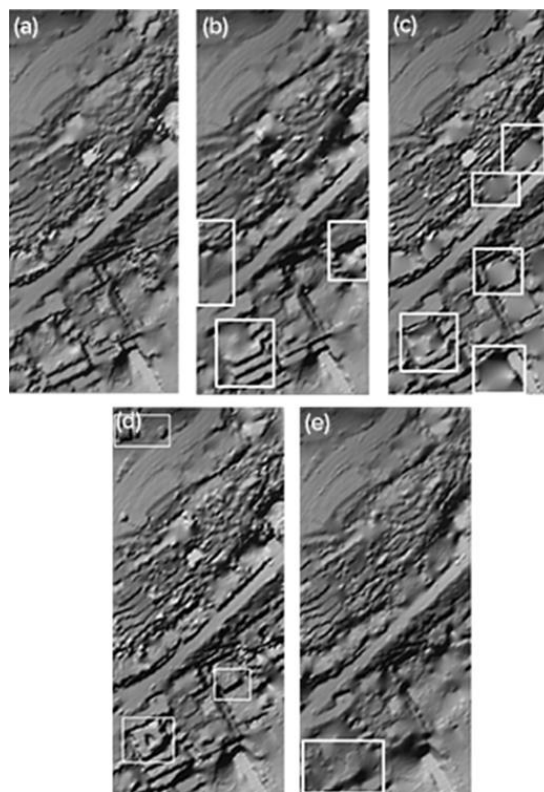


Figure 6

DTMs produced for SAMPLE11 using filtered data. DTMs from reference data are shown in (a) and DTMs from test filters are shown in (b) ATIN algorithm, (c) SMRF, (d) IPTD, (e) sTIN algorithm.

Sample12 contains a partially flatter surface than other datasets as shown in Figure 7. It has different sizes and types of buildings with a high density of cars. This means that there are relatively small elevation differences between ground and non-ground points. The SMRF was able to identify and filter buildings. However, the SMRF and IPTD were not able to filter outliers in the dataset, such as the other two algorithms. In addition, IPTD was the only algorithm that could not filter out the building in the north-east area of the dataset and resulted in a larger RMSE error. The ATIN and sTIN partially smoothed the abrupt slope changes in the terrain located in the north-east area of the dataset. The SMRF showed the best performance with type I and type II error rates of 3% and 7.5%, respectively (Table 3). The total error rates of ATIN, sTIN, SMRF and IPTD for this dataset are 3.25%, 5.3%, 2.92% and 9%, respectively. In terms of the RMSE values of DTMs, decent results were achieved by applying four filters to this dataset, as shown in Figure 11.

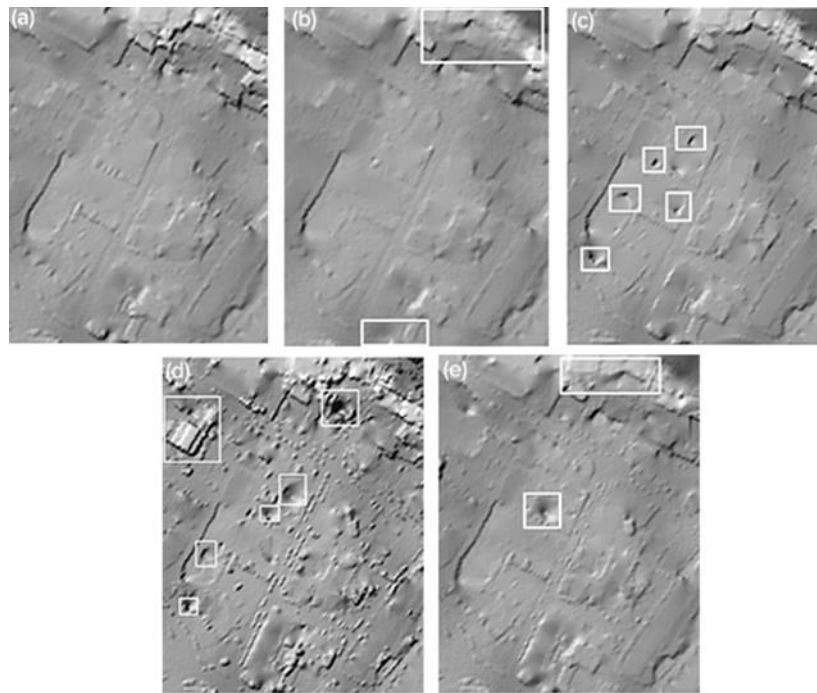


Figure 7

DTMs produced for SAMPLE12 using filtered data. Visible filtering errors are shown in the white boxes. DTM from reference data are shown in (a) and DTMs from test filters are shown in (b) ATIN, (c) SMRF, (d) IPTD, (e) sTIN

Dataset Sample23 has nested buildings in an urban area. The SMRF, IPTD, and sTIN filtered the sloping region located in south-east area of the dataset reasonably well. Furthermore, these algorithms maintain the surface of the terrain. The ATIN failed to keep the true elevation of the terrain. While the SMRF, IPTD and sTIN were successfully filtered outliers, ATIN was not able to remove all outlier points. ATIN and SMRF have a capability to identify and remove the vehicles on the roads but IPTD and sTIN were failed to detect those objects. The total error rates of ATIN, sTIN, SMRF and IPTD for this dataset are 4%, 11.5%, 4.61% and 7%, respectively (Table 3). IPTD achieved the best RMSE value in four algorithms with 0.71m, as shown in Figure 8.

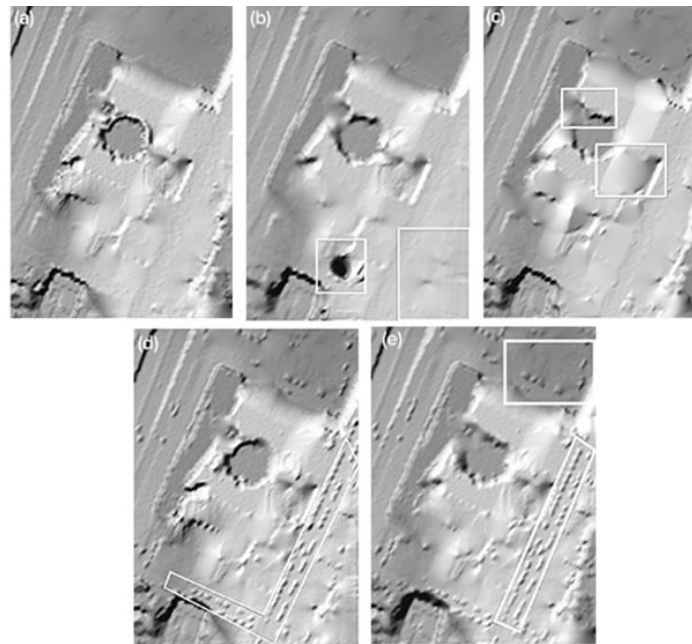


Figure 8

DTMs produced for SAMPLE23 using filtered data. Visible filtering errors are shown in the white boxes. DTM from reference data are shown in (a) and DTMs from test filters are shown in (b) ATIN, (c) SMRF, (d) IPTD, (e) sTIN

Dataset Sample52 is located in a riverside area and contains a large slope. There is a terraced field with large elevation differences located in east area and the vegetation layer near the river in the south. Figure 9 shows the reference DTM and the filtered DTM by four filters. While sTIN filtered the vegetation and trees on the riverside very well, ATIN, SMRF, and IPTD could not perform as well as our algorithm. In this dataset, the TIN-based filters showed better performance than the morphological-based filter. At the start of the slope, sTIN and SMRF were able to detect and remove the vegetation surface, but the same thing cannot be said for ATIN filter. The SMRF was the only algorithm that could not identify the building that is located on the hill. Other algorithms were able to identify and remove the building. IPTD achieved best RMSE value in this dataset than all other techniques. In addition, sTIN has achieved better performance than the SMRF algorithm in terms of RMSE values. The total error rates of ATIN, sTIN, SMRF and IPTD for this dataset are 3.07%, 6%, 3.82% and 4%, respectively (Table 3).

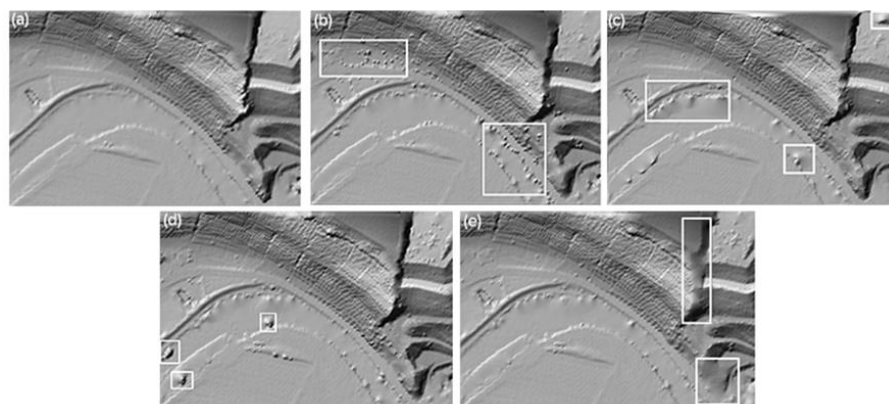


Figure 9

DTMs produced for SAMPLE52 using filtered data. Visible filtering errors are shown in the white boxes. DTM from reference data are shown in (a) and DTMs from test filters are shown in (b) ATIN, (c) SMRF, (d) IPTD, (e) sTIN

As can be seen in Figure 11, among the dataset, the most accurate filtering results were obtained from Sample71. This dataset's primary advantage is that it lacks a thick covering of vegetation. There is an overpass and a few buildings that need to be removed. ATIN, IPTD, and sTIN performed well with this dataset and resulted in smaller RMSEs than the SMRF algorithm. The ATIN and SMRF were not able to identify only small vegetation on the edge of the road. sTIN successfully filtered the building near the overpass, but IPTD and sTIN failed to remove the building on the flat terrain that located in the north-east area of the dataset, as can be seen in Figure 10. The total error rates of ATIN, sTIN, SMRF and IPTD for this dataset are 1.63%, 4.3%, 1.65% and 2%, respectively (Table 3).

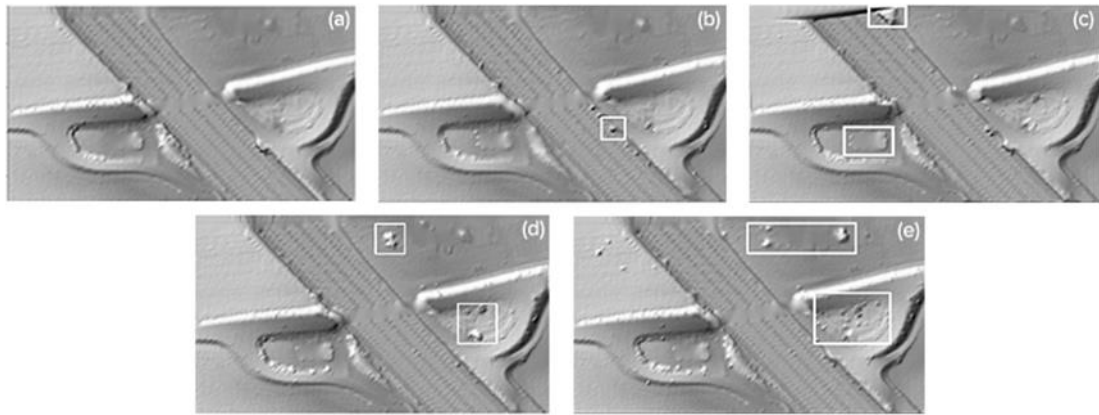


Figure 10

DTMs generated from filtered data for SAMPLE71. Visible filtering errors are shown in the white boxes. DTM from reference data are shown in (a) and DTMs from test filters are shown in (b) ATIN, (c) SMRF, (d) IPTD, (e) sTIN

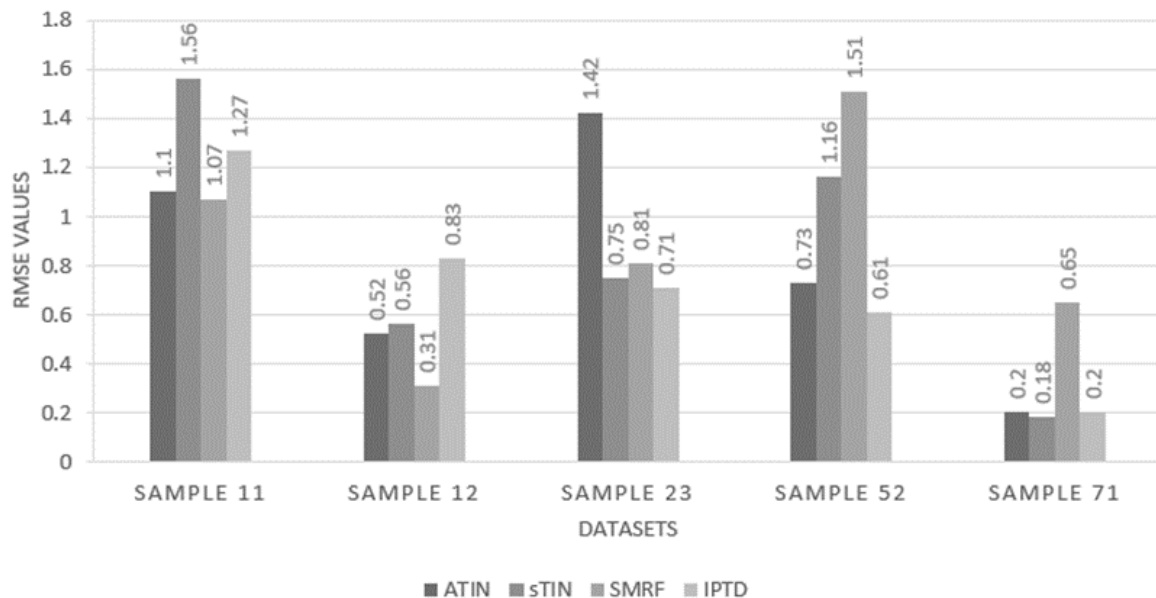


Figure 11

RMSE values (m) of DTMs for each filtering algorithm respectively

Table 3
Accuracy of the sTIN algorithm

			Reference Data				
Classification results			Ground	Object	Identified	Error	Total
	Sample11	Ground	18211	2390	20601	10.9%	38010
		Object	3574	13835	17409	22%	
	Sample12	Ground	24761	826	25587	3%	52119
		Object	1930	24602	26532	7.5%	
	Sample23	Ground	11515	1189	12704	9%	25095
		Object	1708	10683	12391	14.3%	
	Sample52	Ground	19319	559	19878	2.7%	22474
		Object	792	1804	2596	33.5%	
	Sample71	Ground	13349	151	13500	1%	15645
Object		526	1619	2145	29.7%		

RESULTS

The main goal of this study was to show the performance of the classic ATIN algorithm when the TIN construction method changes. For this purpose, the sTIN uses only initial ground points that were selected from the lowest point in each grid for triangulation process instead of using all ground points at each iteration. In addition, the sTIN includes a different approach from ATIN, using fixed parameters to remove outlier LiDAR points. The elimination of outlier points is a crucial pre-process step to generate the better initial triangulated surface. Nevertheless, the sTIN did not show better filtering results regarding RMSE values than the ATIN algorithm in three out of five datasets. Therefore, the algorithm's processing capacity has been increased and the use of memory has decreased by changing the TIN construction method and setting parameters. Further studies could investigate the utility of this filtering method in larger and density areas. In addition, morphology-based filtering algorithms were proven to be powerful and efficient. However, it is easy to cause misjudgement in protruding terrains [40]. The SMRF resulted in better RMSEs than TIN based algorithms in flat terrain areas. Pingel also reported that the SMRF algorithm is successful even when using a single set of parameters against all samples, suggesting that novice users can achieve good results with it [6].

CONCLUSIONS

Selection of the filtering parameters has a great influence on the removal of non-ground objects. Future work will address the optimizing and add various parameters for better extraction of bare earth surface, especially in dense forest areas. Many studies were carried out for ground surface extraction from dense forests. For generating terrain model in a forested environment, the choice of first return or last return from LiDAR data is still a matter of debate [45-46]. The functionality of filters using slope factors can be increased by using slope information specific to the area being studied. In triangular-based filters, performance can be improved by selecting the first reference ground point from blocks of appropriate size, thereby reducing the distance between the triangle corners. Consequently, classification errors are reduced and processing time improved.

In recent years, machine learning techniques, especially deep learning, showed quite remarkable performance in 3D point cloud segmentation problems. The big drawback of these learning process is that huge datasets are required to be trained, which brings with it the problem of availability of labeled datasets. From the perspective of success of the learning process, it is essential to use a class-balanced dataset. Despite these disadvantages, the success of these techniques has left classical methods behind. Concepts on this technology can be found in review papers [47-48].

Ethical Statement

This work has been derived from first author's MSc thesis titled "*Hava lidar nokta bulutu verileri filtreleme algoritmalarının geliştirilmesi ve performanslarının karşılaştırılması*" under the supervision of Abdullah VARLIK.

Authorship contribution statement

Research Design (CRediT 1) Fırat URAY (%50) – Abdullah VARLIK (%50)

Data Collection (CRediT 2) Fırat URAY (%70) - Abdullah VARLIK (%30)

Research - Data Analysis - Validation (CRediT 3-4-6-11) Fırat URAY (%70) - Abdullah VARLIK (%30)

Writing the Article (CRediT 12-13) Fırat URAY (%100)

Revision and Improvement of the Text (CRediT 14) Fırat URAY (%50) – Abdullah VARLIK (%50)

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- [1] M. A. Sayar, H. Z. Selvi & İ. Buğdaycı, Determination of suruç tent city area by analytic hierarchy method, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 1 (2019), 20–31.
- [2] E. Jonuzi, S.S. Durduran & T. Alkan. North Macedonian cadastre towards cadastre 2034, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 4 (2022), 26-44. doi:10.47112/neufmbd.2022.3.
- [3] M. Erdönmez & A. Varlik. Oblique photogrammetry application and accuracy analysis with unmanned aerial vehicles in built areas, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 2 (2020), 1-11. doi:10.47112/neufmbd.2020.1.
- [4] B. Keleş. & S.S. Durduran. In terms of land use and land cover change using remote sensing technique: case of study in Osmaniye city, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 1 (2019), 32-52.
- [5] Z. Lijian, L. Zulong, L. Yingcheng, X. Yanli, L. Ming, W. Zhuolei & L. Xiaolong. Application and Analyses of Airborne Lidar Technology in Topographic Survey of Tidal Flat and Coastal Zone, *In the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2008, 1–4.
- [6] T.J. Pingel, K.C. Clarke & W.A. McBride. An improved simple morphological filter for the terrain classification of airborne LIDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 77 (2013), 21-30. doi:10.1016/j.isprsjprs.2012.12.002.
- [7] P. Axelsson. Processing of laser scanner data—algorithms and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 54(2-3) (1999), 138-147. doi:10.1016/S0924-2716(99)00008-8.
- [8] Axelsson, P. DEM Generation from Laser Scanner Data Using adaptive TIN Models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 33 (2000), 110-117. doi:10.1016/j.isprsjprs.2005.10.005.
- [9] K. Kraus & N. Pfeifer. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 53 (1998), 193-203. doi:10.1016/S0924-2716(98)00009-4.
- [10] N. Pfeifer, P. Stadler, & C. Briese. Derivation of Digital Terrain Models in The Scop++ Environment. *OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Digital Elevation Models*, 2001, 67-80.
- [11] G. Sohn, & I. Dowman. Terrain Surface Reconstruction by the Use of Tetrahedron Model with the Mdl Criterion. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIV (Pt. 3A)*, 2022, 336–344.
- [12] G. Sithole, & G. Vosselman. Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 59, (2004), 85-101. doi:10.1016/j.isprsjprs.2004.05.004.
- [13] X. Meng, N. Currit, & K. Zhao. Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues. *Remote Sensing*. 2(10) (2010), 833-860. doi:10.3390/rs2030833.
- [14] J. Kilian, N. Haala, & M. Englich. Capture and evaluation of airborne laser scanner data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 31 (1996), 383–388.
- [15] K. Zhang, S.C. Chen, D. Whitman, M. L. Shyu, J. Yan, & C. Zhang. A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 41 (2003), 872-882. doi:10.1109/TGRS.2003.810682.
- [16] Q. Chen, P. Gong, D. Baldocchi, & G. Xie. Filtering airborne laser scanning data with morphological methods. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2 (2007), 175-185. doi:10.14358/PERS.73.2.175.

- [17] C. Chen, Y. Li, W. Li, & H. Dai. A multiresolution hierarchical classification algorithm for filtering airborne LiDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 82 (2013), 1-9. doi:10.1016/j.isprsjprs.2013.05.001.
- [18] D. Mongus, N. Lukač, & B. Žalik. Ground and building extraction from LiDAR data based on differential morphological profiles and locally fitted surfaces. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 93 (2014), 145-156. doi:10.1016/j.isprsjprs.2013.12.002.
- [19] Y. Li, B. Yong, P. van Oosterom, M. Lemmens, H. Wu, L. Ren & J. Zhou. Airborne LiDAR data filtering based on geodesic transformations of mathematical morphology. *Remote Sensing*. 9 (2017), 1104. doi:10.3390/rs9111104.
- [20] G. Vosselman. Slope based filtering of laser altimetry data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 33 (2000), Part B3/2, 678-684. doi:10.1016/S0924-2716(98)00009-4.
- [21] J. Susaki. Adaptive slope filtering of airborne lidar data in urban areas for Digital Terrain Model (DTM) generation. *Remote Sensing*. 4(6) (2012), 1804-1819. doi:10.3390/rs4061804.
- [22] X. Meng, L. Wang, J.L. Silván-Cárdenas, & N. Currit. (2009). A multi-directional ground filtering algorithm for airborne LIDAR. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 64 (2009), 117-124. doi:10.1016/j.isprsjprs.2008.09.001.
- [23] C.-C. Feng & Z. Guo. Automating parameter learning for classifying terrestrial LiDAR point cloud using 2D land use maps. *Remote Sensing*. 10 (2018), 1192-1214. doi:10.3390/rs10081192.
- [24] J. Zhang, X. Lin & X. Ning. SVM-based classification of segmented airborne LiDAR point clouds in urban areas. *Remote Sensing*. 5(8) (2013), 3749–3775. doi:10.3390/rs5083749.
- [25] J. Lopatin, K. Dolos, H. J. Hernández, M. Galleguillos & F. E. Fassnacht. Comparing generalized linear models and random forest to model vascular plant species richness using LiDAR data in a natural forest in central Chile. *Remote Sensing of Environment*. 173 (2016), 200-210. doi:10.1016/j.rse.2015.11.029.
- [26] J. Niemeyer, F. Rottensteiner & U. Soergel. Contextual classification of LiDAR data and building object detection in urban areas. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sensing*. 87 (2014), 152–165. doi:10.1016/j.isprsjprs.2013.11.001.
- [27] R. Shapovalov, A. Velizhev & O. Barinova. Non-associative Markov networks for 3D point cloud classification. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 2018, 103–108.
- [28] A.B. Jahromi, M.J.V. Zoej, A. Mohammadzadeh, & S. Sadeghian. A novel filtering algorithm for bare-earth extraction from airborne laser scanning data using an artificial neural network. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 4 (2011), 836-843. doi:10.1109/JSTARS.2011.2132793.
- [29] X. Zhao, Q. Guo, Y. Su, & B. Xue. Improved progressive TIN densification filtering algorithm for airborne LiDAR data in forested areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 117 (2016), 79-91. doi:10.1016/j.isprsjprs.2016.03.016.
- [30] P. Ghamisi, Y. Chen, & X. X. Zhu. A Self-Improving Convolution Neural Network for the Classification of Hyperspectral Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 13 (2016), 1537-1541. doi:10.1109/LGRS.2016.2595108.
- [31] L. Mou, L. Bruzzone, & X. Zhu. X. Learning spectral-spatial features via a recurrent convolutional neural network for change detection in multispectral imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 57 (2019), 924-935. doi:10.1109/TGRS.2018.2863224.
- [32] B. Erol. An automated height transformation using precise geoid models. *Scientific Research and Essays*. 6 (2011), 1351-1363. doi:10.5897/SRE10.1119.
- [33] P. Rashidi, & H. Rastiveis. Ground filtering LiDAR data based on multi-scale analysis of height

- difference threshold. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 42, (2017), 7–10. doi:10.5194/isprs-archives-XLII-4-W4-225-2017.
- [34] G. Sithole, & G. Vosselman. ISPRS comparison of filters. *ISPRS Commission III*, 2003, 71-78. doi:10.1093/intimm/dxs147.
- [35] J. Zhang, & X. Lin. Filtering airborne LiDAR data by embedding smoothness-constrained segmentation in progressive TIN densification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 81 (2013), 44-59. doi:10.1016/j.isprsjprs.2013.04.001.
- [36] S. Smith, D. Holland, & P. Longley. Investigating the spatial structure of error in digital surface models derived from laser scanning data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*, 2003, 7.
- [37] E.P. Baltsavias. A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. 54 (1999), 83-94. doi:10.1016/S0924-2716(99)00014-3.
- [38] L. Pereira, & G. Gonçalves. (2010). Accuracy of a DTM derived from full-waveform laser scanning data under unstructured eucalypt forest: A case study. *FIG Congress, 2010*, 16.
- [39] S.E. Reutebuch, R.J. McGaughey, H.E. Andersen, & W.W. Carson. Accuracy of a high-resolution lidar terrain model under a conifer forest canopy. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 29 (2003) 527-535. doi:10.5589/m05-016.
- [40] R.G. Congalton. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*. 37 (1999), 35-46. doi:10.1016/0034-4257(91)90048-B.
- [41] S. Seo, & C.G. O'Hara. Parametric investigation of the performance of lidar filters using different surface contexts. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 74 (2008), 343-362.
- [42] M.E. Hodgson, & P. Bresnahan. Accuracy of Airborne Lidar-Derived Elevation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 3 (2004), 331-339. doi:10.14358/PERS.70.3.331.
- [43] H. Mitsova, M.F. Overton, J.J. Recalde, D.J. Bernstein, & C.W. Freeman. Raster-Based Analysis of Coastal Terrain Dynamics from Multitemporal Lidar Data. *Journal of Coastal Research*. 252 (2009), 507-514. doi:10.2112/07-0976.1.
- [44] Z. Hui, Y. Hu, Y.Z. Yevenyo, & X. Yu. An improved morphological algorithm for filtering airborne LiDAR point cloud based on multi-level kriging interpolation. *Remote Sensing*. 8(1) (2016), 35. doi:10.3390/rs8010035.
- [45] S.C. Popescu, & K. Zhao. A voxel-based lidar method for estimating crown base height for deciduous and pine trees. *Remote Sensing of Environment*. 112 (2008), 767-781. doi:10.1016/j.rse.2007.06.011.
- [46] K. Zhao, S. Popescu, & R. Nelson. Lidar remote sensing of forest biomass: A scale-invariant estimation approach using airborne lasers. *Remote Sensing of Environment*. 113 (2009), 182-196. doi:10.1016/j.rse.2008.09.009.
- [47] S. A. Bello, S. Yu, C. Wang, J. M. Adam & J. Li. Review: Deep learning on 3D point clouds. *Remote Sensing*. 12 (2020), 1729. doi:10.3390/rs12111729.
- [48] Y. He, H. Yu, X. Liu, Z. Yang, W. Sun, Y. Wang., Q. Fu, Y. Zou & A. Mian. Deep Learning based 3D Segmentation: A Survey. *arXiv*. 2021. doi:10.48550/arXiv.2103.05423.

COVID-19'un Ülke Bazlı Analizi ve Veri Görselleştirmesi

Abdullah Erdal TÜMER^{1*}  Musab Kasım DOĞAN² 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

² Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi	ÖZET
Geliş Tarihi: 15.03.2024 Kabul Tarihi: 07.07.2024 Yayın Tarihi: 31.12.2024 Anahtar Kelimeler: COVID-19, Koronavirüs, Veri Görselleştirme, Elasticsearch, Logstash, Kibana.	İnsan yaşamının her alanını etkileyen COVID-19 salgını, milyonlarca ölümle sonuçlanmıştır. Günümüzde adı tam olarak konulmamakla ve ölümcül olmamakla beraber COVID-19 günümüzde influenza olarak seyretmektedir. COVID-19 ve benzeri hastalıkların önlenmesinde hastalıklara ait verilerin görselleştirilmesi önemlidir. Özellikle hükümetlerin, iş yerlerine ve kurumlara güvenilir, anlaşılır ve kolay aktarılabilen bilgiler sunması, ilgili hastalıklarla mücadelede noktasında farkındalık sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, veri görselleştirme yöntemi ile farklı kıta ve ülkelerdeki COVID-19'un etkisini karşılaştırmaktır. Doğrulanmış COVID-19 vakaları hakkındaki bilgilerin farkındalığı artıracağı düşünülmektedir. Bu salgını görselleştirmek için açık kaynaklı bir yazılım olan Elasticsearch kullanılmıştır. Veriler ABD, Çin, Türkiye gibi farklı ülkelerden elde edilmiştir. Veri başlıkları, doğrulanmış COVID-19 vaka sayısı, toplam ölüm sayısı ve kurtarılan toplam vaka sayısı olarak belirlenmiştir. COVID-19'un etkisi hakkında kapsamlı bir anlayış ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ayrıca bu çalışma ile gerçek hayattaki birçok farklı uygulama ve hizmetten alınan büyük verilerin de görselleştirilmesine ışık tutacağı değerlendirilmiştir.

Country-based Analysis and Data Visualization of COVID-19

Article Info	ABSTRACT
Received: 15.03.2024 Accepted: 07.07.2024 Published: 31.12.2024 Keywords: COVID-19, Coronavirus, Data visualization, Elasticsearch, Logstash, Kibana.	The COVID-19 epidemic, which affects every aspect of human life, has resulted in millions of deaths. Today, COVID-19 is known as influenza, although its name is not fully known, and it is not fatal. Visualization of disease data is important in preventing COVID-19 and similar diseases. Governments provide reliable, understandable and easily transferable information to workplaces and institutions provide awareness in the fight against relevant diseases. The aim of this study is to compare the impact of COVID-19 in different continents and countries with the data visualization method. It is thought that information about confirmed COVID-19 cases will increase awareness. Elasticsearch, an open-source software, was used to visualize this outbreak. Data were obtained from different countries such as the USA, China and Türkiye. Data headlines are the number of confirmed COVID-19 cases, the total number of deaths, and the total number of cases recovered. An attempt has been made to provide a comprehensive understanding of the impact of COVID-19. In addition, it was evaluated that this study would shed light on the visualization of big data received from many different applications and services in real life.

To cite this article:

Tümer, A.E. & Doğan, M.K. (2024). COVID-19'un ülke bazlı analizi ve veri görselleştirmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 512-524. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.62>

*Sorumlu Yazar: Abdullah Erdal Tümer, tumer@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sadece kelimeler yerine görsel araçlar sunulduğunda bireyler bunlara çok daha iyi tepki verir. Beyne iletilen bilgilerin %90'nının görsel olması ve görüntülerin beyinde metin hızının 60.000 katı hızda işlenmesi bilinmektedir [1]. İnsanlar sık sık resim ve video izlemektedir. İnsan zihni kelimelerden çok bunlarla meşguldür. Bu nedenle ister bir makale yazarken ister bir dinleyiciye sunum yaparken beyin görsel bilgiyi metinsel bilgiye göre daha kolay işler. Bilginin daha hızlı aktarılması kelimelerle değil görsellerle anlatılarak sağlanabilir. Bu örnek, veri görselleştirmenin değerini veya metinsel bilgiyi görsel bir temsile dönüştürme sürecini vurgulamaktadır. Bu yüzden bu dönemi "büyük veri çağı" olarak adlandırmak yanlış olmayacaktır. Teknolojideki ilerlemelerle birlikte, çok büyük miktarda veri kolayca üretilmekte ve çok çeşitli zengin veri kaynaklarından hızlı bir şekilde toplanabilmektedir [2]. Biyolojik veriler [3-5], ekonomik veriler [6-8], sosyal ağ verileri [9,10] ve salgın verileri gibi hastalık raporları [11-13] büyük veriye örnek olarak verilebilir.

Akut solunum sendromu (SARS), Orta Doğu solunum sendromu (MERS) gibi salgın hastalıklardan biri olan koronavirüs pandemisi (COVID-19) insan sağlığını, yaşamını, üretimini, sosyal etkileşimlerini ve uluslararası ilişkilerini ciddi şekilde tehdit etmiştir. COVID-19 virüs pandemisi 2019 yılının sonlarında Çin'in başkentlerinden olan Wuhan'da ortaya çıkmıştır [14]. Hızlı bir bulaşma özelliğine sahip olan bu virüs 2020 Nisan ayı sonlarında başta Avrupa, Kuzey ve Güney Amerika, Doğu Akdeniz, Batı Pasifik, Güney ve Doğu Asya ve Afrika olmak üzere 6 bölgeye yayılmıştır [14,15]. Bu durum 11 Mart 2020'de Dünya Sağlık Örgütü tarafından küresel salgın olarak ilan edilmesine neden olmuştur. 4 Eylül 2020 itibarıyla dünyada 26.191.461 vaka, 17.726.336 iyileşme, 865.558 ölüm rapor edilirken, Türkiye'de 276.555 vaka, 249.108 iyileşme, 6.564 ölüm rapor edilmiştir [15]. Büyük veri teknolojileri salgınla mücadelede önemli bir rol oynamıştır. Bu epidemiyolojik verilerden keşfedilen bilgiler, araştırmacıların, epidemiyologların ve politika yapımcıların hastalığı daha iyi anlamalarına yardımcı olmuştur [16].

Hızlı büyük veri toplama, pandemik bilgi görselleştirmesi, salgın risk dökümü, doğrulanmış vaka tespiti, önleme düzeyinin izlenmesi ve uygun kontrol değerlendirmesi, uygulamalara birkaç örnek olarak verilebilir. [17]. Büyük veri görselleştirmesi, sağlık hizmetlerinin erken müdahale, önleme ve optimal yönetime yönlendirmek için sağlık hizmetlerini daha sürdürülebilir ve verimli hale getirmesi mümkündür [18].

COVID-19'dan dolayı birçok araştırmacı, hastalığın farklı yönlerine odaklanmıştır. Bunlar arasında klinik ve tedavi bilgileri [19, 20] ile ilaç keşfi [21], tıp ve sağlık bilimleri araştırmalarıyla ilgilidir [2]. Buna karşılık, bilgisayar bilimcilerde genellikle hastalıkla ilgili tahmin çalışmaları yaptılar [22-26]. Bu çalışmanın amacı hastalığın görselleştirilerek; salgınla ilgili bilgi ve farkındalığın artırılması, epidemiyolojik takibin sağlanması, konu ile ilgili politika geliştirilmesine katkı verilmesi ve aşı dağıtımı vb. halk sağlığı müdahalelerinin kolaylaştırılması amaçlanmaktadır.

Veri görselleştirme sürecinin en önemli bileşeni, görselleştirilecek doğru bilgi, yani ham veridir. Ancak, verilerin tek başına bir anlamı ve işlevi yoktur. Veri, toplandıktan, gruplandırıldıktan ve özetlendikten sonra işlenip bilgiye dönüştürüldüğünde anlam kazanır. Ait olduğu bağlamı açıklama gücü kazanır. O zaman problem çözme veya karar verme gibi bir amaca hizmet edebilir [18].

Karmaşık bilginin analiz edilmesi ve anlaşılabilmesi için görselleştirmelerin kullanımı günümüz iletişim ortamında oldukça işlevsel bir yöntemdir. Veri görselleştirme, araştırmacıların sonuçları daha net ve zarif bir şekilde keşfetmesini, yorumlamasını ve sunmasını sağlayabilir [27-29]

Görselleştirme, kompleks verilerin çok daha hızlı bir şekilde analiz edilmesini ve geniş kitleler tarafından anlaşılabilir olması sağlamaktadır. Görselleştirme, grafik sunumları kullanarak bilginin iletişimi şeklinde tanımlanabilir. Tek bir görüntü yoğun bilgi içerebilmekte ve sayfalar dolusu kelimeden

çok daha hızlı işlenebilmektedir. Çünkü imaj yorumlama, insanın algısal sistemine paralel olarak işlerken, metin analiz hızı ardışık okuma işlemi tarafından sınırlanmaktadır [30]. Ayrıca insanın görsel öğrenme becerisi ve görsel algı süreçlerinin büyük bir güce sahip olması, görselleştirmenin hafıza, öğrenme ve dikkat öncesi süreçlerde çok etkili bir rol oynamasını sağlamaktadır [31].

Bu makaledeki temel katkı, COVID-19 epidemiyolojik verileri için bir görselleştirme, görsel analiz aracı tasarlanması ve geliştirmesidir. Analiz aracı (a) veri analitiğini (özellikle sık örüntü madenciliği), (b) veri görselleştirmeyi ve (c) görsel analitiği (özellikle sık örüntülerin görselleştirilmesi ve analizini) içerir. Çalışmada geliştirilen araç her ne kadar COVID-19 epidemiyolojik verilerinin görselleştirilmesi ve görsel analitiği içerse de diğer birçok gerçek hayattaki uygulama ve hizmetten alınan büyük verilerin görselleştirilmesi ve görsel analitiği için de uygulanabilir.

Makalenin geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir: Bir sonraki bölümde ilgili çalışmalara yer verilmiştir. Bir sonraki bölümde takip edilen araştırma yöntemi ortaya konulmuştur. Sonra sırasıyla araştırma bulguları ve sonuç bölümü sunularak makale sona ermektedir.

İLGİLİ ÇALIŞMALAR (RELATED WORKS)

Bu bölüm, 2019-2022 yıllarında yapılan çeşitli çalışmalara kısa bir genel bakış sunmaktadır. Yapılan çalışmaların bir kısmı COVID-19'un ekonomik etkilerini görselleştirmiştir [32]. Bazıları [33-36] COVID-19 araştırmalarını görselleştirdi. Burada COVID-19 araştırmalarına ait görselleştirme çalışmalarından bahsedilecektir.

Yazarlar Kaggle'daki COVID-19 verilerini kullanmışlardır. Çalışmada sıcaklığın COVID-19'un yayılması üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, erkeklerin bu hastalığa daha yatkın olduğunu ve yaşlıların daha fazla risk altında olduğunu gösteren erkek/kadın enfeksiyon karşılaştırmasına ilişkin veri görselleştirmesi sağlanmaktadır. Verilere dayanarak, doğrulanmış vakaların artışındaki modelin doğası gereği üstel bir eğri olduğu bulunmuştur [37].

Johns Hopkins Üniversitesindeki araştırmacılar COVID-19'u gerçek zamanlı izlemek için web tabanlı online bir dashboard (pano) geliştirdiler. Herkese açık olarak paylaşılan panoda, COVID-19'dan etkilenen tüm ülkeler için doğrulanmış vakalarının, ölümlerin ve iyileşenlerin yerini ve sayısını göstermektedir [38].

Yazarlar çalışmalarında, COVID-19 epidemiyolojik verilerini görselleştirmek ve analiz etmek için bir büyük veri görselleştirme ve görsel analiz aracı sunmuşlardır. Aracın kullanıcıların doğrulanmış COVID-19 vakaları hakkındaki bilgileri daha iyi anlamalarına yardımcı olacağı ifade edilmiştir [2].

Dünya Sağlık Örgütü, Çin Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi, Ulusal Sağlık tarafından sağlanan COVID-19 verileri ile salgın bilgilerini derleme ve analiz etmeye çalışmışlardır [39].

Kanada'da araştırmacılar COVID-19'a ait demografik özellikler, konum, rapor tarihi, seyahat geçmişi ve maruz kalma kaynağı dahil olmak üzere doğrulanmış vakalarından oluşan bireysel düzeyde bir veri seti geliştirilmişlerdir. Bu veri seti görselleştirilerek kullanıcıların salgını takip etmesini sağlayan ve günlük olarak güncellenen bir web sayfasında yayınlanmıştır [40].

CoronaTracker adında bir topluluk tarafından bir model geliştirilmiştir. Model COVID-19 vakalarını, ölümlerini ve iyileşmelerini tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Model, ilgili sağlık bilgilerinin yayılmasına ilişkin kamuoyu duyarlılığı kalıplarının yorumlanmasına ve virüsün yayılmasının siyasi ve ekonomik etkisinin değerlendirilmesine yardımcı olacağı ifade edilmiştir [41].

Yazarlar, COVID-19'un finansal olarak Türkiye inşaat sektörüne etkilerinin neler olduğunu araştırmışlardır. T.C. Sağlık Bakanlığı verileri kullanılmıştır. Verilerde COVID-19'dan enfekte olan ve ölenlerin sayısından yararlanılmıştır. Ayrıca inşaat sektörü fiyat ve maliyet endeksine ilişkin verilerde

Türkiye İstatistik Kurumundan elde edilmiştir. Vektör Otoregresyon modeli Zaman serisi ve GRANGER nedensellik analizi yapılmıştır. COVID-19'dan hastalanan ve ölen kişi sayısındaki değişim inşaat ve bina satış fiyatlarının farklılaşmasına neden olduğu bulunmuştur [42].

Literatürden de anlaşılacağı üzere çok sayıda çalışma farklı veri tabanlarından doğrulanmış verileri görselleştirmeye çalışmışlardır. Görselleştirme çalışmaları artırılmış gerçeklik [43] ve makine öğrenimi [44] gibi farklı alanlara da uygulanabilmektedir. Bu çalışma literatürdeki çalışmalardan farklı olarak COVID-19 verilerini Elasticsearch yöntemi ile bir görselleştirme sunulmuştur.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Bu çalışma 17 Kasım 2019- 9 Nisan 2020 arası teyit edilmiş [35] deki verilerden oluşmaktadır. COVID-19 interaktif dünya haritası panolarını oluşturmak için açık kaynak kodlu yazılımlar ve veri madenciliği teknikleri kullanılmıştır. Panolar koronavirüsteki değişimi anlık olarak izlemek için tasarlanmıştır. Bu sistem dört farklı ekrandan izlenebilmektedir.

- İlk ekran dünyanın genel durumu, ölüm oranları ve iyileşme oranları, ölüm sayısına göre boyut olarak değişen ülke isimleri, veri bilgilerine göre renklendirme gibi özelliklere sahiptir.

- İkinci ekran, dünya göre bugünün (GMT + 0) sayısal verileri: ne kadar değiştiği ne kadar arttığı, daha net hale getirilmesi için ülke bayrakları ile birlikte gösterilmektedir. Herhangi bir ülkenin bayrağına tıklandığında, ilgili ülke filtrelenmiş ve dashboardında yalnızca o ülkeye ait vaka sayısı gösterilecek şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca ölüm sayısına göre yeşilden kırmızıya değişen renkler dünya haritasında gösterilmiştir. Bir bakışta en çok vakanın nerede olduğunu, ilginç ve anlaşılır kılan bu renklendirme sistemi, üçüncü ekranda farklı bir şekilde yeniden kullanılmıştır.

- Üçüncü ekranda, dünya haritasında ülke sınırları çizilmiş etkileşimli bir gösterge panosu sunulmaktadır. Bu interaktif harita üzerinde bir ülke ezdirildiğinde, o ülkeye ait vaka sayısı, iyileşme sayıları, ölümler gibi bilgilere bir "pop-up-açılır pencere" yardımıyla anında erişilebilmektedir.

- Dördüncü ve son ekran, "son güncelleme" ekranıdır. Tüm bu panoların oluşturulmasında güncel ham veriler kullanılmıştır.

Bu araştırmadaki görselleştirme aşağıdaki çalışma sorularına cevap verecek şekilde tasarlanmıştır:

- 17 Kasım 2019'dan 9 Nisan 2020 ye kadar kaç ülke enfekte oldu?
- Ölüm sayısı ülke bazında karşılaştırılsaydı, neye benzerdi?
- Renkli bir dünya haritasında durum nasıl görünürdü?
- 17 Kasım 2019'dan 9 Nisan 2020'ye kadar Türkiye'deki son durum nedir?

Ham Veri Toplama (Raw Data Collection)

Görselleştirmede kullanılan ve [35] den elde edilen verileri çekmek için Shell Script kullanılmıştır. Veri çekme işlemi beş aşamadan oluşmaktadır.

İlk aşamada sürekli güncellenen ve [35] de yer alan ve Şekil 1'de gösterilen tablodaki veriler düzenli olarak indirilmiştir.

İkinci aşamada web sayfasındaki boş alanlar temizlenmiştir.

Üçüncü aşamada, ham veriler html2.text komutu ile metin biçimine dönüştürülmüştür.

Dördüncü aşamada metin dosyası for döngüsü ile ülke isimleri tek tek kaldırılarak sadece ülke bazlı veriler toplanmıştır.

Beşinci aşamada, toplanan veriler .csv formatına dönüştürülmüştür. Son aşama ile veriler işlenmeye hazır hale getirilmiştir. Bu beş aşama detaylandırılırsa;

All	Europe	North America	Asia	South America	Africa	Oceania								
#	Country, Other	Total Cases	New Cases	Total Deaths	New Deaths	Total Recovered	New Recovered	Active Cases	Serious, Critical	Tot Cases/ 1M pop	Deaths/ 1M pop	Total Tests	Tests/ 1M pop	Population
	World	690,954,065	+8	6,895,908	0	663,550,833	+22,498	20,507,324	37,314	88,643	884.7			
1	USA	107,310,869		1,168,148		105,463,247		679,474	782	320,517	3,489	1,180,798,099	3,526,821	334,805,269
2	India	44,994,228		531,906		44,460,809		1,513	N/A	31,987	378	930,797,975	661,721	1,406,631,776
3	France	40,138,560		167,642		39,944,661		26,257	869	612,013	2,556	271,490,188	4,139,547	65,584,518
4	Germany	38,428,685		174,352		38,240,600		13,733	N/A	458,119	2,078	122,332,384	1,458,359	83,883,596
5	Brazil	37,671,420		703,964		36,249,161		718,295	N/A	174,928	3,269	63,776,166	296,146	215,353,593
6	Japan	33,803,572		74,694		N/A	N/A	N/A	83	269,169	595	100,414,883	799,578	125,584,838
7	S. Korea	32,131,606		35,017		31,890,379	+20,729	206,210	117	625,982	682	15,804,065	307,892	51,329,899
8	Italy	25,897,801		190,868		25,593,568		113,365	56	429,748	3,167	273,634,829	4,540,695	60,262,770
9	UK	24,618,436		226,278		24,392,158		0	N/A	359,404	3,303	522,526,476	7,628,357	68,497,907
10	Russia	22,959,198		399,563		22,402,524		157,111	N/A	157,464	2,740	273,400,000	1,875,095	145,805,947
11	Turkey	17,232,066		102,174		N/A	N/A	N/A		201,399	1,194	162,743,369	1,902,052	85,561,976
12	Spain	13,914,811		121,760		13,762,417		30,634	231	297,840	2,606	471,036,328	10,082,298	46,719,142
13	Australia	11,700,577		21,817		11,668,002		10,758	41	448,835	837	81,916,639	3,142,326	26,068,792

Şekil 1
Ülke veya bölgeye göre bildirilen vakalar ve ölümler [35]

Ham Veri Çıkarma (Raw Data Extraction)

Arayüz verileri, linux işletim sistemine yazılmış bir Shell betiği ile gerçek zamanlı olarak <https://www.worldometers.info/coronavirus/>'dan indirilmiştir. Bu komut dosyası önce date komutunu alarak günlük bir dizin oluşturur. İkinci bir date komutuyla dakika alınacak dosyalar için mkdir komutuyla iç içe geçmiş bir dizini oluşturulur. Sonra sırasıyla; cd komutu ile dizine giderek wget komutunu çalıştırır, ilgili web sitesinin html'si indirilir. Bu süreçte eklenen veriler, birçok ilgili ilgisiz veri içermektedir. .html dosyasındaki fazlalıkları temizlemek için sed komutu kullanılmıştır. Daha sonra aşağıdaki komut satırı ile ham veriler elde edilmiştir:

```
cat coronavirus | grep " " | html2text -nobs | awk '1; / Total / {exit}' | grep -v Total > raw-data.txt
```

Burada kullanılan `html2text` komutu, adından da anlaşılacağı üzere bir `html` sayfasındaki okunamayan bilgileri temizlemek ve bu dosyayı `text` formatına dönüştürmek için kullanılır. Ham verilerde ülke adı, vaka sayısı, ölü sayısı, iyileşen sayısı vb. bilgiler bulunmaktadır. Bu verileri ayrı ayrı tanımlayabilmek ve `csv` formatına getirebilmek için öncelikle içerdikleri ülke isimleri `country_name.txt` isimli bir `text` dosyasına yazdırılır. Daha sonra `for` döngüsü oluşturularak `i=country_name` ile aynı ham verileri içeren tek tek `text` dosyasına `grep $i` ile sorgulama yapılmıştır. Toplanan veriler `csv` formatında virgüllerle ayrılarak dakika bazlı bir dosyaya yazılarak son halini almıştır. `Elasticsearch`'e gönderilirken veri kirliliğini önlemek için veriler değişmediyse aynı verilerin atılmaması için çeşitli yöntemler denenmiştir. Şekil 2 de en kararlı komut olarak kullanılan “`grep -Fxf $ old_file $ new_file> coronavirus_daily.txt`” komutunun çıktısı görülmektedir.

Bu komut yardımıyla eski dosya ile yeni dosya arasındaki fark direkt olarak coronavirus_daily.txt dosyasına yazıldı. İstenirse md5sum değeri oluşturularak iki md5sum arasındaki değer karşılaştırılarak buna göre işlem yapılabilir. Bu işlemle birlikte, coronavirus-raw-data.txt dosyası artık hazırdır ve Elasticsearch'e düzenli olarak gönderilebilir.

Ham Veri İşleme (Raw Data Processing)

Ham veriler hazır olduktan sonraki adım, verileri Elasticsearch'e göndermektir. Bunun için önceden Elasticsearch'e veri türünün tanıtılması gerekir. Bu projede, düzenli olarak veri göndermek ve

```
Solomon Islands,17,0,0,0,10,7,4500,696503
Anguilla,16,0,0,0,15,1,7326,15080
Montserrat,13,0,1,0,12,0,626,4994
Western Sahara,10,0,1,0,8,1,0,605725
Wallis and Futuna,5,0,0,0,4,1,1202,11124
Marshall Islands,4,0,0,0,4,0,0,59421
Samoa,2,0,0,0,2,0,0,199176
Micronesia,1,0,0,0,1,0,0,115718
Vanuatu,1,0,0,0,1,0,470,311247
China,89378,52,4636,0,82940,1802,160000000,1439323776
Sierra Leone,3282,0,77,0,2260,945,106949,8069879
Poland,1496665,0,36443,0,1257352,202870,8517260,37822558
```

Şekil 2

Coronavirüs csv biçimi ham verileri

veri tipini belirlemek için Java tabanlı açık kaynaklı bir yazılım olan Logstash kullanılmıştır. Yapılandırma dosyasında üç parametre vardır. Bunlar girdi, filtre ve çıktıdır. Giriş kısmı, oluşturulan coronavirus_daily.txt dosyası ile dosyanın bulunduğu dizine girilmiştir. Yakalanan veriyi tekrar almamak için tasarlanmış olan sincedb_path bilgisi bu bölümde yer almaktadır. Şekil 3'te Filter kısmı ile verilerin string, integer, boolean vb. olarak tanımlanıp işlenebildiği kısım gösterilmiştir.

```
if "coronavirus" in [path] {
  csv {
    separator => ",",
    columns => ["country","totalcases","newcases","totaldeaths","newdeaths","totalrecovered","activecases","totaltests","population"]
  }
  convert => {
    "totalcases" => "integer"
    "newcases" => "integer"
    "totaldeaths" => "integer"
    "newdeaths" => "integer"
    "totalrecovered" => "integer"
    "activecases" => "integer"
    "totaltests" => "integer"
    "population" => "integer"
  }
}
```

Şekil 3

Ham veri işleme için Logstash yapılandırma dosyası

Ardından, gelecekteki verilerin sütun adları yazılır. Daha sonra kolona gelecek ifadelerin veri tipi belirlendi. Veri görselleştirmede kullanılacak verilerin eşleştirilmesi için translate komutu ile belirli ülke adlarının (Amerika Birleşik Devletleri => ABD gibi) otomatik olarak değiştirilmesi sağlanmıştır. Ülke bayraklarını kullanabilmek için sütunlardan biri olan ülke sütunu kopyalanarak country-flag komutu oluşturuldu. Küçük harf komutuyla tüm ülke bayrağı adları küçük harfe çevrilir. Verilerin alındığı internet sitesinde mortalite, iyileşme oranı, aktif vaka sayısı gibi bilgiler bulunmadığı için ruby kodu kullanıldı. Bahsedilen kod "ruby {code =>}" event.set ('deathrate', event.get ('totaldeaths') * 100 / event.get ('totalcases'))" şeklinde.

Ham Veri İletimi (Raw Data Transmission)

Çıktı bölümünde verinin alındıktan ve işlendikten sonra nereye yazılacağı bilgisi yer almaktadır. Logstash; Elasticsearch, kafka, file, java_stdout, mongodb, rabbitmq, zabbix, email ve benzeri birçok yere çıktı verebilir. Ülke bazlı unique_id oluşturularak yeni gelen veriler eski verilere güncellenmiştir. Daha sonra çıktı bölümüne Elasticsearch'ün Ip:port ve user:pass bilgileri girilmiştir. Gerekli güvenlik duvarı erişimi sağlandıktan sonra veriler Elasticsearch'e gönderilmiştir. Şekil 3'te veriler görselleştirilmeden önce coronavirüs verileri indekslenmiştir.

Veri Depolama (Data Storage)

Elasticsearch'e ham veri gönderilmeden önce şablon kısmı ayarlanmalıdır. Bunun nedeni, index oluşturulduğunda gelecek verilerin indexleme, adlandırma, shard ve replika yapısının değiştirilememesidir. İlk olarak şablon bölümünde oluşturulacak indeksin adı corona* formatında

hr_timestamp	country	country-flag	totalcases	newcases	totaldeaths	newdeaths	activecases	totalrecovered	totaltests	population
Jan 29, 2021 @ 12:06:16.620	United States		26,338,687	+0	45,725	+0	282,471	16,767,125	386,452,138	332,124,463
Jan 29, 2021 @ 12:06:16.620	India		10,720,971	+0	15,895	+0	72,572	10,648,399	195,881,079	1,387,827,058
Jan 29, 2021 @ 12:06:16.620	Brazil		9,060,786	+0	22,167	+0	213,310	8,847,626	286,000,000	213,432,842
Jan 29, 2021 @ 12:06:16.620	Russia		3,813,848	+19,238	7,205	+534	185,480	3,631,368	101,100,000	145,970,742
Jan 29, 2021 @ 12:06:16.620	United Kingdom		3,743,734	+0	10,110	+0	196,672	1,017,900	78,872,482	68,092,198
Jan 29, 2021 @ 12:06:16.620	France		3,130,629	+0	7,406	+0	283,529	2,847,100	42,973,978	65,357,167
Jan 29, 2021 @ 12:06:16.620	Spain		2,792,368	+0	9,700	+0	1	1	32,027,728	46,765,278
Jan 29, 2021 @ 12:06:16.620	Italy		2,515,587	+0	9,700	+0	174,817	1,840,770	31,886,282	60,410,226
Jan 29, 2021 @ 12:06:16.620	Turkey		2,457,118	+0	2,600	+0	21,291	2,435,827	29,181,125	84,862,817

Şekil 4

Görselleştirilmeden önce indekslenmeden koronavirüs verileri

belirtilir. Daha sonra shard ve replika sayısı belirlenir ve şablon tamamlanır. Bu çalışmada 2 düğüm elastik arama kümesi bulunmaktadır. Hızlı arama ve fazlalık için her dizin 1 parça ve 1 kopya olarak ayarlanmıştır. Şekil 4 de görüleceği üzere endeksler günlük olarak oluşturulmuştur. Bu, aylık yıllık grafiği oluşturmak ve analiz etmek için yapılmıştır. Böylece herhangi bir hatalı indeksleme durumunda silme işlemi kolaylıkla yapılabilir. Dizinde yer alan veriler düzenli olarak güncellendiği için dizinde herhangi bir veri birikimi olmamaktadır. Gerekirse yaşam döngüsü eklenebilir. Bu yaşam döngüsü süreci sayesinde indeks, 12 ay gibi istenilen süre kadar saklandıktan sonra sistem tarafından otomatik olarak silinebilmektedir.

Veri Görselleştirme (Data Visualization)

Veriler Elasticsearch'e düzgün bir şekilde yüklendikten sonra, görselleştirme işlemi artık başlatılabilir.

Bunun için kullanılabilecek Kibana ve Grafana gibi açık kaynaklı analitik ve etkileşimli görselleştirme web uygulamaları vardır. Bu çalışmada hızlı ve kullanışlı bir arayüz sunduğu için ücretsiz olan Elasticsearch ürünü Kibana tercih edilmiştir. Kibana, Elasticsearch için açık kaynaklı bir veri görselleştirme panosudur. Bir Elasticsearch kümesinde indekslenen içeriğin üzerinde görselleştirme yetenekleri sağlamaktadır. Kullanıcılar, büyük hacimli verilerin üzerinde çubuk, çizgi ve dağılım grafikleri veya pasta grafikler ve haritalar oluşturabilir.

Index Management

[Index Management docs](#)

[Indices](#) [Data Streams](#) [Index Templates](#) [Component Templates](#)

Update your Elasticsearch indices individually or in bulk. [Learn more.](#)

☒ Include rollout indices

☒ Include hidden indices

Search: coronavirus

Lifecycle status

Lifecycle phase

Reload indices

Name	Health	Status	Primaries	Replicas	Docs count	Storage size	Data stream
coronavirus-2021-01-29	green	open	1	1	218	284.2kb	
coronavirus-2020-12-23	green	open	1	1	220	356.8kb	
coronavirus-2020-12-22	green	open	1	1	220	571.3kb	
coronavirus-2020-12-21	green	open	1	1	220	609.8kb	
coronavirus-2020-12-20	green	open	1	1	220	346.6kb	
coronavirus-2020-12-19	green	open	1	1	220	282.4kb	
coronavirus-2020-12-18	green	open	1	1	220	417kb	
coronavirus-2020-12-17	green	open	1	1	220	609.9kb	
coronavirus-2020-12-16	green	open	1	1	220	287.6kb	
coronavirus-2020-12-15	green	open	1	1	220	619.6kb	

Rows per page: 10

< 1 2 3 4 5 ... 25 >

Şekil 5

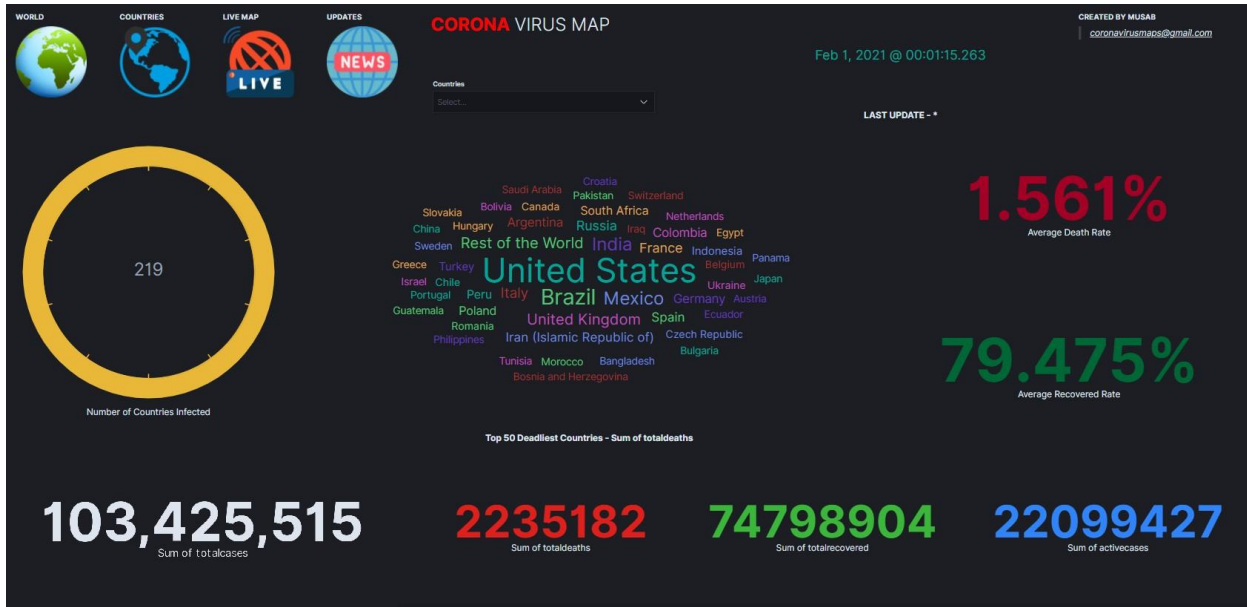
Koronavirüs interaktif dünya haritası

BULGULAR (RESULTS)

Bu bölümde COVID-19'un başladığı 17 Kasım 2019- 9 Nisan 2020 tarihine kadar enfekte olan ülke sayıları, ülke bazlı ölümler ve renklendirilmesi ve Türkiye'deki durumun görsel sonuçları yer almaktadır.

9 Nisan 2020 de kaç ülke enfekte oldu? (How many countries are infected now?)

COVID-19 salgınında dünya çapında 9 Nisan 2020'de 219 ülkenin enfekte olduğu tespit edilmiştir. Enfekte veriler, benzersiz ülke adı bilgileri toplanarak elde edilmiştir. Arka planda çalışan yazılımlar siteye sürekli sorgular göndermektedir. Şekil 6'deki ekran her dakika güncellenir. Sağ üstteki saat bölümü ekranın güncellenmesi hakkında bilgi veren son güncellemeyi göstermektedir.



Şekil 6

Coronavirus interaktif Dünya haritası – world tab

Ülke bazlı Ölüm Sayısı Karşılaştırma (Country-based Death Number Comparison)

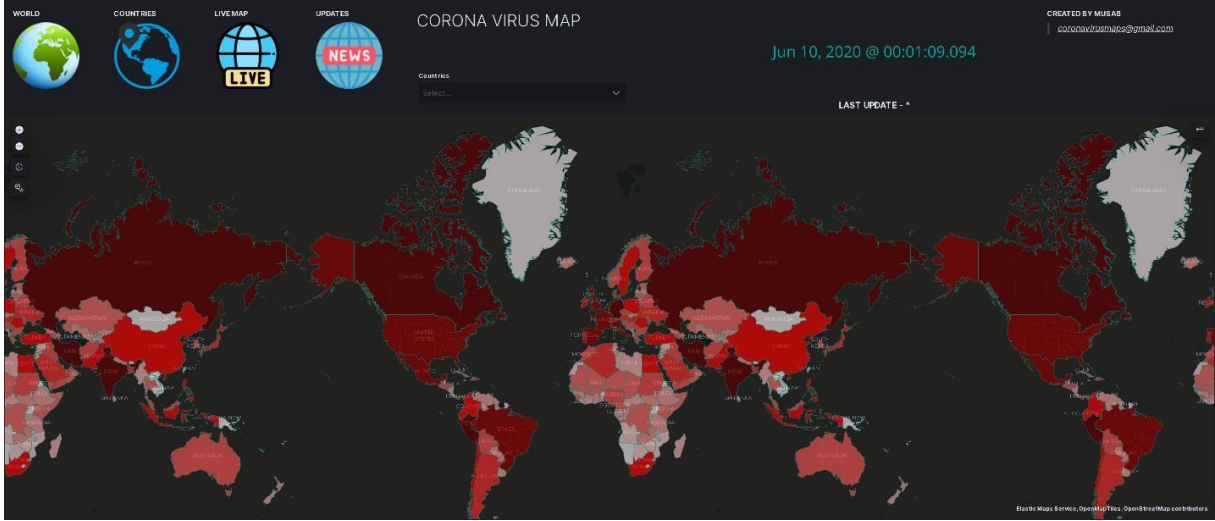
Şekil 6 'da görüldüğü gibi, ülke adlarının bazıları büyük, bazıları küçüktür. Ülke isimlerinin yazı tipi değerlerinin farklılık göstermesinin nedeni, oluşturulan görselleştirme mimarisinin ülke bazlı ölüm sayılarını alıp 28-67 yazı tipinde ekrana yazdırmasıdır.

Dünya Haritasında Ülke Bazlı Ölüm Sayıları (Deaths by Country on the World Map)

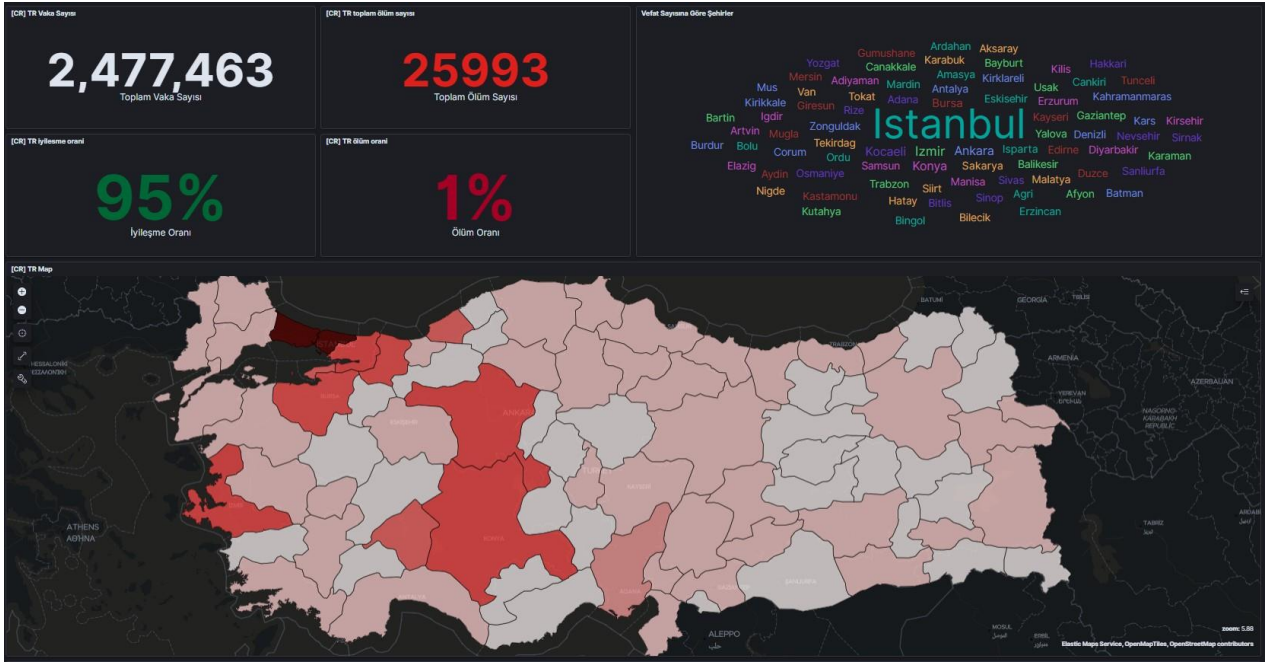
Ülke bazlı ölüm sayıları beyazdan kırmızıya doğru arttığını göstermektedir. Şekil 8 bu durumu göstermektedir. Bu görselin herhangi bir metinden daha anlaşılır olduğu değerlendirilmektedir.

09 Nisan 2020'de Türkiye'deki Son Durum (Latest Situation in Türkiye)

Şekil 8'deki ara yüz Türkiye'de şehir bazlı görselleştirme için hazırlanmıştır. Veriler, <http://trmetrik.com/corona/> adlı siteden oluşturulan komut dosyalarıyla indirilmiştir. Harita, Sağlık Bakanlığı tarafından şehir şehir sayılar açıklandıkça güncellenmiştir. Ancak panik ve kaos oluşturduğu için birçok ülke gibi Sağlık Bakanlığı da 9 Nisan 2020 de şehir şehir vaka sayısını açıklamaktan vazgeçmiştir. Gerekçe olarak vaka, ölüm ve iyileşme gibi sayı değerlerine ulaşamadığı beyan edilmiştir (<https://covid19.saglik.gov.tr/>).



Şekil 7
Coronavirus interaktif Dünya haritası – canlı harita



Şekil 8
Koronavirüs interaktif Türkiye haritası

SONUÇ (CONCLUSIONS)

Bu makale, COVID-19 pandemisi sırasında (17 Kasım 2019 - 9 Nisan 2020) www.worldometer.info/coronavirus web sitesinden elde edilen nitel ve nicel bulguları sunmaktadır. Makalenin amacı, vaka sayısını ve koronavirüsün yayılımını daha iyi görülmesini sağlamak ve farkındalık oluşturmaktır. Görselleştirmeler ve harita grafikleri, çizgi grafikler ve çubuk grafikler gibi zamansal serilerle geliştirilmiştir. Öte yandan bu çalışmada yer alan verilerin birçok üniversite (John Hopkins gibi) ve birçok kuruluş (Google, Windows, Yandex gibi) tarafından görselleştirildiği belirlenmiştir. Bu verilerle gelecekteki tahminler yapılabilir ve gerekli önlemler alınabilir. Bu gibi pandemilerde durumun ciddiyeti unutulabilmektedir. Alınması gereken önlemler ihmal edilebilmektedir. COVIS-19 verilerinin görselleştirilmesi ile salgının ciddiyetine ilişkin farkındalık

artacaktır. Bu çalışmadaki COVID-19 salgınının görselleştirilmesi, gelecekte benzer salgınlar için erken uyarı sistemlerinin oluşturulmasına, yoğun bakım üniteleri ve sağlık personeli gibi kaynakların verimli yönetilmesine, halkın bilgilendirilmesi ve yanlış bilgilerin önlenmesi bakımından kriz iletişimi gibi çalışmalara ışık tutabilecektir. Ayrıca bu çalışmaya benzer çalışmalar farklı sektörlerde de uygulanabilir. Eğitimde öğrenci başarıları ve eğitim trenlerinin analizi, tarımda ürün verimliliği ve iklim değişikliklerinin etkileri, finasta piyasa analizlerinde kullanılması örnek olarak verilebilir.

Etik Beyan (Ethical Statement)

Bu çalışma, yazarların bilimsel iş birliği ve ortak entelektüel katkısı sonucunda hazırlanmış müşterek bir akademik üründür. Çalışmanın tüm aşamalarında yazarlar eşit düzeyde sorumluluk ve emek paylaşımında bulunmuştur.

Etik Kurul Onayı (Ethics Committee Approval)

Bu çalışma, insan veya hayvan katılımcıları içermeyen, ikincil veri kaynaklarına dayalı teorik/analitik bir araştırma niteliğindedir. Dolayısıyla etik kurul onayı gerektirmemektedir. Çalışmada kullanılan tüm veriler açık kaynaklardan elde edilmiş olup, atıf yapılan çalışmaların akademik etik ilkelerine riayet edilmiştir.

Yazar Katkıları (Author Contributions)

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) Yazar 1 (%50) – Yazar 2 (%50)

Veri Toplama (CRediT 2) Yazar 1 (%80) – Yazar 2 (%20)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) Yazar 1 (%50) – Yazar 2 (%50)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) Yazar 1 (%35) – Yazar 2 (%65)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) Yazar 1 (%30) – Yazar 2 (%70)

Finansman (Financing)

Bu çalışma herhangi bir dış kurum veya kuruluştan finansal destek almadan gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın tüm süreçleri yazarların kendi akademik ve entelektüel çabaları ile yürütülmüştür.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar bu çalışma kapsamında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları 3: Sağlıklı ve kaliteli yaşam

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] 3M Visual Systems Division. Polishing your presentation, Austin, TX: 3M Visual Systems Division, 2020, https://3rd-force.org/pubs/meetingguide_pres.pdf
- [2] C. K. Leung, Y. Chen, C.S. Hoi, S. Shang, Y. Wen, A. Cuzzocrea, Big data visualization and visual analytics of COVID-19 data, *24th International Conference Information Visualisation (IV)*, IEEE, Australia, 2020, 415-420. doi:10.1109/IV51561.2020.00073
- [3] M. Hesami, M. Alizadeh, A.M.P. Jones, D. Torkamaneh, D. Machine learning: Its challenges and opportunities in plant system biology, *Applied Microbiology and Biotechnology*. 106(9-10) (2022), 3507-3530. doi:10.1007/s00253-022-11963-6
- [4] J. Yan, X. Wang, X. Unsupervised and semi-supervised learning: the next frontier in machine learning for plant systems biology, *The Plant Journal*. 111(6) (2022), 1527-1538. doi:10.1111/tpj.15905
- [5] M. Naeem, T. Jamal, J. Diaz-Martinez, S.A. Butt, N. Montesano, M.I. Tariq, E. De-La-Hoz-Valdiris, Trends and future perspective challenges in big data, *In Advances in Intelligent Data Analysis and Applications: Proceeding of the Sixth Euro-China Conference on Intelligent Data Analysis and Applications*, Springer, Arad, Romania, 2019, 309-325.
- [6] Y. Tang, J.J. Xiong, Y. Luo, Y.C. Zhang, How do the global stock markets Influence one another? Evidence from finance big data and granger causality directed network, *International Journal of Electronic Commerce*. 23(1) (2019), 85-109. doi:10.1080/10864415.2018.1512283
- [7] M. Pejić Bach, Ž. Krstić, S. Seljan, L. Turulja, Text mining for big data analysis in financial sector: A literature review, *Sustainability*. 11(5) (2019), 1277. doi:10.3390/su11051277
- [8] H. Sun, M.R. Rabbani, M. S., Sial, S. Yu, J.A. Filipe, J. Cherian, Identifying big data's opportunities, challenges, and implications in finance, *Mathematics*. 8(10) (2020), 1738. doi:10.3390/math8101738
- [9] J.L. Jimenez-Marquez, I. Gonzalez-Carrasco, J.L. Lopez-Cuadrado, B. Ruiz-Mezcua, Towards a big data framework for analyzing social media content. *International Journal of Information Management*. 44 (2019), 1-12. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2018.09.003
- [10] X. Kong, Y. Shi, S. Yu, J. Liu, F. Xia, Academic social networks: Modeling, analysis, mining and applications, *Journal of Network and Computer Applications*. 132 (2019), 86-103. doi:10.1016/j.jnca.2019.01.029
- [11] L. Nemes, A. Kiss, Social media sentiment analysis based on COVID-19, *Journal of Information and Telecommunication*. 5(1) (2021), 1-15. doi:10.1080/24751839.2020.1790793
- [12] I. Ahmed, M. Ahmad, G. Jeon, F. Piccialli, A framework for pandemic prediction using big data analytics, *Big Data Research*. 25 (2021), 100190. doi:10.1016/j.bdr.2021.100190
- [13] M. Elstouhy, G. Jain, A. Shrivastava, Disaster Management during pandemic: A big data-centric approach, *International Journal of Innovation and Technology Management*. 18(04) (2021), 2140003. doi:10.1016/j.bdr.2021.100190
- [14] World Health Organization, Number of COVID-19 cases reported to WHO, 2020, covid19.who.int, 2020
- [15] S. Kunt, COVID-19 Pandemisinin turizme etkisi konusunda yapılan çalışmaların carrot² analizi ile değerlendirilmesi, *Güncel Turizm Araştırma Dergisi*. 5(1) (2021), 30-47. doi:10.32572/guntad.794537
- [16] M. Bektaş, A. Yavuz, F. Bulut, Salgın hastalıklarla mücadelede açık kaynak kodlu çözümler, *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 3(1), (2021), 99-105.
- [17] I. Ahmed, M. Ahmad, G. Jeon, F. Piccialli, A framework for pandemic prediction using big data analytics, *Big Data Research*. 25 (2021), 100190. doi:10.1016/j.bdr.2021.100190

- [18] A. Kurşun, Büyük veri ve sağlık hizmetlerinde büyük veri işleme araçları, *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*. 24(4), 921-940.
- [19] A.A. Ardakani, A. R. Kanafi , U. R. Acharya, N. Khadem , A. Mohammadi, Application of deep learning technique to manage COVID-19 in routine clinical practice using CT images: results of 10 convolutional neural networks, *Computers in Biology and Medicine*. 121 (2020), 103795:1-103795:9. doi:10.1016/j.compbiomed.2020.103795
- [20] M.B. Jamshidi, et al., Artificial intelligence and COVID-19: deep learning approaches for diagnosis and treatment, *IEEE Access*. 8 (2020), 109581-109595. doi:10.1109/ACCESS.2020.3001973
- [21] B. Robson, COVID-19 coronavirus spike protein analysis for synthetic vaccines, a peptidomimetic antagonist, and therapeutic drugs, and analysis of a proposed achilles' heel conserved region to minimize probability of escape mutations and drug resistance, *Computers in Biology and Medicine*. 121 (2020), 103749. doi:10.1016/j.compbiomed.2020.103749
- [22] Z. A. A. Alyasseri, M.A. Al-Betar, I. A., Doush, M. A., Awadallah, A. K., Abasi, S. N. Makhadmeh, R.A. Zitar, Review on COVID-19 diagnosis models based on machine learning and deep learning approaches, *Expert Systems*. 39(3) (2022), e12759. doi:10.1111/exsy.12759
- [23] K. Moulaei, M. Shanbehzadeh, Z. Mohammadi-Taghiabad, H. Kazemi-Arpanahi, Comparing machine learning algorithms for predicting COVID-19 mortality. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 22(1) (2022), 1-12. doi:10.1186/s12911-021-01742-0
- [24] D. Mhlanga, The role of artificial intelligence and machine learning amid the COVID-19 pandemic: What lessons are we learning on 4IR and the sustainable development goals, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19(3) (2022), 1879. doi:10.3390/ijerph19031879
- [25] C. Comito, C. Pizzuti, Artificial intelligence for forecasting and diagnosing COVID-19 pandemic: A focused review, *Artificial Intelligence in Medicine*. 128 (2022), 102286. doi:10.1016/j.artmed.2022.102286.
- [26] P.G. Asteris, E. Gavrilaki, T. Touloumenidou, E.E. Koravou, M. Koutra, P.G. Papayanni, A. Anagnostopoulos, Genetic prediction of icu hospitalization and mortality in COVID-19 patients using artificial neural networks, *Journal of Cellular and Molecular Medicine*. 26(5) (2022), 1445-1455. doi:10.1111/jcmm.17098
- [27] S.I. O'Donoghue, Grand challenges in bioinformatics data visualization, *Frontiers in Bioinformatics*. 17 (2021), 669186. doi:10.3389/fbinf.2021.669186
- [28] S.I. O'Donoghue, B.F. Baldi, S.J. Clark, A.E. Darling, J.M. Hogan, S. Kaur, L. Maier-Hein, D. J. McCarthy, W.J. Moore, E. Stenau, J.R. Swedlow, J. Vuong, J.B. Procter, Visualization of biomedical data, *Annual Review of Biomedical Data Science*. 1 (2018), 275-304. doi:10.1146/annurev-biodatasci-080917-013424
- [29] B. Wong, Visualizing biological data, *Nature Methods*. 9: 1131. 2012. doi:10.1038/nmeth.2258
- [30] O. ByMatthew Ward, G. Grinstein, D. Keim, Interactive Data Visualization, *Foundations, Techniques, and Applications, Second Edition*, New York, A K Peters/CRC Press 2015. doi:10.1201/b18379
- [31] C. Ware, Information Visualization: Perception for Design. Third Edition., *Morgan Kaufmann Publishers Inc.*, San Francisco, CA, United States, 2012.
- [32] F. Zuo, J. Wang, J. Gao, K. Ozbay, X.J. Ban, Y. Shen, H. Yang, S. Iyer, An interactive data visualization and analytics tool to evaluate mobility and sociability trends during COVID-19, arXiv preprint arXiv:2006.14882, 2020.
- [33] P.L. Bras, A. Gharavi, D.A. Robb, A.F. Vidal, S. Padilla, M.J. Chantler, Visualising COVID-19 research, *CoRR* abs/2005.06380, 2020.

- [34] J. Tu, M. Verhagen, B. Cochran, J. Pustejovsky, Exploration and discovery of the COVID-19 literature through semantic visualization, *CoRR abs/2007.01800*, 2020.
- [35] Worldometer, COVID-19 Coronavirus Pandemic, 2020. <https://www.worldometers.info/coronavirus/> (13 April 2020)
- [36] F. Wolinski, Visualization of diseases at risk in the COVID-19 literature, *CoRR abs/2005.00848*, 2020.
- [37] F. Khanam, I. Nowrin, M. Mondal, Data visualization and analyzation of COVID-19, *Journal of Scientific Research and Reports*. 42-52 (2020). DOI: 10.9734/JSRR/2020/v26i330234.
- [38] E. Dong, H. Du, L. Gardner, An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time, *The Lancet Infectious Diseases*. 20(5) (2020), 533-534. doi:10.1016/S1473-3099(20)30120-1
- [39] C.K. Leung, Y. Chen, C.S. Hoi, S. Shang, Y. Wen, A. Cuzzocrea, Big data visualization and visual analytics of COVID-19 data. In 2020 24th International Conference Information Visualisation (IV) (pp. 415-420). IEEE.
- [40] I. Berry, J.P.R. Soucy, A. Tuite, D. Fisman, Open access epidemiologic data and an interactive dashboard to monitor the COVID-19 outbreak in Canada, *Cmaj*. 192(15) (2020), E420-E420. doi:10.1503/cmaj.75262
- [41] F.B. Hamzah, C. Lau, H. Nazri, D.V. Ligot, G. Lee, C.I. Tan, M.H. Chung, Corona Tracker: worldwide COVID-19 outbreak data analysis and prediction, *Bull World Health Organ*. 1(32) (2020), 1-32. doi:10.2471/BLT.20.251561.
- [42] F. Bahadır, F.S. Balık, H.S. Yalçınkaya, The impact of COVID-19 on the financial structure of the construction industry in Turkey. *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5(2) (2023), 134-149. doi:10.47112/neufmbd.2023.17
- [43] Y. Uzun, H. Ergün, E. Şeker, Augmented reality approach for stories. *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 4(2) (2022), 1-7. doi:10.47112/neufmbd.2022.1
- [44] A. Pektaş, O. İnan. application of tree seed algorithm on clustering problems, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 4(1) (2022), 1-10.

Çiğ Süt Dağıtımında Zeki Algoritmaların Kullanılması

Nihat ÇANKAYA ^{1*} 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 04.04.2024
Kabul Tarihi: 22.07.2024
Yayın Tarihi: 31.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Çiğ süt,
Genetik algoritma,
Karıncı koloni algoritması,
Optimizasyon.

ÖZET

Bu çalışmada, günlük 30 farklı noktaya çiğ süt dağıtımı yapan bir kamyonet için, en kısa rotanın tespit edilmesi amacıyla genetik algoritma (GA) ve karınca kolonisi optimizasyonu algoritması (KKOA) kullanılmıştır. İki algoritmadan elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Firmanın kullandığı güzergahın 78.856 m iken, kullanılan her iki algoritma en kısa güzergahı 61.062 m olarak bulmuştur. KKOA kullanılarak bulunan rotaların ortalama uzunluğu 66.159 m iken GA her denemede 61.062 m uzunluğundaki en kısa rotayı bulmuştur. Önerilen rotanın kullanılması ile kat edilen mesafe %22,6 azalmıştır. Çalışma sonucunda, çiğ süt toplama ve dağıtım rotalarının belirlenmesinde GA ve KKOA kullanılabilirliği görülmüştür. GA ile bulunan rotaların uzunluklarının ortalama, KKOA kullanılarak bulunanlara göre %7,7 daha kısadır. Süt maliyeti içerisindeki çiğ süt taşıma maliyeti %15-20 gibi yüksek bir paya sahiptir. Uygulamanın ülke genelinde yaygınlaştırılması taşıma maliyetlerini azaltarak süt maliyetinin düşülmesine katkı sağlayacaktır. Çalışma çiğ süt dağıtım süreci için yapılmıştır. Ancak süt toplama süreci de aynı karakteristik özelliklere sahiptir. Geliştirilen algoritmaların hem süt dağıtım hem de süt toplama süreçlerinde kullanılarak yaygınlaştırılması halinde sektörel operasyon maliyetleri azalacaktır. Azalan taşıma mesafesi ve taşıma zamanı sayesinde, bozulan süt miktarı azalacaktır, aynı araçla daha fazla süt toplama ve süt dağıtım imkânı oluşacaktır. Çiğ süt taşınmasında kullanılan araç sayısı, bakım ve akaryakıt giderleri, personel sayısı gibi maliyetler azalacaktır.

Using Intelligent Algorithms in Raw Milk Distribution

Article Info

Received: 04.04.2024
Accepted: 22.07.2024
Published: 31.12.2024

Keywords:

Raw milk,
Genetic algorithm,
Ant colony algorithm,
Optimization.

ABSTRACT

In this study, genetic algorithm (GA) and ant colony optimization algorithm (AKO) were used to determine the shortest route for a truck that delivers raw milk to 30 different points daily. The data obtained from the two algorithms were compared. Both algorithms found the shortest route as 61,062 m while the route used by the company was 78,856 m. GA found the shortest route of 61,062 m in each trial while the average length of the routes found using AKO was 66,159 m. The distance covered decreased by 22.6% with the use of the suggested route. It was seen that GA and AKO could be used in determining raw milk collection and distribution routes as a result of the study. The average length of the routes found with GA was 7.7% shorter than those found using AKO. Raw milk transportation cost has a high share of 15-20% in milk cost. The widespread use of the application throughout the country will contribute to the reduction of milk cost by reducing transportation costs. The study was conducted for the raw milk distribution process. However, the milk collection process also has the same characteristics. Sectoral operation costs would decrease in case of the developed algorithms are used and spread in both milk distribution and milk collection processes. Thanks to the reduced transportation distance and transportation time, the amount of spoiled milk will decrease, and it would be possible to collect and distribute more milk with the same vehicle. Costs such as the number of vehicles used in raw milk transportation, maintenance and fuel expenses, and the number of personnel would be reduced.

To cite this article:

Çankaya, N. (2024). Çiğ süt dağıtımında zeki algoritmaların kullanılması. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 525-542. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.63>

*Sorumlu Yazar: Nihat Çankaya, ncankaya@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

TÜİK verilerine göre 2022 ve 2023 yıllarında üretilen çiğ süt miktarı sırasıyla 21.563.492 ton ve 21.481.567 ton olarak gerçekleşmiştir. Üretilen sütün yaklaşık olarak yarısı üreticiden toplanarak sanayiye aktarılmış ve fabrikalarda işlenmiştir. Günlük toplanan süt miktarı yaklaşık 30.000 tondur. Süt toplama işi kamyonlarla yapılmakta olup kamyon başına günlük toplanan süt miktarı ortalama 13.8 ton civarındadır. Her gün 5.000 civarında süt toplama merkezinden yaklaşık 2.200 kamyon süt toplamaktadır. Her bir süt toplama merkezinin ortalama kapasitesi ise günlük 6 ton olarak gerçekleşmiştir [1-3]. Çiftliklerden ve mandıralardan toplanan sütler süt toplama merkezlerine getirilmekte ve buradan fabrikalara taşınmaktadır. Bazı işletmeler ise doğrudan mandıralardan süt toplamaktadır. Çiğ süt ile ilgili yasal düzenlemelere göre, süt sağımdan sonra 2 saat içinde toplanmayacak ise 8 °C'ye, günlük toplanacak ise 8 °C'nin altına, günlük toplanmayacak ise 6 °C'nin altına soğutulmalıdır. Sütün işleme ve üretim tesisine taşınırken sıcaklığının 10 °C'yi geçmemesi sağlanmalıdır. Ülkemizde, süt toplama tesisleri ve çok büyük işletmeler dışındaki süt üreticilerinde soğutma tesisi bulunmamaktadır. Süt toplayan kamyonlarda soğutma altyapısı yoktur ve süt sıcak olarak taşınmaktadır. Bu durumda sütün, ilgili mevzuata göre mandıradan 2 saat içerisinde toplama merkezine getirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, bozulan süt miktarının azaltılması için çok ciddi lojistik organizasyon gerekmektedir. Bu zaman darlığı sebebiyle, araçlar çok az miktarda süt toplayabilmekte, toplama işi yapan kamyonet ve personel sayısı artmaktadır. Türkiye'deki mandıraların kapasitesinin düşük oluşu bu taşıma işleminin maliyetini daha da artırmaktadır. Türkiye'de mandıra başına sağmal inek sayısı 4,4 adet, Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde 36,3 adet, günlük mandıra başına süt üretimi ise Türkiye'de 35 kg, AB'de ise 658 kg olarak gerçekleşmiştir [4]. Mandıralardan süt toplama merkezlerine süt toplanması işi küçük kamyonetlerle yapılmakta, mandıra başına ortalama günlük süt üretiminin çok düşük olması sebebiyle, çok sayıda kamyonetin küçük kapasitelerle ve oldukça yüksek maliyette süt toplama işi yaptığı görülmektedir. Rakamlar, süt toplama işleminde ciddi bir lojistik ve izlenebilirlik probleminin varlığını göstermektedir. Bunda mandıraların belirli bir bölgede değil, rastgele ve dağınık yerleşiminin de payı büyüktür. Türkiye'de bir litre çiğ süt fiyatı 0,42-0,43 Euro, AB'de 0,28-0,30 Euro, ABD'de ise 0,30 USD civarındadır. Süt toplama lojistiğinde çeşitli performans ölçüleri tanımlanmaktadır. Bunlardan birisi 100 litre çiğ süt toplamak için km cinsinden gidilen mesafedir ve bu değer Fransa'da ortalama 1.25 km'dir. Başka bir ölçü ise her bir km için toplanan süt miktarıdır ve bu değer Fransa için 80 litredir. Yukarıda bahsedilen koşullara bağlı olarak Türkiye'de süt toplama işleminin maliyeti yüksektir. Türkiye'de çiğ süt toplama işleminin maliyeti süt fiyatının %15-20'sini oluştururken, Fransa'da %5, Portekiz'de % 10'unu oluşturmaktadır [5-8].

Üretilen çiğ sütlerin tamamı fabrikalar tarafından toplanmamaktadır. Bu sütlerin bir bölümü üretildiği mandırada başka süt ürünlerine çevrilmektedir. Bir bölümü ise çiğ süt olarak doğrudan son tüketicilere satılmaktadır. Büyük mandıralarda üretilen süt fabrikalara satılırken, küçük mandıralar ürettiği sütü son kullanıcıya satma eğilimindedir. Bunun en önemli sebebiyse fabrikalara toptan verilen sütün fiyatı ile son tüketiciye verilen sütün fiyatı arasındaki büyük farktır. Küçük mandıralarda üretilen süt, şehir içinde dolaşarak satılacak kadar az olduğu için, işletmeler gelirlerini artırmak için sütü kendileri satmaktadırlar. Beslenme alışkanlıklarındaki değişimler ve yeni alışkanlıklar sütün çiğ olarak alınması hatta çiğ tüketilmesi gibi yeni trendler oluşturmaktadır. Bu durum çiğ süt dağıtım sektörünün güçlü kalmasını sağlamaktadır. Çiğ süt dağıtılması süreci, çiğ sütün toplanmasında uyulması gereken aynı yasal düzenlemelere tabidir [9-11].

Yukarıda bahsedilen verilerden, süt sektöründe sütün toplanması, dağıtılması ve taşınmasının ciddi bir maliyet teşkil ettiği görülmektedir. Süt toplayan ve süt dağıtan kamyonetlerin güzergâhlarının kısaltılması nakliye maliyetinin azaltılması için en etkili çözümlerden biri olacaktır. Mevcut durumda, kamyonetlerin süt toplarken ve dağıtırken izleyecekleri güzergâhın belirlenmesinde herhangi bir teknoloji kullanılmamakta olup süreç tamamen şoförlerin inisiyatifindedir. Bu güzergâhın

belirlenmesinde optimizasyon yöntemleri kullanılması halinde çok daha kısa taşıma mesafelerinin elde edilmesi ve taşıma giderlerinin düşürülmesi mümkündür. Süt toplama işleminin maliyeti, süt maliyetini etkileyen önemli parametrelerden birisidir. Çiftliklerde üretilen sütlerin kalitesi birbirinden farklıdır. Süt toplamada işlemin iki yaygın metot vardır. Birinde, kalitesi ne olursa olsun tüm sütler harmanlanarak (karıştırılarak) toplanır. Diğerinde ise farklı kalitede sütler ayrı ayrı toplanır. Sütün hangi şekilde toplanacağını belirleyen, kaliteli sütün fiyatı ile taşıma maliyeti arasındaki ilişkidir [12-14]. Çiftliklerde üç farklı kalitede süt üretilmektedir. Her kalite sınıfı için belirli standartlar bulunmaktadır. Çiftliklerden alınan süt, kamyon ile toplanmaktadır. Sütler kalitelerine göre ayrı ayrı araçlarla toplanabileceği gibi, farklı kalitedeki sütler tek araçla toplanıp birbirine karıştırılabilir [15-17]. Sütlerin karıştırılması süt kalitesini en düşük kaliteye indirecektir. Kaliteli sütlerin daha az kalitelilerle karışması geliri bir miktar düşürmektedir. Ancak süt toplama maliyetindeki azalma sebebiyle toplamda daha fazla gelir elde edilmiş olmaktadır. Bu çalışmada en yaygın süt toplama metodunun sütün kalite sınıflarına ayrılmadan aynı tank içinde karıştırılarak toplanmasıdır. Toplanan süt fabrikalarda doğru bir sınıflandırmaya tabi tutulduğu sürece, karıştırarak toplamayı kısıtlayan hiçbir kanuni düzenleme bulunmamaktadır. Bakteriyel limitler, somatik hücre sayısı veya yağ içeriği ile ilgili düzenlemelere uyulduğu sürece, karıştırılarak toplama yapılabilir [18,19]. Ancak sütlerin kalitesine göre ayrı bölmelere alınarak toplandığı çok sayıda uygulama da mevcuttur [20-23].

Zeki optimizasyon algoritmaları, mühendislikte çok geniş bir uygulama alanına sahiptir [24-30]. Bu algoritmaların, araçlarla süt toplama süreci gibi uygulamalara çözüm bulma amacıyla kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Yeni Zelanda, Norveç, Hollanda, Yunanistan, Kanada gibi ülkelerde aynı probleme çözüm geliştirmek için bu mantıkla yapılan çok sayıda uygulama mevcuttur. Bu uygulamaların amacı, başta sütün kalitesinin korunması olmak üzere, teslim süresinin kısaltılması, kamyonların en az seyahat masrafıyla depolara geri dönmesi, yakıt tüketiminin ve bakım masraflarının azaltılması, mevsimsel değişimlerin etkisinin azaltılması, CO₂ salınımının azaltılması gibi sıralanabilir [31-37].

Türkiye’de süt toplama merkezlerinin kapasiteleri düşüktür. Bu sütlerin dağıtımı, deposunda süt soğutma düzeneği olmayan hafif ticari araçlarla yapılmaktadır. Gerek her bir noktaya dağıtılan süt miktarının azlığı gerekse mesafelerin uzak olması, dağıtım süresini uzatarak sütün bozulmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple hafif ticari süt dağıtım araçlarından vazgeçilerek soğutucusu olan kamyonlara doğru bir yönelme vardır. Bu durum dağıtım maliyetlerini daha fazla artırmaktadır [1,3,5].

Bu çalışmanın amacı, zeki algoritmaların desteğiyle, seyahat mesafe ve sürelerini kısaltarak, çiğ süt dağıtım işinin hafif ticari araçlarla yapılabilirliğini devam ettirmektir. Bu sayede yatırım ve işletme maliyeti yüksek olan soğutuculu kamyon kullanım zarureti mümkün olduğunca ortadan kaldırılacak, süt birim fiyatındaki taşıma maliyeti yükü hafifleyecektir. Çalışmada, bir mandırada üretilen sütleri çiğ olarak çok sayıda müşteriye dağıtan bir firma için en kısa süt dağıtım güzergâhının GA ve KKOA kullanılarak tespit edilerek dağıtım maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır.

TEORİ (THEORY)

Süt toplama ve dağıtım sürecine yapılabilecek en önemli katkı güzergâhın kısaltılmasıdır. Bunun için optimum yolun bulunması gerekmektedir. Yolun kısaltılması, süt kalitesini artıracak, taşıma esnasında bozulan süt miktarını azaltacaktır. Süt taşıma aracı kısalan süre sebebiyle daha çok noktaya süt verebilecektir. En kısa güzergâhın tespit edilmesi, optimizasyon literatüründe gezgin satıcı problemi (GSP) olarak yer almaktadır. GSP, aralarındaki uzaklığı bilinen n adet şehrin her birine sadece bir defa uğramak ve başlangıç şehrine geri dönmek koşuluyla, seyahat boyunca alınan mesafenin en kısa olacağı şehir sıralamasının bulunması problemidir. Bu problemin çok geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır. GSP, çözümü zor (NP-Hard) kategoride değerlendirilen bir problemdir. Burada, şehirler düğümlerle gösterilir. Yollar ise hatları oluşturur. Problemin çözümü, en düşük maliyetli yolun bulunmasına karşılık

gelmektedir. Bu çözüm başladığı noktaya geri dönen kapalı bir güzergâhtır. En düşük maliyet sonucu, en kısa güzergâh, en düşük zaman, en az yakıt sarfıyatı gibi bileşenlerin birini ya da birkaçını amaçlıyor olabilir. Artan düğüm sayısı, çözüm olasılıklarını artırdığı gibi, çözüm için gerekli zaman da üstel olarak artmaktadır [31,38].

GSP probleminde, ilk şehir belli ise gidilmesi mümkün olan tüm yolların sayısı (Hamilton yolları) kalan $(n-1)$ adet şehrin kendi arasında yer değiştirmesine eşittir. Yani $(n-1)!$ kadardır. Bir problem için oluşan tüm kombinasyonları tek tek denemek mümkün olmayacaktır. Bu sebeple bu tür problemlerin çözümü için tüm çözüm alternatiflerini tek tek denemek yerine sezgisel ve meta sezgisel yöntemler kullanılması en etkili yoldur. Elde edilen çözümün en iyi çözüm olduğu kesin olmamakla beraber kabul edilebilir ve optimum bir çözüm olduğu açıktır. Geliştirilen yeni optimizasyon yöntemlerinin birbirlerine göre üstünlüklerini göstermek için de araştırmacılar tarafından GSP bir test alanı olarak kullanılmaktadır [20,21]. GSP birçok gerçek hayat problemine uygulanmakla birlikte en çok yol ve rota planlama gibi konularda kullanılmaktadır. GSP başlıca uygulama alanları; baz istasyonu kurulacak noktaların seçilmesi, ulaşım, nakliye, lojistik süreçlerinin ayarlanması, üretim akış sistemlerinin oluşturulması, her türlü araç rotası belirleme problemleri, depolarda bulunan vinçler için güzergah belirlenmesi, stok sahalarından ürün toplanması, uçakların uçuş rotalarının ve havaalanlarının seçilmesi, elektronik kartlar için baskı devresi geliştirilmesi, baskı ve matbaa işlerinin planlanması, kablolama, fabrikalarda makine ve hatların yerleşimi, sipariş alma gibi listelenebilir [34,39,40].

GSP, bir tam sayılı doğrusal programlama modeli ile ifade edilebilir. x_{ij} , i düğümünden j düğüme hareket edilip edilmeyeceğini belirleyen ikili bir karar değişkeni ve N düğüm sayısı olmak üzere model aşağıdaki gibidir [41]:

$$\min z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1; j = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1; i = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$u_i - u_j + Nx_{ij} \leq N - 1; \forall i, j; i \neq j \quad (4)$$

$$u_j \geq 0; \forall j \quad (5)$$

$$x_{ij} \in [0,1]; \forall i, j \quad (6)$$

Yukarda verilen denklemlerde (1), toplam maliyetin minimize edilmesi için amaç fonksiyonudur. (2) ve (3), $i - j$ yolunun güzergahta kullanılıp kullanılmadığını gösteren kısıtlardır. (4), iç içe alt turların oluşmasını engellemektedir. (5), değişkenleri tanımlamaktadır. (6), ikili değişken olarak tanımlanan karar değişkenini göstermektedir [41,42].

Amaç fonksiyonu değişikliği ya da farklı kısıtlar kullanılarak değişik tiplerde GSP'ler oluşturulmuştur. Bunlardan bazıları, simetrik, asimetrik, kârlı, zaman pencereli, belirsiz, iki depolu heterojen, çoklu, dinamik, genelleştirilmiş, açık döngülü GSP'ler olarak listelenebilir. GSP çözümünde önceleri klasik metotlar kullanılmıştır. Bunlar kesin ve sezgisel yöntemlerdir. Çözüm uzayı eğer çok büyürse klasik metotlar yetersiz gelmekte olup bu durumlarda popülasyon temelli algoritmalar kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan iki algoritma olan GA ve KKO bu türden algoritmalardır [37,43].

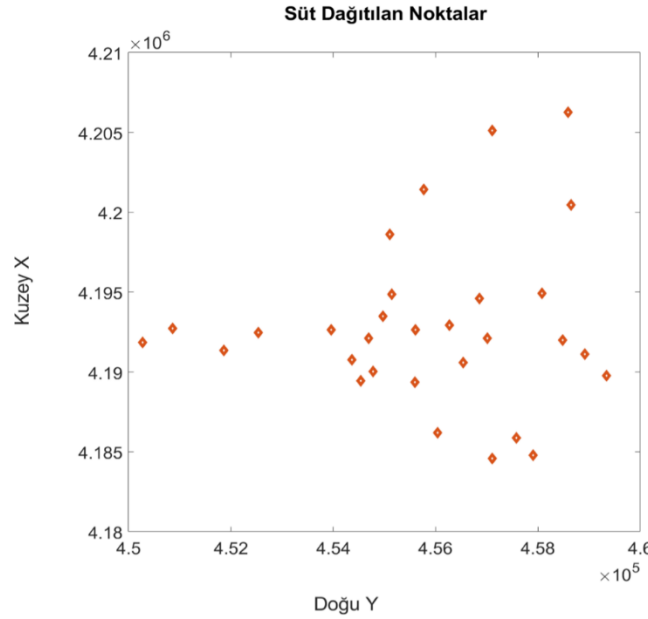
MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHOD)

Bu çalışmada, mandırada üretilen çiğ sütü müşterilerine dağıtan bir firma (STB, Karaman Caddesi No:510/A, Konya, Türkiye) için, en kısa dağıtım güzergahı, zeki algoritmalar kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Mandırada, sabah 120 litre ve akşam 80 litre olmak üzere günde ortalama 200 litre süt üretilmektedir. Üretilen süt, tek araçla, sabah 30 farklı noktaya akşam ise 18 farklı noktaya dağıtılmaktadır. Bu çalışmada sabah süt dağıtımı yapılan 30 noktadan oluşan güzergahın optimizasyonu yapılmıştır. Tablo 1’de süt dağıtımı yapılan noktaların evrensel enlem merkatörü formatında Y ve X koordinatları verilmiştir. Şekil 1’de ise aynı düğüm noktalarının yine evrensel enlem merkatörü formatında koordinatlarının harita üzerindeki yerleşimi görülmektedir.

Tablo 1

Süt dağıtılan noktaların evrensel enlem merkatörü formatında koordinatları

Noktalar	Bölge	Doğu Y	Kuzey X
P1	36S	457583	4185865
P2	36S	457106	4184589
P3	36S	457908	4184798
P4	36S	456537	4190593
P5	36S	459339	4189774
P6	36S	458917	4191133
P7	36S	458487	4191997
P8	36S	457013	4192117
P9	36S	455601	4189360
P10	36S	454536	4189439
P11	36S	454777	4190025
P12	36S	454365	4190754
P13	36S	455603	4192647
P14	36S	454696	4192100
P15	36S	453964	4192649
P16	36S	454975	4193493
P17	36S	455144	4194873
P18	36S	456275	4192930
P19	36S	455105	4198625
P20	36S	455766	4201435
P21	36S	458650	4200450
P22	36S	458586	4206271
P23	36S	457103	4205121
P24	36S	452533	4192469
P25	36S	450862	4192732
P26	36S	450274	4191840
P27	36S	451865	4191360
P28	36S	456039	4186201
P29	36S	456859	4194591
P30	36S	458083	4194938

**Şekil 1**

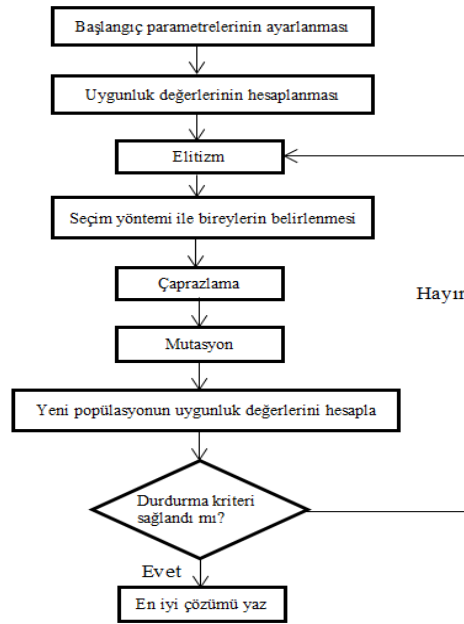
Süt dağıtılan noktaların koordinat sisteminde haritalanması

Firmaya ait araç P1 noktasında bulunan mandıradan başlayarak tüm noktalara uğramakta ve en son başladığı noktaya geri dönmektedir. Bu çalışmada literatürde erişilebilen ve yaygın olarak kullanılan GA kodları [44,45] ve KKOA kodları [46,47] baz alınarak çalışmalar yapılmıştır. Kullanılan algoritmalar ile ilgili genel literatür bilgi aşağıda verilmiştir.

GA (GA)

GA, 1975'te John Holland tarafından geliştirilmiştir [48]. Bu algoritma doğada var olan genetik adaptasyondan esinlenmiştir. David Goldberg tarafından 1989 yılında yapılan çalışmayla birlikte çok yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Şekil 2'de GA akış şeması verilmiştir [49,50].

GA lineer olmayan problemlerin çözümünde kullanılabilecek özelliktedir. GA çok sayıda değişkeni olan zor problemler için popülasyon temelli meta sezgisel bir metottur [50]. Ön bilgi ya da varsayımlara ihtiyaç duymadan sadece amaç fonksiyonu ile GA kullanılabilir. GA işleyişinde kromozom ve genler örnek alınmaktadır. Değişkenler kromozom benzeri dizilerdeki genler gibi tutulmaktadır. Her değişken kullanılan kodlamaya bağlı olarak tek başına ya da bir grup genle temsil edilmektedir. GA 'da yürütülen iterasyonlarda, kromozomlarda çeşitli değişiklikler yapılmakta ve optimum çözüm noktası bulunmaya çalışılmaktadır. Bu değişiklikler için genetik operatörler kullanılmaktadır. Bu operatörler, başlangıç popülasyonunun seçilmesi, çaprazlama ve mutasyon ile en iyi çözümün seçilmesi gibi sıralanabilir. GA'da; ikili kodlama, gerçek değerli kodlama ve permütasyon kodlama gibi çeşitli kodlama tipleri kullanılabilir mevcuttur. İkili kodlamada genler 0 ve 1 değerlerinden oluşur ve ikili sistemde temsil edilir. Değişkenlerin kendi sayısal değerleri ile ifade edildiği kodlama tipi ise gerçek değerli kodlama olarak adlandırılır. Permütasyon kodlamada ise önemli olan sıralamadır ve tekrara müsaade edilmeyen GSP gibi problemlerin çözümünde kullanılır. GA popülasyon temelliyse,

**Şekil 2***GA akış şeması*

en iyi çözümün aranması ilgili çözüm uzayına ait bir noktada değil noktalar kümesiyle gerçekleştirilmektedir. Öncelikle belli miktarda bir kromozom kullanılarak popülasyon oluşturulur. Çözüme ilkel bir başlangıç popülasyonu kullanılarak başlanır. Başlangıç popülasyonu rastgele seçim esaslarına ya da çok basit seçim tekniklerine bağlı olarak oluşturulur. Genlerde bulunan değişkenler, fonksiyonda işlenerek kromozom uygunluk değeri hesaplanır. Bundan sonra seçim operatörü devreye girer. Doğada var olan iyi ve güçlülerin hayatta kalması zayıf olanların ise elenmesi işlemine benzer şekilde iyi olanlar seçilirken diğerleri elenir. Burada da değişik seçim metotları bulunmaktadır. En çok kullanılanlar rulet tekerleği, stokastik örnekleme, turnuva, sıralı seçim yöntemi gibi sıralanabilir [51]. Daha sonra çaprazlama operatörünün sırası gelir. Çaprazlamada amaç iki bireyin de farklı özelliklerini taşıyan daha iyi nesil elde etmektir. Bu şekilde daha yüksek uygunluk değerinde çözüm alternatifleri üretilmektedir. İkili kodlamada tipinde daha çok tek, iki ve çok noktalı çaprazlama kullanılmaktadır [52]. Permütasyon kodlamada ise sıralı [49], pozisyona dayalı ve dairesel çaprazlama yaygındır [53]. Gerçek değerli kodlamada, kesikli üretim, çizgi üretim, aritmetik çaprazlama kullanılır. Mutasyon operatörü ise tekrar erişilmesi mümkün olmayan çözüm alternatiflerinin kaybına karşı geliştirilmiş olup çok düşük bir olasılıkla rastgele bir gende yapılan tesadüfi değişikliklerdir [50]. Değişken ikili ise, değerin; 0 ise 1'e, 1 ise 0'a çevrilmesinden ibarettir. Permütasyon kodlamadaysa birçok mutasyon çeşidi vardır. Bunlar toplu kaydırma, yakın kaydırma, uzak kaydırma, sıralı değişim, tesadüfi değişim gibi sıralanabilir. Gerçek değerli kodlamada, değişken içeriği kararlaştırılan mutasyon adımı miktarınca azaltılır ya da eşit olasılıkla arttırılır. Bu şekilde, başlangıç popülasyonuna genetik operatörler uygulanarak yeni bir jenerasyon elde edilir. Gerekli tamamlanma koşulu sağlanıncaya kadar yeni popülasyonlar üretilmeye, iyiler seçilerek kötüler elenmeye devam eder. Elde edilen en iyi çözüm sonuç olarak verilir [54].

GA araştırmaları genellikle fonksiyon optimizasyonu ile ilgilidir. GA, geleneksel optimizasyon tekniklerinin baş edemediği zor, ayrık ve gürültülü fonksiyonları çözme konusunda daha etkilidir. Eğer optimize edilmesi gereken uygunluk fonksiyonu ayrık ise, kesikli noktalarda fonksiyonun türevi alınamaz ve bu yüzden türeve dayalı optimizasyon yöntemleri kullanılamaz. Ancak GA, problemleri çözmek için türeve ya da diğer yardımcı bilgilere ihtiyaç duymaz, bu nedenle özellikle bu tür problemleri çözerken geleneksel yöntemlere göre büyük bir avantaj sağlar [55,56].

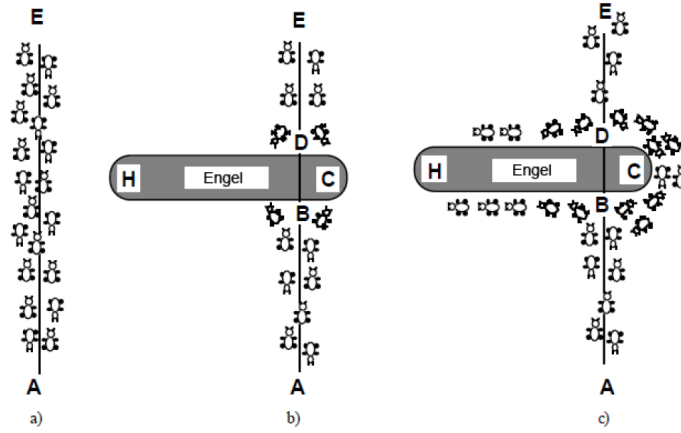
GA bileşenleri; çözümün temelini oluşturan bir ya da birkaç bitlik bloklardan oluşan gen, problem için olası bir çözümü temsil eden ve kromozom olarak da adlandırılan birey, bireylerden oluşan topluluk (popülasyon), bir fonksiyon ile hesaplanarak çözümün kalitesini belirleyen uygunluk (fitness), muhtemel çözümlerin farklı bölümlerini birleştirerek gerçekleştirilen mutasyon, olarak listelenebilir.

GA parametreleri ise birey sayısı, birey seçim yöntemi, çaprazlama olasılığı, mutasyon olasılığı değerleridir. Birey sayısı, oluşturulan popülasyonda kaç adet birey bulunacağını belirleyen parametredir. Birey sayısı az olursa yerel maksimum ve minimumlara takılma ihtimali artarken çok olduğunda işlem süresi uzamaktadır. GA, sezgisel yöntem olup birey sayısı da sezgisel olarak belirlenir. Birey seçim yöntemi, çaprazlamada hangi yöntemin seçileceğini belirleyen parametredir. Yaygın kullanılan yöntemleri, rulet seçim yöntemi, sıralama seçim yöntemi ve turnuva seçim yöntemidir. Çaprazlama olasılığı, yeni neslin oluşumunda seçilen bireylerin çaprazlama işlemine tutulma sıklığını belirleyen olasılıktır. Buna göre bireyler çaprazlanır ya da doğrudan sonraki nesle aktarılır. Çaprazlama olasılığının düşük olması, yeni neslin mevcut nesilden farkını azaltır, çözüm sürecini uzatır. Çaprazlama olasılığı için ideal değerler 0,7 ya da 0,75 olarak belirtilir. Mutasyon olasılığı, mutasyon işleminin sıklığını belirleyen olasılıktır. Buna göre bireyler mutasyona tabi tutulur veya doğrudan sonraki nesle aktarılır. Mutasyon olasılığı değeri çok yüksek ise optimum çözüme erişmek zorlaşır. Düşük ise çözüme ulaşmak gecikir. İdeal mutasyon oranı değeri 0.001 olarak yaygın kullanılır [57-59].

KKOA (KKOA)

Bu algoritma 1992 yılında Marco Dorigo tarafından geliştirilmiş ve doktora tezi olarak sunulmuştur [60]. KKOA genellikle GSP üzerine uygulamaları ile literatürde yer bulmuştur. KKOA, karınca davranışlarını referans alınarak, besin ve yön bulma davranışlarından kurgulanmış meta sezgisel bir yöntemdir. Karıncalar yiyecek ile kendi yuvaları arasında en küçük mesafeye sahip olan bir rota izlemektedir. Gittikleri her güzergâha da feromon denilen bir kimyasal bırakarak bu yolları işaretlemektedirler [61]. KKOA, gidilebilecek yolları araştırarak problemlerin çözümünde kullanılan olasılıksal bir tekniktir. İlham kaynağı gerçek karıncalardır. Karıncalar, besin ararken kullanacakları yolları, bu yolu daha önceden kullanan karıncaların bıraktığı feromon sayesinde belirlerler. Feromon, bir kimyasal madde olup, karıncaların bacaklarından salgılanır. Bu salgı bir süre yol üzerinde kalmakta ancak zamanla buharlaşarak azalmakta ve ortadan kaybolmaktadır. İlk önce karıncalar rastgele yollardan harekete başlarlar. Ancak en kısa yolu kullanan karıncalar daha kısa sürede yuvaya dönerler. Bu karıncalar yuvaya döndüklerinde, yola feromon bırakmış olurlar. Uzun yolu kullanan karıncalar henüz dönemedikleri için dönüş yoluna bıraktıkları feromon henüz yoktur. Yeni yola başlayan karıncalar kısa yolu kullanan karıncaların bıraktığı feromon sebebiyle feromon miktarı fazla olan kısa yola doğru yönelirler. Şekil 3'te karıncaların davranışı görülmektedir [49]. Eşit uzunluktaki yolda karıncalar yolları aynı oranda kullanır (Şekil 3a). Bir engel oluşturularak yolun uzaması halinde (Şekil 3b), oluşan gecikme yüzünden bu yoldaki feromon azalır. Bu sebeple uzun yolu kullanan karınca sayısı azalırken (Şekil 3c) kısa yolu kullanan karınca sayısı hızla artar. Zaman ilerledikçe, kısa mesafeli rotalarda feromon miktarı artmakta ve bu yolu kullanan karınca sayısı artmaktadır. Uzun yollarda ise feromon artmadığı için kullanan karınca sayısı azalmaktadır. Buharlaşma etkisi ile gitgide daha az feromon kalmaktadır. Bir süre sonra bu yolu kullanan karınca kalmayacaktır [62,63]. Başlangıç çözümü olarak bir grup yapay karınca rastgele yollar kullanarak seyahatlerine başlamakta ve tamamlanan tur sonunda yuvaya geri dönmektedir. Kullanılan yollar üzerine feromon bırakılmaktadır. İlk turun ardından ikinci tur başlamakta, bu turda kısa yollar üzerinde daha fazla feromon olduğundan kısa yollar daha fazla tercih edilir olmaktadır. Her turun sonunda, belirlenen oranda bir buharlaşma hesap edilerek feromon miktarı buna göre yeniden güncellenmektedir. Bu şekilde kötü çözümler ortadan kalkmakta, feromon miktarının fazla olduğu güzergâhlar ise en iyi çözüm olarak sunulmaktadır. Böylece algoritma lokal minimumlara takılmadan çözüm arayışını sürdürmektedir. Feromon güncellemesi sayesinde daha iyi çözüm üreten rotaya feromon eklenerek bu yolun daha cazip hale getirilmesi sağlanmaktadır. Bulunan en iyi çözüm

sonuç olarak sunulmaktadır [64]. Gezgin satıcı problemlerinde çok kullanılan bir algoritmadır. Su damlası algoritması gibi yeni nesil çok farklı algoritmalar da bu tür problemlerin çözümünde kullanılmaktadır [65].



Şekil 3

Gerçek karıncalar ile bir örnek

KKOA ayrıık optimizasyon problemlerini çözmeye yaygın olarak kullanılan model tabanlı arama algoritmaları sınıfındandır [55,66]. Kolonideki karınca sayısı (n), arama işleminin kaç defa yapılacağını belirleyen iterasyon sayısı, düğümlerin arasında bulunan feromon miktarlarının önem derecesini ortaya koyan feromon kuvvetlendirme oranı (α), düğümler arası uzaklığın önemini derecelendiren sezgisellik kuvvetlendirme oranı (β), işletilen her iterasyonun sonunda düğümlerin arasında bulunan feromonların ne kadar buharlaşacağını belirleyen feromon buharlaşma oranı (ρ), başlıca KKO A parametreleridir. KKO A'da kaç karınca kullanılacağı öncelikle belirlenir. Karıncaların her biri her bir düğümü tek tek dolaşmak üzere, herhangi bir düğüme rastgele yerleştirilir. Bir düğümden sonrakine gidebilmenin matematiksel denklemi (7) deki gibidir [59,67,68].

$$P_{ij}^l = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^l} [\tau_{il}]^\alpha [\eta_{il}]^\beta}, \text{ eğer } j \in N_i^l \quad (7)$$

Burada; P_{ij}^l , l karıncası için i düğümünden j 'ye geçme olasılığıdır. τ_{ij} , i düğümü ile j düğümü arasında bulunan feromonun değeridir. η_{ij} , i düğümü ile j düğümü arasında bulunan sezgisel değerdir. α feromon katsayısıdır. β sezgisel katsayıdır. N düğümler kümesidir. KKO A işletim sırası adımları aşağıdaki gibidir [59]:

- 1) Sayısı belirlenen karıncalar düğümlere rastgele yerleştirilir.
- 2) Karıncalar α ve β değerlerine göre düğümleri dolaşarak rotalarını oluştururlar.
- 3) Her bir karınca için güzergâh uzunluğu hesaplanır.
- 4) Güzergâh mesafelerine göre yollarda bulunan feromon miktarı artırılır.
- 5) ρ değerine göre yollardaki feromon buharlaştırılarak değeri azaltılır.

Ayarlanan nesil sayısı ya da hedef değerine erişilinceye kadar 2 nolu adıma gidilerek işlem tekrarlanır.

Çalışma Parametreleri (Working Parameters)

Bu çalışmada kullanılan algoritmalar her bir problem için 20 defa çalıştırılmış ve sonuçları; bulunan en iyi değer (minimum), bulunan en kötü değer (maksimum), 20 denemenin ortalaması (ortalama), 20 denemenin standart sapması (standart sapma) ve optimumu bulma sayısı (OBS) başlıkları

altında değerlendirilmiştir. Her iki algoritma, 30 farklı noktadan oluşan süt dağıtım güzergahına ait en kısa rotayı belirlemek için çalıştırılmıştır. Popülasyon sayısı 100 olarak alınmıştır. Durdurma kriteri olarak fonksiyon çağırma sayıları kullanılmış ve iterasyon sayısı 10.000 olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonu ile yapılan her bir işlem bir fonksiyon çağırma olarak adlandırılmış olup, bu işlemin bütün noktalar için değerlendirilmesi iterasyonu oluşturmaktadır. Denemeler 20 tekerrürlü olarak yapılmıştır. Kullanılan algoritmalara ait temel parametreler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2*Algoritmalara ait parametreler*

GA		KKOA	
Parametreler	Değerler	Parametreler	Değerler
Durdurma Kriteri	İterasyon Sayısı	Durdurma Kriteri	İterasyon Sayısı
İterasyon Sayısı	10.000	İterasyon Sayısı	10.000
Birey Sayısı	100	Karınca Sayısı	100
Birey Seçim Yöntemi	Sıralama	α Feromon Kuvvetlendirme	3,0
Çaprazlama Olasılığı	0,9	β Sezgisellik Kuvvetlendirme	6,0
Mutasyon Olasılığı	0,1	ρ Feromon Buharlaştırma	0,15

BULGULAR (RESULTS)

Her iki algoritma için, 30 farklı noktaya sahip güzergâh, 10.000 amaç fonksiyonu çağırma limiti ve 20 tekerrürlü olarak yapılan çalışma sonuçları Tablo 3’te verilmiştir. Algoritmaların performansını belirleyen gösterge değerleri ise Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 3*Algoritmalara ait parametreler*

Deneme	GA (m)	KKOA (m)
1	61.062,8	63.995,9
2	61.062,8	69.556,0
3	61.062,8	68.135,7
4	61.062,8	71.040,3
5	61.062,8	68.965,5
6	61.062,8	67.530,5
7	61.062,8	67.833,2
8	61.062,8	61.062,8
9	61.062,8	69.426,1
10	61.062,8	69.908,9
11	61.062,8	67.688,9
12	61.062,8	71.128,6
13	61.062,8	70.098,9
14	61.062,8	69.390,5
15	61.062,8	61.062,8
16	61.062,8	61.334,2
17	61.062,8	61.062,8
18	61.062,8	61.713,5
19	61.062,8	61.193,1
20	61.062,8	61.062,8
ORTALAMA	61.062,8	66.159,5
STANDART SAPMA	0,0	4.012,1

Tablo 4*GA ve KKOAların performans göstergeleri*

Algoritmalar	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma	OBS
GA	61.062,8	61.062,8	61.062,8	0,0	20
KKOA	61.062,8	71.128,6	66.159,5	4.012,1	3

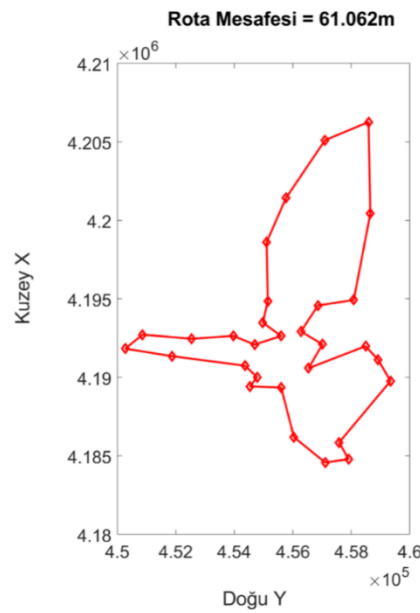
Tablo 3 ve Tablo 4 ’teki sonuçlar incelendiğinde çalışmada elde edilen en kısa mesafe 61.062,8 m olup her iki algoritma tarafından da bulunmuştur. GA, elde edilen en kısa rotayı tüm denemelerde bulmuştur. KKOAl ise en kısa rotayı 3 kere yakalayabilmiştir. Firmanın normalde kullanmakta olduğu güzergâhın uzunluğu 78.856,9 m’dir. Zeki algoritmalar kullanılarak elde edilen güzergâhların tamamı

bu mesafeden daha kısadır. Tablo 5'te firmanın halen kullandığı mevcut rota ile zeki algoritmaların kullanılmasıyla elde edilen en kısa mesafeye sahip rota verilmiştir. Bulunan en kısa rota sayesinde güzergahın uzunluğu 61.062,8 m'ye düşerek %22,6 azalmıştır. Bu rota önerilen rota olarak sunulmuştur. Çalışmada elde edilen en uzun rota ise 71.128,6 m olarak KKO'A'da bulunmuştur. GA ve KKO'A standart sapma değerleri sırasıyla 0 ve 4.012,1 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4 çalışmada bulunan en kısa rotayı, Şekil 5 ise bu rotaya ait yakınsama eğrisini göstermektedir. Şekil 4 ve Şekil 5'te sunulan değerler GA kullanılarak elde edilmiştir.

Tablo 5

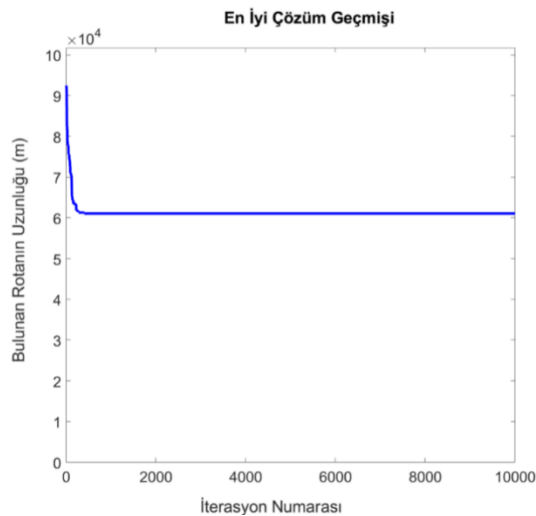
Mevcut rota ve önerilen rota

Rota	Sıralama	Mesafe (m)
Mevcut	1 3 2 28 9 10 11 12 4 5 6 7 8 18 29 30 13 14 15 16 17 24 27 26 25 19 21 20 23 22 1	78.856,9
Önerilen	1 3 2 28 9 10 11 12 27 26 25 24 15 14 13 16 17 19 20 23 22 21 30 29 18 8 4 7 6 5 1	61.062,8



Şekil 4

Çalışmada bulunan en kısa rota



Şekil 5

Çalışmada bulunan en iyi rotaya ait yakınsama eğrisi.

Şekil 4'te verilen rota hem GA hem de KKO A algoritması tarafından bulunmuştur. GA her seferinde en kısa rotayı ve aynı değeri bulmuştur. GA optimumu bulma sayısı 20 olurken, KKO A için bu değ er 3 olarak gerçekleşmiştir. GA lokal minimumlara takılmama konusunda daha başarılı olmuştur. GA ve KKO A rotalarının ortalamaları sırasıyla 61.062,8 m ve 66.159,5 m olarak gerçekleşmiştir. Şekil 6'da GA tarafından bulunan en kısa rotanın Google Earth üzerinden kuşbakışı ekran görünümü verilmiştir.



Şekil 3

(a) Orijinal temiz görüntü, gürültülü görüntü ve gürültü kalıntısı örneği, (b), (c) ve (d) sırasıyla ADOM

TARTIŞMA (DISCUSSION)

Benzer literatür çalışmalarında, GSP çözümünde kullanılan algoritmaların performans kriterleri incelendiğinde, KKO A performans değ erlerinin GA performans değ erlerine göre bir miktar daha iyi olduğu gözlemlenmektedir. Bu çalışmada ise GA bariz şekilde daha başarılı olmuştur. Ortaya konulan bu net üstünlüğün değ erlendirmesi tam olarak yapılamamıştır.

GA kodlamasının çözüm aranan probleme daha başarılı şekilde uyarlanmış olabileceği ya da problem uzayının özelde GA ile çözüme daha elverişli olabileceği düşünülmüştür. GA, diğ er arama yöntemlerine göre farklı ve avantajlı özelliklere sahiptir. GA, parametrelerin doğ rudan kendisi yerine onların kodlarıyla ilgilenir ve arama iş lemini yalnızca belirli noktalarda değ il, tüm popülasyon üzerinde gerçekleştirir. Amaç fonksiyonunu kullanarak hedefe yönelik sonuçlar üretir ve stokastik operatörlerle çalışır. Bu da onu deterministik yöntemlerden ayırır. GA 'nın meta sezgisel yöntemlere kıyasla esneklik, sürekli ve kesikli değ iş kenlerle çalışabilme, geniş arama alanı ve çoklu iyi çözümler sunabilme gibi avantajları vardır. Ayrıca, paralel hesaplama teknikleri kullanarak iş lem süresini kısaltabilir ve optimum olmayan durumlarda bile optimuma yakın çözümler sunar.

KKO A 'da parametre seçimi başarı sürecinde çok etkilidir. Bu çalışmada, KKO A için parametre seçiminin iyi yapılamamış olabileceği, algoritmayı ifade edecek kodların oluşturulması ve algoritmanın çözüm aranan probleme uyarlanması gibi hususlarda KKO A tasarımının yeterince iyi yapılamamış olabileceği de mütalaa edilmiştir [69,70].

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan çalışmada, çiğ süt dağıtımını yapan bir firmanın dağıtım güzergahı rotasının minimize edilmesi için GA ve KKO A kullanılmıştır. Her iki algoritma tarafından bulunan güzergahların tümü, firmanın halen kullanmakta olduğu ve araç ş oförlerinin inisiyatifinde belirlenen güzergâhtan daha kısadır. Çalışmada elde edilen en kısa rota, her iki algoritma tarafından da bulunmuş olup firmanın

mevcut kullandığı rotaya göre % 22,6 daha kısadır. GA ve KKO A performans kriterleri incelendiğinde, GA çok daha başarılı olmuş, her seferinde en kısa rotayı vermiş, lokal minimumlara takılmamıştır.

Çalışma çiğ süt dağıtım süreci için yapılmıştır. Ancak süt toplama süreci de aynı karakteristik özelliklere sahiptir. Süt toplanması ve dağıtılması işi için binlerce araç kullanılmaktadır. Her iki süreç için taşıma güzergahlarının belirlenmesinde zeki algoritmaların kullanılması halinde taşıma mesafeleri kısılacaktır. Azalan mesafe sayesinde, bozulan süt miktarı azalacaktır, aynı araçla daha fazla süt toplama ve süt dağıtma imkânı oluşacaktır. Çiğ süt taşınmasında kullanılan araç sayısı, bakım ve akaryakıt giderleri, personel sayısı gibi maliyetler azalacaktır. Süt maliyeti içerisindeki çiğ süt taşıma maliyeti %15-20 gibi yüksek bir paya sahiptir. Uygulamanın ülke genelinde yaygınlaştırılması taşıma maliyetlerini azaltarak süt maliyetinin düşülmesine katkı sağlayacaktır.

Etik Beyan (Ethical Statement)

Bu çalışma, yazar tarafından tasarlanıp geliştirilen özgün bir araştırma makalesidir.

Yazar Katkıları (Authors Credit)

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) N.Ç. (%100)

Veri Toplama (CRediT 2) N.Ç. (%100)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) N.Ç. (%100)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) N.Ç. (%100)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) N.Ç. (%100)

Finansman (Financing)

Bu çalışma kapsamında herhangi bir kurum/kuruluştan finansal destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarın bu çalışma için beyan ettiği herhangi bir çıkar çatışması yoktur. (The author has no conflicts of interest to disclose for this study.)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları 9: Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları 13: İklim Eylemi

Teşekkür (Acknowledgements)

Çalışmada kullanılan verilerin temini için STB (Konya) firmasına ve Sn. Vehbi Bülüş'e, çalışmadaki destekleri için Sn. Şaban Gülcü, Sn. Vahit Tongur, Sn. Mehmet Çunkaş'a, yardımları için Sn. Humar Kahramanlı Örnek'e teşekkür ederim.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] TÜİK, Süt Ürünleri İstatistikleri, (2024). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=85&locale=tr> (erişim 01 Nisan 2024).
- [2] A. Burcu, S. Özdemir, Erzurum’da süt toplama merkezlerinden alınan çiğ sütlerin somatik hücre sayısı ile bazı kalite niteliklerinin belirlenmesi, *ATA-FOOD Journal*. 1-3 (2022), 1-6.
- [3] A. Güleç, Konya İl Merkezinde İşlenen Çiğ Sütlerin Mikrobiyolojik Kalitesi ve Somatik Hücre Sayılarındaki Değişimin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, 2021.
- [4] TÜİK, Çiğ Süt Üretim İstatistikleri, (2022). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Cig-Sut-Uretim-Istatistikleri-2022-49699> (erişim 31 Mayıs 2024).
- [5] FAO Avrupa ve Orta Asya Bölge Ofisi Politika Yardımları Şubesi., AB Giriş Süreci Çerçevesinde Türkiye’de Süt ve Süt Ürünleri Sektörüne Genel Bakış., *FAO Birleşmiş Milletler Gıda Ve Tarım Örgütü*, Roma İtalya, 2007.
- [6] Ambalajlı Süt Üreticileri Derneği, ASÜD’ten süt lojistiği için çözüm önerisi, (2015). <https://www.lojistikhatti.com/haber/2015/09/asudten-sut-lojistigi-icin-cozum-onerisi> (erişim 01 Nisan 2024).
- [7] Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, Z. Y. Ataseven, Durum ve Tahmin Süt ve Süt Ürünleri, (2023). <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Durum-Tahmin%20Raporlari/2023%20Durum-Tahmin%20Raporlari/Sut%20ve%20Sut%20Urunleri%20Durum%20Tahmin%20Raporu%20023-372%20TEPGE.pdf> (erişim 01 Nisan 2024).
- [8] S. Tekin, Z. Leblebici, Nevşehir İlinde süt toplama merkezlerindeki çiğ sütün mikrobiyal kalite yönünden incelenmesi, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 11-1 (2022), 38–35. doi:10.17100/nevbittek.1119510.
- [9] FAO-Türkiye Gıda ve Tarım Ortaklık Programı (FTPP II). Orta Asya, Azerbaycan ve Türkiye’de Sürdürülebilir Balıkçılık ve Su Ürünleri Yetiştiriciliği Yönetimi için Kapasite Geliştirme (FISHCap). GCP/SEC/013/TUR. *Sazan Yetiştiriciliği Sanal Çalıştayı*. 8-9 Aralık, (2022). doi:10.4060/cb6715tr.
- [10] P. Ongkunaruk, Business Process analysis and improvement for a raw milk collection centre in Thailand, *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 3 (2015), 35–39. doi: 10.1016/j.aaspro.2015.01.009.
- [11] D. Yeşil, Niğde İl kaliteli süt üretimi optimum toplama ve taşıma planlaması, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*. 9-3 (2021), 568-576. doi:10.24925/turjaf.v9i3.568-576.4050.
- [12] O.D. Palsule-Desai, Cooperatives for fruits and vegetables in emerging countries: Rationalization and impact of decentralization, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 81 (2015), 114–140. doi:10.1016/j.tre.2015.06.011.
- [13] K. Kaplan, A. Çiçek, Türkiye’de çiğ süt fiyatları ile süt yemi fiyatları arasındaki nedensellik ilişkisinin Toda-Yamamoto testi ile belirlenmesi, *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*. 10-2 (2022), 336-345.
- [14] H. Yildirim, M. Çimen, A. İlhan, Z. Turan, Z. Demir, B. Demir, Adıyaman ilinden elde edilen inek sütlerinde ekonomik öneme sahip biyokimyasal parametrelerin AB ve Türk standartlarına uygunluklarının belirlenmesi, *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*. 6-22 (2014), 1-7.
- [15] P. Toth, D. Vigo, Vehicle Routing: problems, methods, and applications. Society for industrial and applied mathematics. Second Edition. *Philadelphia, Pennsylvania: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM, 3600 Market Street, Floor 6, Philadelphia, PA 19104)*, (2015), doi:10.1137/1.9781611973594.

- [16] S. Gulcu, E. Madenci, The Optimization of Laminated Composite Beams Using Particle Swarm Optimization Algorithm, *5nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'20)*, Cappadocia /TURKEY, October 16-17-18, 2020
- [17] S. Liu, L. Lei, S. Park, On the multi-product packing-delivery problem with a fixed route, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 44-3 (2008), 350-360. doi:10.1016/j.tre.2006.10.009.
- [18] G. Paredes-Belmar, V. Marianov, A. Bronfman, C. Obreque, A. Lüer-Villagra, A milk collection problem with blending, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 94 (2016), 26-43. doi:10.1016/j.tre.2016.07.006.
- [19] P. Ongkunaruk, Business process analysis and Improvement for a raw milk collection centre in Thailand, *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 3 (2015), 35–39. doi:10.1016/j.aaspro.2015.01.009.
- [20] I. Dayarian, T.G. Crainic, M. Gendreau, W. Rei, A column generation approach for a multi-attribute vehicle routing problem, *European Journal of Operational Research*. 241(3) (2015), 888-906. doi:10.1016/j.ejor.2014.09.015.
- [21] A.E. Dooley, W.J. Parker, H.T. Blair, Modelling of transport costs and logistics for on-farm milk segregation in New Zealand dairying, *Computers and Electronics in Agriculture*. 48(2) (2005), 75-91. doi:10.1016/j.compag.2004.12.007.
- [22] K. Sethanan, R. Pitakaso, Differential evolution algorithms for scheduling raw milk transportation, *Computers and Electronics in Agriculture*. 121 (2016), 245–259. doi:10.1016/j.compag.2015.12.021.
- [23] U. Pasha, A. Hoff, A. Løkketangen, A Hybrid approach for milk collection using trucks and trailers, *Annals of Management Science*. 3 (2014) 85-108. doi:10.24048/ams3.no1.2014-85.
- [24] B. Gökçe, O.B. Özden, Kaynaklı bağlantıya sahip karmaşık bir yapıda goldak modeli kullanılarak distorsiyonların ve kalıntı gerilmelerin nümerik analizler ile belirlenmesi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5-2 (2023), 53-64. doi:10.47112/neufmbd.2023.9
- [25] M. Hacibeyoglu, M. Çelik, Ö.E. Çiçek, K en yakın komşu algoritması ile binalarda enerji verimliliği tahmini, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5-2 (2023), 65-74. doi:10.47112/neufmbd.2023.10.
- [26] M. Karakoyun, A. Özkiş, Transfer fonksiyonları kullanarak ikili güve-alev optimizasyonu algoritmalarının geliştirilmesi ve performanslarının karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 3(2) (2021), 1-10.
- [27] F. Özen, R.O. Kabaoğlu, T.V. Mumcu, Deep learning based temperature and humidity prediction, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5(2) (2023), 219-229. doi:10.47112/neufmbd.2023.20.
- [28] A. Pektaş, O. İnan, Ağaç Tohum algoritmasının kümeleme problemlerine uygulanması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 4(1) (2022), 1-10.
- [29] N. Çankaya, Online measurement of flour particle size distribution using piezoelectric sensor, *KONJES*. 12(4) (2024), 941–954. doi:10.36306/konjes.1462390
- [30] A.K. Çopur, Some results on an iterative algorithm associated with enriched contractions in banach spaces, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5(2) (2023), 123-133. doi.org/10.47112/neufmbd.2023.1
- [31] M. Caramia, F. Guerriero, A Milk collection problem with incompatibility constraints, *Interfaces*. 40(2) (2010), 130-143. doi:10.1287/inte.1090.0475
- [32] R. Masson, N. Lahrichi, L.-M. Rousseau, A two-stage solution method for the annual dairy transportation problem, *European Journal of Operational Research*. 251(1) (2016), 36-43.

- doi:10.1016/j.ejor.2015.10.058.
- [33] M. Shukla, S. Jharkharia, Agri-fresh produce supply chain management: a state-of-the-art literature review, *International Journal of Operations & Production Management*. 33(2) (2013), 114-158. doi:10.1108/01443571311295608.
- [34] I. Dayarian, T.G. Crainic, M. Gendreau, W. Rei, An adaptive large-neighborhood search heuristic for a multi-period vehicle routing problem, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 95 (2016), 95-123. doi:10.1016/j.tre.2016.09.004.
- [35] M. Alinaghian, N. Shokouhi, Multi-depot multi-compartment vehicle routing problem, solved by a hybrid adaptive large neighborhood search, *Omega*. 76 (2018), 85-99. doi:10.1016/j.omega.2017.05.002.
- [36] C.D. Tarantilis, C.T. Kiranoudis, A meta-heuristic algorithm for the efficient distribution of perishable foods, *Journal of Food Engineering*. 50(1) (2001), 1-9. doi:10.1016/s0260-8774(00)00187-4.
- [37] G.D.H. Claassen, Th.H.B. Hendriks, An application of special ordered sets to a periodic milk collection problem, *European Journal of Operational Research*. 180(2) (2007), 754-769. doi:10.1016/j.ejor.2006.03.042.
- [38] E. Ateş, Karınca kolonisi optimizasyonu algoritmaları ile gezgin Satıcı probleminin çözümü ve 3 boyutlu benzetimi, *Basılmamış Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmir*. (2012).
- [39] G.O. Büyüköz, H. Haklı, Gri Kurt optimizasyon algoritmasının P-Medyan problemlerine uygulanması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 6(1) (2024), 166-177. doi:10.47112/neufmbd.2024.40
- [40] N. Cankaya, O. Aydogdu, Three Parameter control algorithm for obtaining ideal postprandial blood glucose in Type 1 Diabetes Mellitus, *IEEE Access*. 8 (2020), 152305-152315. doi:10.1109/ACCESS.2020.3015454.
- [41] F. Ulu, Karınca kolonisi optimizasyonu algoritması ile depo rota planlaması, Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa*, 2023
- [42] M. Erat, M. Taşyürek, Karınca koloni ve genetik algoritma yöntemleri kullanarak en iyi sayaç okuma güzergahının tespit edilmesi, *DÜMF Mühendislik Dergisi*. 13(3) (2022), 405-411. doi:10.24012/dumf.1072010
- [43] N. Lahrichi, T. Gabriel Crainic, M. Gendreau, W. Rei, L.-M. Rousseau, Strategic analysis of the dairy transportation problem, *Journal of the Operational Research Society*. 66(1) (2015), 44-56. doi:10.1057/jors.2013.147
- [44] M. Vedenyov, Travelling salesman problem with Genetic algorithm, (2011). <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/31818-travelling-salesman-problem-with-genetic-algorithm> (erişim 01 Nisan 2024).
- [45] C. Andrea, Simple example of genetic algorithm for optimization problems, (2011). <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/34144-simple-example-of-genetic-algorithm-for-optimization-problems> (erişim 01 Nisan 2024).
- [46] S. Ibrahim, Ant Colony Optimization (ACO) to solve traveling salesman problem (TSP), (2015). <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/51113-ant-colony-optimization-aco-to-solve-traveling-salesman-problem-tsp> (erişim 01 Nisan 2024).
- [47] Y. M. Heris, Ant Colony Optimization (ACO), (2015). <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/52859-ant-colony-optimization-aco> (erişim 01 Nisan 2024).
- [48] J.H. Holland, Genetic Algorithms and Adaptation, içinde: O.G. Selfridge, E.L. Rissland, M.A.

- Arbib (Ed.), *Adaptive Control of Ill-Defined Systems*, Springer US, Boston, MA, (1984), 317-333. doi:10.1007/978-1-4684-8941-5_21
- [49] M. Çunkaş, Genetik Algoritmalar ve Uygulamaları Ders Notları, *Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Konya*, (2006).
- [50] D.E. Goldberg, Genetic and evolutionary algorithms come of age, *Communications of the ACM*. 37(3) (1994), 113-120. doi/10.1145/175247.175259
- [51] M. Obitko, Genetic Algorithms, (1998). <https://www.obitko.com/tutorials/genetic-algorithms/>(erişim 01 Nisan 2024).
- [52] R. Sarker, C. Newton, A genetic algorithm for solving economic lot size scheduling problem, *Computers & Industrial Engineering*. 42 (2002), 189-198. doi:10.1016/s0360-8352(02)00027-x.
- [53] R. Cheng, M. Gen, Y. Tsujimura, A tutorial survey of job-shop scheduling problems using genetic algorithms, part II: hybrid genetic search strategies, *Computers & Industrial Engineering*. 36(2) (1999), 343-364. doi:10.1016/s0360-8352(99)00136-9.
- [54] T. Keskinürk, S. Şahin, Doğrusal olmayan regresyon analizinde gerçek değer kodlamalı genetik algoritma, (2009). <http://www.iticu.edu.tr/uploads/kutuphane/dergi/s15/167-178.pdf> (erişim 02 Nisan 2024).
- [55] T. T. Ergüzel, Sıvı Seviye Denetimi İçin Bulanık Denetleyici Parametrelerinin Karınca Koloni ve Genetik Algoritma İle Optimizasyonu, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı*, İstanbul, 2009.
- [56] V. Topuz, Bulanık genetik proses kontrolü, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı*, İstanbul, 2002.
- [57] D. Karaboğa, Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, *Nobel Akademi Yayıncılık*, 2014.
- [58] B. Özkan, Dinamik gezgin satıcı probleminin çözümü için bir eniyileme kütüphanesinin tasarımı ve görsel yazılım geliştirme ortamı ile birlikte gerçekleştirimi, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı*, İzmir, 2008.
- [59] H. Dikmen, H. Dikmen, A. Elbir, Z. Ekşi, F. Çelik, Gezgin satıcı probleminin karınca kolonisi ve genetik algoritmalarla eniyilemesi ve karşılaştırılması, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 18(1) (2014), 8-13.
- [60] M. Dorigo, Optimization, learning and natural algorithms, Doktora Tezi, *Politecnico di Milano*. (1992). <https://cir.nii.ac.jp/crid/1573950400977139328> (erişim 02 Nisan 2024).
- [61] T. Keskinürk, H. Söyler, Global karınca kolonisi optimizasyonu, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 21(4) (2006).
- [62] H. Söyler, T. Keskinürk, Karınca kolonisi algoritması ile gezen satıcı probleminin çözümü, (2007). <https://avesis.istanbul.edu.tr/yayin/fa22e262-7602-4e71-a57b-fac8e738152a/karinca-kolonisi-algoritmasi-ile-gezen-satici-probleminin-cozumu> (erişim 02 Nisan 2024).
- [63] Ş. Ekinici, K. Çarman, H. Kahramanlı, Investigation and modeling of the tractive performance of radial tires using off-road vehicles, *Energy*. 93 (2015), 1953-1963. doi:10.1016/j.energy.2015.10.070.
- [64] J. Brownlee, *Clever algorithms : nature-inspired programming recipes*. United Kingdom: Lulu.com, 2012.
- [65] S.D. Gülcü, Ş. Gülcü, H. Kahramanlı, A.K. Campus, K. Selçuklu, Solution of travelling salesman problem using intelligent water drops algorithm, içinde: *Proceedings of the 2nd International Conference on Information Technology and Computer Networks, Montreal*, 2013.
- [66] M. Dorigo, G. Di Caro, L.M. Gambardella, Ant algorithms for discrete optimization, *Artificial Life*. 5(2) (1999), 137-172. doi:10.1162/106454699568728
- [67] Y.S. Özdemir, Karınca kolonisi algoritması ile bilgisayar ağlarının topolojik en iyilenmesi,

- Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara, 2008.
- [68] S. Serin, Karınca kolonisi yaklaşımıyla karayolu üstyapı rutin bakım çalışmalarının planlanması, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı*, Isparta, 2009.
- [69] G. Çalışkan, Uçak iniş operasyonları için meta sezgisel yaklaşımlar kullanarak online çizelgeleme uygulaması çalışması, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, 2020.
- [70] S.D. Dao, K. Abhary, R. Marian, An innovative framework for designing genetic algorithm structures, *Expert Systems with Applications*. 90 (2017), 196-208. doi:10.1016/j.eswa.2017.08.018.

Semptomatik ve Aseptomatik Bulaşmaların Etkisi ile COVID-19 Salgınının Matematiksel Modelinin Analizi

Özlem AK GÜMÜŞ^{1*} 

¹ Adıyaman University, Faculty of Arts and Science, Department of Mathematics, Adıyaman, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 09.05.2024
Kabul Tarihi: 18.07.2024
Yayın Tarihi: 31.12.2024

Anahtar Kelimeler:
COVID-19 Salgın Modeli,
Flip Çatallanma,
Lokal Asimptotik Kararlılık,
SIR Modeli.

ÖZET

Bu çalışma, COVID-19 salgın sürecini ifade eden ayrık zamanlı bir SIR modelinin kararlılığını ve flip çatallanmasını ele almaktadır. Aşının etkisini dikkate alan model, hastalığın bulaşmasında semptomatik bireylerin yanı sıra asemptomatik bireylerin de etkisini içerir. Denge çözümleri belirli parametrik koşullar altında elde edilir. Daha sonra bu denge çözümlerinin lokal kararlılıkları araştırılır. Pozitif iç denge çözümü için çatallanmanın varlığı belirlenir.

Analyzing a Mathematical Model of the COVID-19 Pandemic with the Impact Symptomatic and Asymptomatic Transmissions

Article Info

Received: 09.05.2024
Accepted: 18.07.2024
Published: 31.12.2024

Keywords:
COVID-19 Pandemic
Model,
Flip Bifurcation,
Local Asymptotic
Stability,
SIR Model.

ABSTRACT

This study addresses the stability and flip bifurcation of a discrete-time SIR model expressing the COVID-19 pandemic. The model considers the effect of the vaccine, asymptomatic individuals, as well as symptomatic individuals in the transmission of the disease. Equilibrium solutions are obtained under certain parametric conditions. Then, the local stabilities of these equilibrium solutions are investigated. The existence of bifurcation is determined for the positive interior equilibrium solution.

To cite this article:

Ak Gümüş, Ö. (2024). Analyzing a mathematical model of the COVID-19 pandemic with the impact symptomatic and asymptomatic transmissions. *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, 6(3), 543-556. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.64>

***Sorumlu Yazar:** Özlem Ak Gümüş, akgumus@adiyaman.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

INTRODUCTION

Modern epidemiological theory emerged in the first years of the 20th century. The first major theoretical contribution to epidemiological theory came from Hamer (1906), who proposed the idea that the rate of contact between susceptible and infectious individuals determines how quickly an epidemic spreads [1]. This concept as an important idea in mathematical epidemiology is proportional to the principle of "mass action" which posits the multiplication of the density of infectious individuals by the density of susceptible individuals to determine the rate of spread of a disease. Most deterministic and stochastic theories of disease dynamics are based on this simple suggestion. Afterwards, Kermack and McKendrick [2, 3, 4] published their theory predicting the number and distribution of infectious disease cases in a series of three papers in 1927, 1932, and 1933. These studies established fundamental steps for the application and development of epidemic models that describe infectious diseases. HIV/AIDS and Hepatitis B, as well as the Rubella, Zika, Ebola, Flu, SARS, MERS, and COVID-19 outbreaks, are a few examples of infectious diseases.

The novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreaks began in late December 2019 in Wuhan, China. COVID-19, a viral infection that has attracted worldwide attention for more than four years, is caused by the Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) [5, 6]. Unlike many other infectious diseases, COVID-19 is known to exhibit asymptomatic transmission as well as symptomatic transmission. Asymptomatic patients are defined as patients who show no signs of SARS-CoV-2 infection and can transmit the disease to other susceptible individuals [7]. Presymptomatic patients are cases that are defined as asymptomatic from diagnosis to isolation follow-up, and then, symptoms develop during their observation [8]. These patients can be evaluated in the asymptomatic class. Symptomatic patients are a group of patients who have symptoms at all stages of the diagnosis-treatment process. Therefore, unlike other infections, the R_0 (reproductive number of disease cases) value, representing the average number of secondary cases infected by a single infected person, is expected to be higher. The COVID-19 pandemic has affected most countries in the world, especially economically [9] and psychologically [10]. Since many infection cases emerged during the process of finding appropriate treatment methods against the disease or producing a vaccine, quarantine measures were taken to prevent the continuation of infection waves in the past. In the process, researchers, biologists, and medical experts have produced effective vaccines to control SARS-CoV-2 infections. Although many prevention mechanisms and other control measures have been established to reduce the spread of the disease, some deadly variants of the virus still threaten people's lives. In the literature, there are many studies with different perspectives describing the transmission of this virus [11, 12, 13, 14].

Creating useful models in many different fields or modifying existing models to reflect natural problems is effective in solving these problems [15, 16, 17, 18]. One of the best ways to understand the spread of an infection is to analyze mathematical models that have been developed so far.

We aim to develop a model for understanding the spread of COVID-19 infection cases. For this purpose, we characterize the transmission of the disease by the bilinear incidence rate which expresses contact between susceptible individuals and infected (symptomatic and asymptomatic (see [19])) individuals. We also take into account that there is currently no quarantine measure, and everyone can travel freely. We examine the transmission dynamics through the stability analysis and bifurcation theory of SARS-CoV-2 infections by including the vaccine in the model.

The dynamical behavior of the SIR epidemic model, which is an epidemic model of differential equations, was reported by Li and Wang [20] as follows

$$\dot{S} = A - dS - \lambda SI$$

$$\dot{I} = \lambda SI - (d + r)I$$

$$\dot{R} = rI - dR$$

where, $N_t = S_t + I_t + R_t$. $S(t)$, $I(t)$, $R(t)$, and $N(t)$ represent the numbers of susceptible, infectious, recovered, and total individuals at time t , respectively. A represents the population's recruitment rate, d stands for the population's natural death rate, r stands for the recovery rate of infectious individuals, and λ stands for the bilinear incidence rate.

In previous studies [21, 22], the authors studied the different dynamical behavior of the discrete-time model by implementing the forward Euler scheme to the model given in another study [20] and reducing it to two dimensions.

While creating our model, we were also inspired by the model given in the study they took as reference [20]. In this model, we included the vaccine to see the effect of the vaccine. So, we can reach the following equations:

$$\dot{S} = A - dS - \lambda SI - vS$$

$$\dot{I} = \lambda SI - (d + r)I$$

$$\dot{R} = rI - dR + vS$$

where, $N_t = S_t + I_t + R_t$.

The following discrete-time SIR epidemic model is produced using the forward Euler scheme with $\frac{dS}{dt} \approx \frac{S_{t+1}-S_t}{h}$, $\frac{dI}{dt} \approx \frac{I_{t+1}-I_t}{h}$, $\frac{dR}{dt} \approx \frac{R_{t+1}-R_t}{h}$, and by replacing t (continuous time) with $n=0,1,2,\dots$ (discrete-time)

$$S_{n+1} = S_n + h(A - (d + v)S_n - \lambda S_n I_n)$$

$$I_{n+1} = I_n + h(\lambda S_n I_n - (d + r)I_n)$$

$$R_{n+1} = R_n + h(rI_n - dR_n + vS_n)$$

where, $N_{n+1} = hA + (1 - hd)N_n$, $N_n = S_n + I_n + R_n$. The step size is denoted by h , A , d , λ , and r are used as stated in the aforementioned study [20]. Assumptions include that all parameters are positive, $S(0) > 0$, $I(0) \geq 0$, and $R(0) \geq 0$. Here, the third equation in model is the linear equation for R_n , while the previous two equations concern (S_n, I_n) and do not include R_n . As a result, the dynamical behaviors of model and the subsequent model are interchangeable,

$$S_{n+1} = S_n + h(A - (d + v)S_n - \lambda S_n I_n)$$

$$I_{n+1} = I_n + h(\lambda S_n I_n - (d + r)I_n)$$

which only consists of S_n and I_n .

In this study, we examine the next discrete-time SIR epidemic model which describes the interaction between susceptible individuals and infected (symptomatic and asymptomatic) individuals by including the vaccine v in this model:

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= x_n + h(A - (d + v)x_n - \gamma x_n y_n) \\ y_{n+1} &= y_n + h(\gamma x_n y_n - (d + r)y_n) \end{aligned} \quad (1)$$

where, $S_n \rightarrow x_n$ and $I_n \rightarrow y_n$ denote the numbers of susceptible individuals and infected individuals, respectively, and the parameters A, d, r, v, γ , and h are all positive parameters. In this model, $\lambda \rightarrow \gamma$ represents the bilinear incidence rate, and γ is the sum of $\beta + \xi$. The parameters β and ξ describe the

rate at which COVID-19 infections spread from asymptomatic and symptomatic infected individuals to susceptible individuals, respectively. Here, A denotes the recruitment rate of the population (or immigration), v is the vaccination rate, r refers to the recovery rate in infective individuals, d is the natural death rate within the population, and this death rate is an equal rate in each compartment in the model.

The paper is organized in the following manner: In Section 2, we explore the existence and local asymptotic stability of the fixed (equilibrium) points of the system (1) in $\mathbb{R}_+^2$. Section 3 delves into the dynamics of the system (1) experiencing a flip bifurcation, with A selected as the bifurcation parameter. The final section comprises discussions and results.

EXISTENCE AND STABILITY ANALYSES OF FIXED POINTS OF THE SYSTEM

This section presents an analysis of the existence and local stability of fixed points in the system (1) within $\mathbb{R}_+^2$. The local stability of fixed points in discrete-time systems is governed by the magnitudes of the eigenvalues of the Jacobian matrix.

To maintain solutions within the closed first quadrant, we can employ the following assessment: Let

$$\begin{aligned}f_{n+1}(x_n, y_n) &= x_n + h(A - (d + v)x_n - \gamma x_n y_n) \\g_{n+1}(x_n, y_n) &= y_n + h(\gamma x_n y_n - (d + r)y_n)\end{aligned}$$

such that $x_0 > 0$ and $y_0 > 0$. It is clear that if $y_n > 0$; and $x_n > \frac{h(d+r)-1}{hy}$, $h(d+r) > 1$, then $g_{n+1}(x_n, y_n) \geq 0$ for $n = 0, 1, 2, \dots$. The set of (x_n, y_n) that makes $f_{n+1}(x_n, y_n) \geq 0$ can be represented as

$$\Omega = \left\{ (x_n, y_n) : 0 \leq y_n \leq \frac{1 - h(d + v)}{hy}, h(d + v) < 1, x_n > 0 \right\}.$$

From an ecological standpoint, for $(x_n, y_n) \in \Omega$, if $(f_{n+1}(x_n, y_n), g_{n+1}(x_n, y_n)) \notin \Omega$, then a population collapse is implied. The two-dimensional discrete-time dynamical system is

$$\begin{aligned}x_{n+1} &= f(x_n, y_n), \\y_{n+1} &= g(x_n, y_n), \quad n = 0, 1, 2, \dots,\end{aligned}\tag{2}$$

and the functions $f: I \times J \rightarrow I$ and $g: I \times J \rightarrow J$ are continuously differentiable, where I and J are real number intervals. Moreover, a solution $\{(x_n, y_n)\}_{n=0}^{\infty}$ of system (2) is uniquely defined by initial conditions $(x_0, y_0) \in I \times J$. A fixed point $(\bar{x}, \bar{y})$ of (2) satisfies

$$\begin{aligned}\bar{x} &= f(\bar{x}, \bar{y}), \\ \bar{y} &= g(\bar{x}, \bar{y}).\end{aligned}$$

Let $(\bar{x}, \bar{y})$ be a fixed point of the map $F(x, y) = (f(x, y), g(x, y))$, where the functions f and g are continuously differentiable at $(\bar{x}, \bar{y})$. The linearized system of (2) around $(\bar{x}, \bar{y})$ is represented by $X_{n+1} = F(X_n) = J_F X_n$, where $X_n = \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix}$, and J_F denotes a Jacobian matrix of system (2) around $(\bar{x}, \bar{y})$.

The Jacobian matrix J of system (2) computed for $(\bar{x}, \bar{y})$ is determined by

$$J_{(\bar{x}, \bar{y})} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}$$

and the characteristic equation of matrix $J_{(\bar{x}, \bar{y})}$ can be given as

$$F(\lambda) = \lambda^2 - \text{tr} J_{(\bar{x}, \bar{y})} \lambda + \det J_{(\bar{x}, \bar{y})} = 0.$$

Assume that λ_1 and λ_2 be two roots of $F(\lambda) = 0$. Then, the fixed point $(\bar{x}, \bar{y})$ is locally asymptotically stable, if $|\lambda_1| < 1$ and $|\lambda_2| < 1$, and it is called a sink point. Otherwise, $(\bar{x}, \bar{y})$ is always unstable, and it is known as source (repeller) point. The fixed point $(\bar{x}, \bar{y})$ is called a saddle point if $|\lambda_1| < 1$ and $|\lambda_2| > 1$ (or $|\lambda_1| > 1$ and $|\lambda_2| < 1$). If $|\lambda_1| = 1$ or $|\lambda_2| = 1$, then $(\bar{x}, \bar{y})$ is known as a non-hyperbolic point. Here, we say that if $F(1) > 0$, $F(-1) > 0$ and $C < 1$, then the fixed point is defined as a sink point. Consequently, it is locally asymptotically stable.

Existence Analyses of Fixed Points of the System

By investigating the existence of all accessible fixed points of the epidemic system (1), we derive the following lemma.

Lemma 1 System (1) exhibits the following cases

- (i) System (1) possesses an exclusion fixed point $E_1 = (\frac{A}{d+v}, 0)$ for all positive parameters,
- (ii) If $A > \frac{(d+r)(d+v)}{\gamma}$, then system (1) possesses a unique positive interior fixed point $E_2 = (\frac{d+r}{\gamma}, \frac{-d^2-dr-dv-rv+Ay}{(d+r)\gamma})$.

Local Stability Analysis of the Exclusion Fixed Point of the System

Now, we perform local asymptotic stability analysis of the fixed point $E_1 = (\frac{A}{d+v}, 0)$ by using the Jacobian matrix. For $E_1 = (\frac{A}{d+v}, 0)$, the Jacobian matrix for system (1) is found as:

$$J_{E_1} = \begin{pmatrix} 1 - dh - hv & -\frac{Ah\gamma}{d+v} \\ 0 & 1 - dh - hr + \frac{Ah\gamma}{d+v} \end{pmatrix} \quad (3)$$

So, the eigenvalues are $\lambda_1 = 1 - dh - hv$ and $\lambda_2 = 1 - dh - hr + \frac{Ah\gamma}{d+v}$. The following lemma outlines the criteria for the local asymptotic stability of the exclusion fixed point. E_1 .

Lemma 2 Assume that $A < \frac{(d+r)(d+v)}{\gamma}$. For the fixed point E_1 of system (1), the statements listed below are valid:

(i) It behaves as a sink if any of the following terms hold:

(i.1) $r \leq v$ and $h < \frac{2}{(d+v)}$.

(i.2) $r > v$ and $h \leq \frac{2}{(d+r)}$.

(i.3) $A > \frac{(-2+h(d+r))(d+v)}{h\gamma}$, $r > v$ and $\frac{2}{(d+r)} < h < \frac{2}{(d+v)}$.

(i.4) $A > \frac{(-2+h(d+r))(d+v)}{h\gamma}$ and $h < \frac{2}{(d+v)}$.

(ii) It is a source point if one the following terms is satisfied:

(ii.1) $A < \frac{(-2+h(d+r))(d+v)}{h\gamma}$, $r \leq v$ and $h > \frac{2}{(d+r)}$.

(ii.2) $A < \frac{(-2+h(d+r))(d+v)}{h\gamma}$, $r > v$ and $h > \frac{2}{(d+v)}$.

(iii) It is a saddle point if one of the following terms is satisfied:

$$(iii.1) A < \frac{(-2+h(d+r))(d+v)}{h\gamma}, r > v \text{ and } \frac{2}{(d+r)} < h < \frac{2}{(d+v)}$$

$$(iii.2) A > \frac{(-2+h(d+r))(d+v)}{h\gamma}, r < v \text{ and } h > \frac{2}{(d+r)}$$

$$(iii.3) A > \frac{(-2+h(d+r))(d+v)}{h\gamma}, r \geq v \text{ and } h > \frac{2}{(d+v)}.$$

for all $d, h, v, r, A, \gamma \in \mathbb{R}_+$.

Moreover, it behaves as a non-hyperbolic point if any of the conditions $h = \frac{2}{(d+v)}$, $A = \frac{(d+r)(d+v)}{\gamma}$, or $A = \frac{(-2+h(d+r))(d+v)}{h\gamma}$ is satisfied.

Local Stability Analysis of the Positive Interior Fixed Point

Here, we present the locally asymptotic stability analysis of the interior positive fixed point:

$$E_2 = (\bar{x}, \bar{y}) = \left(\frac{d+r}{\gamma}, \frac{-d^2-dr-dv-rv+A\gamma}{(d+r)\gamma} \right) \quad (1)$$

The Jacobian matrix of system (1) is

$$J_{E_2} = \begin{pmatrix} \frac{d+r-Ah\gamma}{d+r} & -h(d+r) \\ -\frac{h(d^2+rv+d(r+v)-A\gamma)}{(d+r)} & 1 \end{pmatrix}$$

evaluated at E_2 . The characteristic polynomial is obtained via the Jacobian matrix as follows:

$$F(\lambda) = \lambda^2 + \left[-2 + \frac{Ah\gamma}{d+r} \right] \lambda + \left[\frac{(-d-r)(-1+h^2(d+r)(d+v)) + Ah(-1+h(d+r))\gamma}{d+cd^2} \right].$$

Subsequently, we derive the following Lemma by employing the characteristic polynomial of J_{E_2} .

Lemma 3 A. Let $A > \frac{(d+r)(d+v)}{\gamma}$. For a unique positive interior fixed point (E_2), the statements listed below are true:

(i) It behaves as a sink if any of the following terms hold:

$$(i.1) A < \frac{(d+r)(-4+h^2(d+r)(d+v))}{h\gamma(-2+h(d+r))}, h \leq \frac{1}{d+r} \text{ and } v < \frac{4}{h^2(d+r)} - d.$$

$$(i.2) A < \min \left\{ \frac{h(d+r)^2(d+v)}{(-1+h(d+r))\gamma}, \frac{(d+r)(-4+h^2(d+r)(d+v))}{h\gamma(-2+h(d+r))} \right\}, \frac{1}{d+r} < h < \frac{2}{d+r} \text{ and } v < \frac{4}{h^2(d+r)} - d.$$

$$(i.3) A > \frac{(d+r)(-4+h^2(d+r)(d+v))}{h\gamma(-2+h(d+r))}, \frac{2}{d+r} < h < 2\sqrt{\frac{1}{d(d+r)}} \text{ and } v > \frac{4}{h^2(d+r)} - d.$$

(ii) It behaves as a source point if any of the following terms hold:

$$(ii.1) \frac{h(d+r)^2(d+v)}{(-1+h(d+r))\gamma} < A < \frac{(d+r)(-4+h^2(d+r)(d+v))}{h\gamma(-2+h(d+r))}, \frac{1}{d+r} < h < \frac{2}{d+r} \text{ and } v < \frac{4}{h^2(d+r)} - d.$$

$$(ii.2) A > \max \left\{ \frac{h(d+r)^2(d+v)}{(-1+h(d+r))\gamma}, \frac{(d+r)(-4+h^2(d+r)(d+v))}{h\gamma(-2+h(d+r))} \right\}, \frac{2}{d+r} < h < 2\sqrt{\frac{1}{d(d+r)}} \text{ and } v > \frac{4}{h^2(d+r)} - d.$$

(iii) It behaves as a saddle point if any of the following terms hold:

$$(iii.1) A < \frac{(d+r)(-4+h^2(d+r)(d+v))}{h\gamma(-2+h(d+r))}, \frac{2}{d+r} < h < 2\sqrt{\frac{1}{d(d+r)}} \text{ and } v > \frac{4}{h^2(d+r)} - d.$$

$$(iii.2) \ A > \frac{(d+r)(-4+h^2(d+r)(d+v))}{h\gamma(-2+h(d+r))}, h < \frac{2}{d+r} \text{ and } v < \frac{4}{h^2(d+r)} - d.$$

Moreover, it behaves as a non-hyperbolic point if any of the conditions $A = \frac{(d+r)(-4+h^2(d+r)(d+v))}{h\gamma(-2+h(d+r))}$ or $A = \frac{(d+r)(d+v)}{\gamma}$ is satisfied.

Example 4 Taking into account the parameter values $d = 1.95$, $r = 0.24$, $\gamma = 2.949$, and $h = 0.5$, $v = 0.449$, and the initial conditions $x_0 = 0.4$, $y_0 = 0.8$, we write the following system

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= x_n + 0.5(A - 2.399x_n - 2.949x_n y_n) \\ y_{n+1} &= y_n + 0.5(2.949x_n y_n - 2.19y_n) \end{aligned} \quad (5)$$

For $A = 4.3$ and $A = 4.5$, the fixed point is locally asymptotically stable and unstable, respectively. Computations yield the fixed points $(\bar{x}, \bar{y}) = (0.742625, 1.14977)$ for $A = 4.3$ and $(\bar{x}, \bar{y}) = (0.742625, 1.2413)$ for $A = 4.5$.

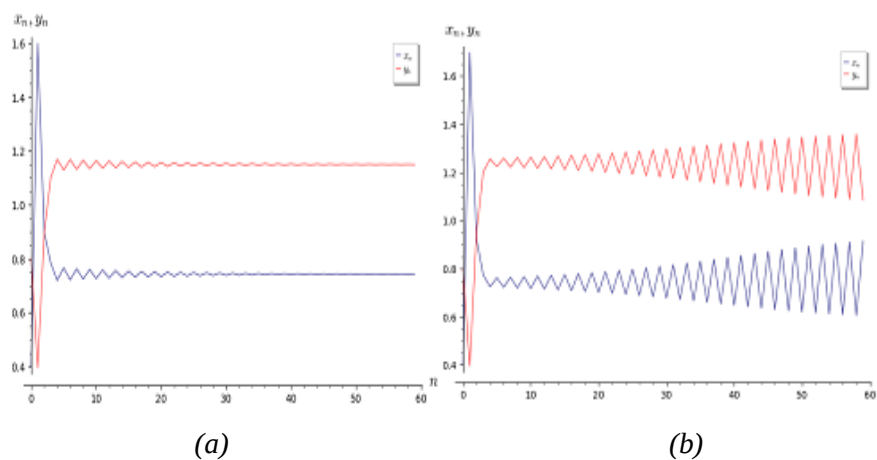


Figure 1

Time series plots of system (1) with the parameter values $d = 1.95$, $r = 0.24$, $\gamma = 2.949$, $h = 0.5$, $v = 0.449$ (a) $A = 4.3$ (stable) (b) $A = 4.5$ (unstable).

ANALYSIS OF FLIP BIFURCATION

In this section, we discuss the proposition that the positive interior fixed point E_2 of system (1) undergoes flip bifurcation by using bifurcation theory [23]. Bifurcation point is a value that causes a change in the nature of the model's equilibrium solutions as the model passes through this point. Flip bifurcation involves the situation where the system switches to a new behavior with a period twice that of the original system. A is selected as the bifurcation parameter to get the conditions of flip bifurcation. Assume that λ_1 and λ_2 be two roots of $F(\lambda) = 0$. If $F(-1) = 0$ and $-trJ \neq 0, 2$, then the E_2 is a flip bifurcation point. Considering the characteristic polynomial of J_{E_2} , we can see that $-trJ = 2 - \frac{Ah\gamma}{d+r}$. The conditions determining a flip bifurcation occurring at E_2 are determined as follows: If

$$A = A_F = \frac{(d+r)(-4+h^2(d+r)(d+v))}{h(-2+h(d+r))\gamma}$$

such that $h(d+r) \neq 2$, then $\lambda_1 = -1$ and $\lambda_2 = \frac{(2+h(d+r)(-3+h(d+v)))}{(2-h(d+r))}$ with

$$|\lambda_2| \neq 1 \quad (6)$$

The following set can be used to express these conditions:

$$FB_{E_2} = \left\{ A, d, r, \gamma, h, v \in \mathbb{R}^+ : A_F = \frac{(d+r)(-4+h^2(d+r)(d+v))}{h(-2+h(d+r))\gamma}, h(d+r) \neq 2, \frac{Ah\gamma}{d+r} \neq 2, 4, |\lambda_2| \neq 1 \right\}.$$

Using the transformation $u = x - \frac{d+r}{\gamma}$, $v = y - \frac{-d^2-dr-dv-rv+Ay}{(d+r)\gamma}$, the fixed point E_2 is shifted to the origin. So, we obtain:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \rightarrow J_{E_2} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} F_1(u, v) \\ F_2(u, v) \end{pmatrix} \quad (7)$$

where

$$F_1(u, v) = -h\gamma uv \quad \text{and} \quad F_2(u, v) = h\gamma uv \quad (8)$$

such that $\mathbf{U} = (u, v)^T$. From there, system (1) can be given as

$$(U_{n+1}) \rightarrow J_{E_2}(U_n) + \frac{1}{2}B(u_n, u_n) + \frac{1}{6}C(u_n, u_n, u_n) + O(\|U_n\|^4), \quad (9)$$

with the vector functions of $\mathbf{u}, \mathbf{v}, \mathbf{w} \in \mathbb{R}^2$:

$$B(u, v) = \begin{pmatrix} B_1(u, v) \\ B_2(u, v) \end{pmatrix}$$

and

$$C(u, v, w) = \begin{pmatrix} C_1(u, v, w) \\ C_2(u, v, w) \end{pmatrix}.$$

These vectors are expressed by:

$$B_1(u, v) = \sum_{j,k=1}^2 \frac{\partial^2 F_1}{\partial \xi_j \partial \xi_k} \Big|_{\xi=0} u_j v_k = -h\gamma(u_2 v_1 + u_1 v_2)$$

$$B_2(u, v) = \sum_{j,k=1}^2 \frac{\partial^2 F_2}{\partial \xi_j \partial \xi_k} \Big|_{\xi=0} u_j v_k = h\gamma(u_2 v_1 + u_1 v_2)$$

$$C_1(u, v, w) = \sum_{j,k=1}^2 \frac{\partial^3 F_1}{\partial \xi_j \partial \xi_k \partial \xi_l} \Big|_{\xi=0} u_j v_k w_l = 0$$

$$C_2(u, v, w) = \sum_{j,k=1}^2 \frac{\partial^3 F_2}{\partial \xi_j \partial \xi_k \partial \xi_l} \Big|_{\xi=0} u_j v_k w_l = 0$$

and $A = A_F$. Let $\mathbf{q}, \mathbf{p} \in \mathbb{R}^2$ be eigenvectors of $J_{E_2}(A_F)$ and transposed matrix $J_{E_2}^T(A_F)$, respectively, for $\lambda_1(A_F) = -1$. Then, we have $J_{E_2}(A_F)\mathbf{q} = -\mathbf{q}$ and $J_{E_2}^T(A_F)\mathbf{p} = -\mathbf{p}$. These eigenvectors calculated in the Mathematica program are:

$$\mathbf{q} \sim \left(\frac{(2-h(d+r))}{(-2+h(d+v))}, 1 \right)^T$$

and

$$\mathbf{p} \sim \left(\frac{2}{(h(d+r))}, 1 \right)^T.$$

We utilize the standard scalar product in $\mathbb{R}^2$ to normalize $\mathbf{p}$ relative to $\mathbf{q}$, such that $\langle \mathbf{p}, \mathbf{q} \rangle = p_1 q_1 + p_2 q_2$. So, we obtain:

$$p \sim \left(\frac{2(-2 + h(d + v))}{(4 + h(d + r)(-4 + h(d + v)))}, \frac{h(d + r)(-2 + h(d + v))}{(4 + h(d + r)(-4 + h(d + v)))} \right)^T.$$

It is evident that $\langle p, q \rangle = 1$. We must ascertain the sign of the coefficient $c(A_F)$ in the manner described below in order to establish the direction of the flip bifurcation:

$$c(A_F) = \frac{1}{6} \langle p, C(q, q, q) \rangle > -\frac{1}{2} \langle p, B(q, (J_{E_2} - I)^{-1} B(q, q)) \rangle. \quad (10)$$

The following theorem provides the outcome on flip bifurcation concerning the coefficient of the critical normal form.

Theorem 5 If (6) holds true, with $c(A_F) \neq 0$, and the parameter A varies around A_F , then system (1) experiences a flip bifurcation at E_2 . Additionally, if $c(A_F) > 0$ ($c(A_F) < 0$), then the period 2 orbits emerging from E_2 are stable (unstable).

The following Example 6 demonstrates the emergence of flip bifurcation according to our theoretical findings.

Example 6 Taking into account the parameter values $d = 1.95$, $r = 0.24$, $\gamma = 2.949$, $h = 0.5$, and $v = 0.449$, we write the following system:

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= x_n + 0.5(4.40905 - 2.399x_n - 2.949x_n y_n) \\ y_{n+1} &= y_n + 0.5(2.949x_n y_n - 2.19y_n) \end{aligned} \quad (11)$$

and $A_F = 4.40905$ is a flip bifurcation point. Computation yields $(\bar{x}, \bar{y}) = (0.742625, 1.19977)$. The Jacobian matrix is $J = \begin{bmatrix} -1.96856 & -1.095 \\ 1.76906 & 1 \end{bmatrix}$. The eigenvalues are $\lambda_1 = -1$ and $\lambda_2 = 0.031439$ such that $|\lambda_2| \neq 1$. The flip bifurcation diagram is displayed in Figure 2 with the initial conditions $x_0 = 0.4$ and $y_0 = 0.8$. System (1) experiences a flip bifurcation at E_2 as the parameter varies within a small vicinity of A_F . This indicates that the fixed point E_2 is stable for $A < 4.40905$, becomes unstable at $A = 4.40905$, and exhibits period-doubling phenomena for $A > 4.40905$. After the required computations are completed, we obtain:

$$F_1(u, v) = -1.4745uv \quad (12)$$

$$F_2(u, v) = 1.4745uv \quad (13)$$

$$B_1(u, v) = -1.4745(u_2 v_1 + u_1 v_2)$$

$$B_2(u, v) = 1.4745(u_2 v_1 + u_1 v_2)$$

$$C_1(u, v, w) = C_2(u, v, w) = 0$$

and

$$p \sim (1.82648, 1)^T, q \sim (-1.13054, 1)^T.$$

We obtain $c(A_F) = 2.41377 > 0$. Bifurcating from E , the period-2 orbits exhibit stability.

DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

This article focuses on analyzing the dynamical behavior of a discrete-time epidemic system (1). We find that system (1) has fixed points $E_1 = (\bar{x}, 0) = (\frac{A}{d+v}, 0)$ and $E_2 = (\bar{x}, \bar{y}) = (\frac{d+r}{\gamma}, \frac{-d^2-dr-dv-rv+Ay}{(d+r)\gamma})$. It can be seen that system (1) possesses a unique positive interior fixed point E_2 with $A > \frac{(d+r)(d+v)}{\gamma}$. We examine the local asymptotic stability conditions of these fixed points using the linearization method. Additionally, we demonstrate that system (1) undergoes flip bifurcation at

$E_2 = (\bar{x}, \bar{y})$. To examine flip bifurcation, the recruitment rate A is taken as the bifurcation parameter. Applying mathematical techniques from bifurcation theory, we demonstrate that system (1) experiences flip bifurcation under the condition $A = A_F = \frac{(d+r)(-4+h^2(d+r)(d+v))}{h(-2+h(d+r))\gamma}$, $h(d+r) \neq 2$. The dynamical characteristics of system (1) are illustrated in some figures. By choosing the value A as the bifurcation parameter, the effects of the recruitment rate on susceptible individuals are observed in the absence of vaccination or when the presence of asymptomatic individuals is ignored. Here, the Figures are displayed using SageMath programming [24]. The situation and interpretations of the system dynamics for some parameter values are briefly summarized:

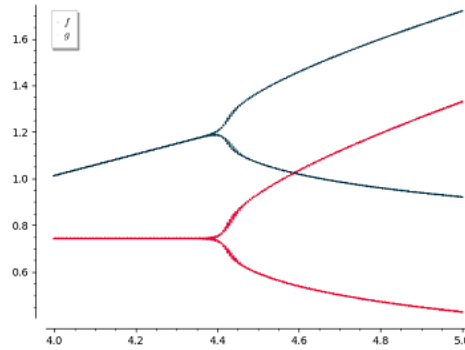


Figure 2.

Bifurcation diagram of the epidemic system (11) with the parameter values $A \in (4,5)$, $d = 1.95$, $r = 0.24$, $\gamma = 2.949$, $h = 0.5$, and $v = 0.449$.

Let us consider system (1) without vaccination. Considering the values in Example 4 without vaccination, we have the following system for $A = 4.3$:

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= x_n + 0.5(4.3 - 1.95x_n - 2.949x_n y_n) \\ y_{n+1} &= y_n + 0.5(2.949x_n y_n - 2.19y_n). \end{aligned} \quad (14)$$

Computation yields $(\bar{x}, \bar{y}) = (0.742625, 1.30223)$. Although vaccination causes a decrease in the number of infected individuals, it gives us the result that the population depending on the number of infected and susceptible individuals reaches a constant value in a longer time. Consequently, it is seen that the system approaches a steady state more quickly when vaccination is not included (Figures 1-(a) and 3-(a)).

Let us consider system (1) without vaccination and asymptomatic individuals. Considering the values in Example 4, we have the following system for $A = 4.3$:

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= x_n + 0.5(4.3 - 1.95x_n - 1.749x_n y_n) \\ y_{n+1} &= y_n + 0.5(1.749x_n y_n - 2.19y_n). \end{aligned} \quad (15)$$

Here, $\gamma = \beta + \xi$ such that $\beta = 1.2$ (asymptomatic individuals) and $\xi = 1.749$ (symptomatic individuals). Assuming that only symptomatic individuals spread the disease and that the vaccine is not available, the system appears to reach the equilibrium point $(\bar{x}, \bar{y}) = (1.25214, 0.848548)$ more quickly (Figures 3-(a) and 3-(b)).

Considering the parameter values $d = 1.95$, $r = 0.24$, $\gamma = 2.949$, $h = 0.5$, and $v = 0$, we compute the flip bifurcation point $A = 4.81249$ for the system (14). For the same parameter values, $A = 4.40905$ is the bifurcation value of the vaccine-effective system (11). As a result, the system without the vaccine effect reaches the flip bifurcation point later. In other words, the system remains stable for longer (Figure 3-(c)). In this system, flip bifurcation occurs at a higher immigration rate.

If the parameter values $d = 1.95$, $r = 0.24$, $\gamma = 1.749$, $h = 0.5$, and $v = 0$ are considered, we

reach the flip bifurcation point $A = 8.11438$ for the system (15). When the impact of asymptomatic individuals on the system is ignored, the system can maintain its stability for a long time even if there is no vaccine (Figure 3-(d)).

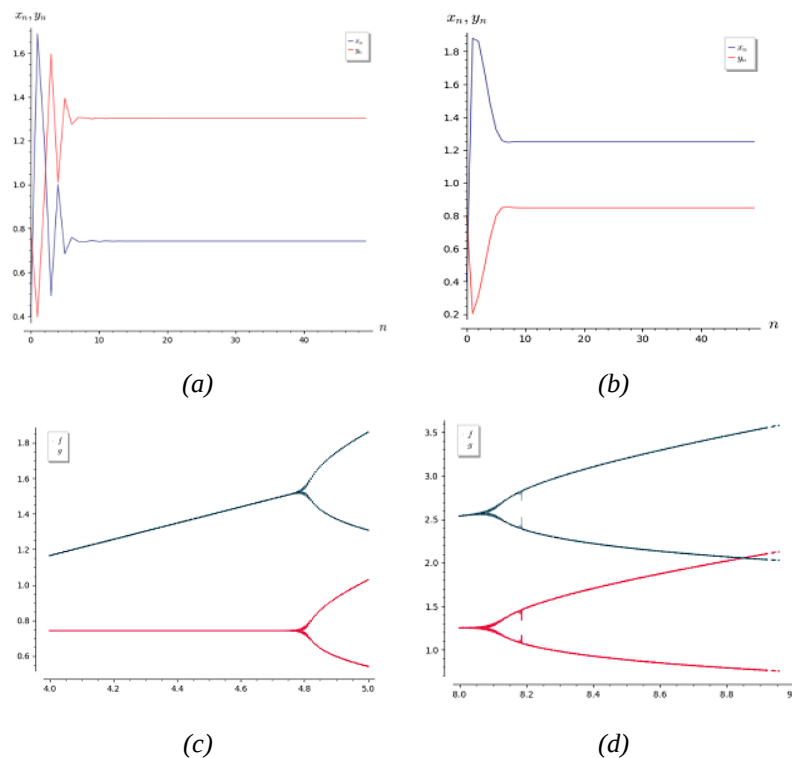


Figure 3

Time series plots of system (1) with the parameter values $d = 1.95$, $r = 0.24$, and $h = 0.5$, (a) system (14) $A = 4.3$, $\gamma = 2.949$, $v = 0$ (b) system (15) $A = 4.3$, $\gamma = 1.749$, $v = 0$ (c) $A \in (4, 5)$, $\gamma = 2.949$, $v = 0$ (d) $A \in (4, 5)$, $\gamma = 1.749$, $v = 0$.

We would especially like to emphasize that the study involved theoretically obtaining the stability and bifurcation conditions of the model. The theoretical results were confirmed by selecting appropriate parameter values that met the obtained conditions. Since we included the vaccine effect as well as the effect of asymptomatic individuals in the model, the parameters were diversified specifically for this study. In our future studies, diagrams for the course of this disease will be obtained using real disease data for COVID-19, and they will be compared to the results obtained in this paper.

Ethical Statement

This work is an original research article designed and developed by the author.

Author Contributions Research Design (CRediT 1) Ö.A.G. (%100)

Data Collection (CRediT 2) Ö.A.G. (%100)

Research - Data Analysis - Validation (CRediT 3-4-6-11) Ö.A.G. (%100)

Writing the Article (CRediT 12-13) Ö.A.G. (%100)

Revision and Improvement of the Text (CRediT 14) Ö.A.G. (%100)

Financing

No financial support was received from any institution/organization within the scope of this work.

Data availability

Data sharing is not applicable to this article as no datasets were generated or analyzed during the current study.

Conflict of interest

The author declare that she has no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Sustainable Development Goals (SDG)

3 Health and Quality Life

REFERENCES

- [1] W. H. Hamer, Epidemic disease in England-the evidence of variability and of persistence of type, *Lancet*. 1 (1906), 733-739. doi:10.1016/S0140-6736(01)80187-2
- [2] W. O. Kermack, A. G. McKendrick, A contribution to the mathematical theory of epidemics, *Proceedings of the Royal Society of London Series A*. 115 (1927), 700-721. doi:10.1098/rspa.1927.0118
- [3] W. O. Kermack, A. G. McKendrick, A contribution to the mathematical theory of epidemics, Part II, The problem of endemicity, *Proceedings of the Royal Society of London Series A*. 138 (1932), 55-83. doi:10.1098/rspa.1932.0171
- [4] W. O. Kermack, A. G. McKendrick, Contributions to the mathematical theory of epidemics, Part III, Further studies of the problem of Endemicity, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*. 141(1933), 94-122. doi:10.1098/rspa.1933.0106
- [5] D. Wu, T. Wu, Q. Liu, Z. Yang, The SARS-CoV-2 outbreak: What we know, *International Journal of Infectious Diseases*. 94 (2020), 44–48. doi:10.1016/j.ijid.2020.03.004
- [6] B. Hu, H. Guo, P. Zhou, Z.L. Shi, Characteristics of SARS-CoV-2 and COVID-19. *Nature Reviews Microbiology*. 19 (2020), 141–145. doi:10.1038/s41579-020-00459-7
- [7] H. Nishiura et al., Estimation of the asymptomatic ratio of novel coronavirus infections (covid-19), *International Journal of Infectious Diseases*. 94(2020), 154-155. doi:10.1016/j.ijid.2020.03.020
- [8] S. Lee, T. Kim, E. Lee, C. Lee, H. Kim, H. Rhee, et al., Clinical course and molecular viral shedding among asymptomatic and symptomatic patients with SARS-CoV-2 infection in a community treatment center in the Republic of Korea. *JAMA International Medicine*. 180 (11) (2020), 1447-1452. doi:10.1001/jamainternmed.2020.3862
- [9] F. Bahadır, F.S. Balık., H.S. Yalçınkaya, The Impact of COVID-19 on the financial structure of the construction industry in Turkey, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5(2) (2023), 173-188. doi:10.47112/neufmbd.2023.17
- [10] M. Akat, K. Karatas, Psychological effects of COVID-19 pandemic on society and its reflections on education, *Turkish Studies*. 15(4) (2020) 1-13. <https://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.44336>
- [11] J. Lamwong, N. Wongvanich, I.M. Tang, P. Pongsumpun, Optimal control strategy of a mathematical model for the fifth wave of COVID-19 outbreak (Omicron) in Thailand, *Mathematics*. 12(1) (2024), 14. doi:10.3390/math12010014
- [12] O.A. Gumus, A.G.M Selvam, R. Janagaraj, Dynamics of the mathematical model related to COVID-19 pandemic with treatment, *Thai Journal of Mathematics*. 20 (2022), 957–970.
- [13] G.A. Muñoz-Fernández, J.M. Seoane, J.B. Seoane-Sepúlveda, A SIR-type model describing the successive waves of COVID-19, *Chaos, Solitons & Fractals*. 144 (2021), 110682. doi:10.1016/j.chaos.2021.110682
- [14] A. Olivares, E. Staffetti, Uncertainty quantification of a mathematical model of COVID-19 transmission dynamics with mass vaccination strategy, *Chaos, Solitons & Fractals*. 146 (2021), 110895. doi:10.1016/j.chaos.2021.110895
- [15] K. Özdemir, Ö. Güngör, SWAT model on Filyos creek basin, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 1(2) (2019), 90-102.
- [16] Y. Asar, Performance of A new bias corrected estimator in beta regression model: A Monte Carlo study, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5 (2)(2023), 75-87. doi:10.47112/neufmbd.2023.11

- [17] B. Gökçe, O. B. Özden, Determination of distortions by finite element analysis using the Goldak model in a welded joint structure, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5(2) (2023), 53-64. doi:10.47112/neufmbd.2023.9
- [18] E. Madenci, Contribution of micro-mechanical models to static analysis of functionally graded material plates, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5(1) (2023) 23 - 37.
- [19] Y.C. Chen, P.E. Lu, C.S. Chang, T.H. Liu, A time-dependent SIR model for COVID19 with undetectable infected persons, *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*. 7(4) (2020), 3279-3294. doi:10.1109/TNSE.2020.3024723
- [20] X. Li, W. Wang, A discrete epidemic model with stage structure, *Chaos, Solitons & Fractals*. 26 (2005), 947–958. doi:10.1016/j.chaos.2005.01.063
- [21] Z. Hu, Z. Teng, L. Zhang, Stability and bifurcation analysis in a discrete SIR epidemic model. *Mathematics and Computers in Simulation*. 97(2014), 80-93. doi:10.1016/j.matcom.2013.08.008
- [22] Z. Eskandari, J. Alidousti, Stability and codimension 2 bifurcations of a discrete time SIR model, *Journal of the Franklin Institute*. 357(2020), 10937–10959. doi:10.1016/j.jfranklin.2020.08.040
- [23] Y.A. Kuznetsov, Elements of Applied Bifurcation Theory, 112, *Springer*, New-York, 2013. doi:10.1007/978-1-4757-3978-7
- [24] S. Kapçak, Discrete dynamical systems with SageMath, *The Electronic Journal of Mathematics & Technology*. 12(2) (2018), 292-308.

Histamin Modifiye Çok Duvarlı Karbon Nanotüp/Kömür Katranı/Kalem Grafit Elektrot ile Parasetamol Tayini

Şeyma KORKMAZ ¹  İbrahim Ender MÜLAZIMOĞLU ² 
Ayşen DEMİR MÜLAZIMOĞLU ^{2*} 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Konya, Türkiye

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Kimya Eğitimi Anabilim Dalı, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi	ÖZET
Geliş Tarihi: 06.06.2024 Kabul Tarihi: 30.09.2024 Yayın Tarihi: 31.12.2024 Anahtar Kelimeler: Parasetamol, Histamin, Modifikasyon, Kalem grafit elektrot, Kare dalga voltametri.	Bu çalışmada Parasetamol (PAR) tayini için ilk kez Histamin (HI), çok duvarlı karbon nanotüp/kömür katranı/kalem grafit elektrot (MWCNT/CTP/PGE) yüzeyine modifiye edilerek kullanıldı. MWCNT/CTP/PGE üzerine HI'nın modifikasyonu için dönüşümlü voltametri (CV) deneyleri, +0,8 V ile +1,8 V potansiyel aralığında, 100 mV s ⁻¹ tarama hızında ve 20 döngülü olarak gerçekleştirildi. Elde edilen HI/MWCNT/CTP/PGE elektrokimyasal sensörün elektrokimyasal davranışları sulu ve susuz ortamlarda CV ile karakterize edildi. Modifiye elektrotun taramalı elektron mikroskobu (SEM) tekniği ile görüntüsü alındı ve MWCNT/CTP/PGE ile kıyaslandı. Kare dalga voltametri (SWV) tekniği ile farklı pH'larda hazırlanan Britton-Robinson (BR) tampon çözeltisi destek elektrolit olarak kullanıldı. SWV tekniği kullanılarak PAR tayini için optimum pH 2,00 olarak belirlendi. SWV tekniği ile 2x10 ⁻⁵ ile 2x10 ⁻⁶ M aralığında pH 2,00 BR tamponunda hazırlanan standart PAR çözeltileri ile korelasyon katsayısı (R ²) 0,9991 olarak hesaplanan kalibrasyon grafiği çizildi. PAR için gözlelenebilirlik sınırı (LOD) ve tayin sınırı (LOQ) sırasıyla 0,498 µM ve 1,494 µM olarak hesaplandı. Önerilen yöntem, uygulanabilirliği kolay, maliyeti düşük, hızlı, basit ve güveniliridir.

Determination of Paracetamol with Histamine Modified Multi-Walled Carbon Nanotube/Coal Tar Pitch/Pencil Graphite Electrode

Article Info	ABSTRACT
Received: 06.06.2024 Accepted: 30.09.2024 Published: 31.12.2024 Keywords: Paracetamol, Histamine, Modification, Pencil graphite electrode, Square wave voltammetry.	In this study for the determination of Paracetamol (PAR), Histamine (HI) was used by modifying the surface of multiwalled carbon nanotube/ coal tar pitch/pencil graphite electrode (MWCNT/CTP/PGE) for the first time. Cyclic voltammetry (CV) experiments for the modification of HI on MWCNT/CTP/PGE were carried out in the potential range of +0.8 V to +1.8 V, at a scan rate of 100 mV s ⁻¹ with 20 cycles. The electrochemical behaviours of the obtained HI/MWCNT/CTP/PGE electrochemical sensor were characterized by CV in aqueous and non-aqueous medias. The modified electrode was imaged with the scanning electron microscope (SEM) technique and compared with MWCNT/CTP/PGE. Britton-Robinson (BR) buffer solution, prepared at different pHs using the square wave voltammetry (SWV) technique was used as a supporting electrolyte. The optimum pH for PAR determination using the SWV technique was determined as 2.00. A calibration graph was drawn with standard PAR solutions prepared in pH 2.00 BR buffer between 2x10 ⁻⁵ and 2x10 ⁻⁶ M using the SWV technique, with a correlation coefficient (R ²) calculated as 0.9991. The limit of detection (LOD) and limit of quantification (LOQ) for PAR were calculated as 0.498 µM and 1.494 µM, respectively. The proposed method is easy to implement, low cost, fast, simple and reliable.

To cite this article:

Korkmaz, Ş.; Mülazımoğlu, İ.E. & Demir Mülazımoğlu, A. (2024). Histamin modifiye çok duvarlı karbon nanotüp/kömür katranı/kalem grafit elektrot ile parasetamol tayini. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 557-565. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.65>

*Sorumlu Yazar: Ayşen Demir Mülazımoğlu, admulazimoğlu@erbakan.edu.tr



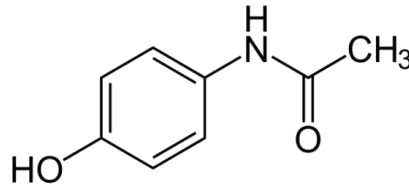
This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Parasetamol (PAR) diğer adlarıyla asetaminofen, N-asetil-p-aminofenol, N-(4-hidroksifenil) asetamid birçok ağrı kesici ve ateş düşürücü ilacın aktif bileşeni olarak sıkça kullanılan paraaminofenol türevi olan bir maddedir. PAR'ın kimyasal yapısı Şekil 1'de verilmiştir. PAR, ucuz ve kolayca bulunabilmesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmasının yanı sıra önerilen klinik dozlarda insan kullanımı için etkili ve güvenlidir [1]. Aspirin kadar etkili olup benzer potansiyele sahiptir ve tek bir analjezik dozda aynı zamanda etki gösterir. Kimyasal olarak PAR, hızla emilen zayıf bir asit özelliği gösterir ve pKa değeri 9,5'tir [2]. Yapısında amid grubu ($-HN-CO-R$), hidroksil grubu ($-OH$) ve benzen halkası olmak üzere üç fonksiyonel grup vardır. PAR'ın kardiyovasküler, solunum, asit-baz dengesi ve trombosit fonksiyonu üzerinde çok az veya hiçbir etkisi yoktur [3]. PAR baş ağrısı, soğuk algınlığı, grip gibi hafif ve orta dereceli ağrı durumlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [4]. PAR, ağız yoluyla alındığında gastrointestinal sistemde hızla ve tamamen emilebilirken, besinler ile alımı emilimini azaltabilir. Hızla vücut sıvılarında yayılır ve düşük oranda plazma proteinlerine bağlanabilir [5].

Elektrokimyasal çalışmalarda özel bir yere sahip olan sulu ve susuz ortamlarda gerçekleştirilebilen elektrot modifikasyonu son yıllarda yaygındır. Elektrot modifikasyonu sulu ve susuz ortamlarda gerçekleştirilebilir [6–8]. Modifiye elektrotlar, doğal veya sentetik numunelerde hem organik hem de inorganik türlerin tayini için kullanılmaktadır [9,10]. Voltametik çalışmalarda camı karbon, altın, platin, karbon pasta, kalem grafit vb. elektrotlar ile elektrot modifikasyonu yapılmaktadır. Grafen ve grafen oksit yüksek yüzey alanı, kimyasal kararlılığının yüksek olması ve mekanik dayanımı nedeniyle dikkat çekmektedir [11]. Altın elektrot [12], camı karbon [13], kalem grafit elektrot (PGE) ucuzluğu, ticari olarak kolay bulunabilmesi ve özellikle PGE tek kullanımlık olmasından dolayı önemli bir avantaja sahiptir [14,15]. PGE yüzeyi grafen, grafen oksit, katran, tek veya çok duvarlı karbon nanotüp gibi maddeler ile kaplanarak daha elektroaktif hale getirilebilir [16].

Kolorimetri [17], titrimetri [18], gaz kromatografisi [19], yüksek performanslı sıvı kromatografi [20], sıvı kromatografi tandem kütle spektrometri [21], kemilüminesans [22], kılcal elektroforez [23] gibi farklı teknikler kullanılarak PAR tayini yapılmıştır. Bu çalışmalara ilave olarak SWV [24], diferansiyel puls voltametri [25] ve adsorptif sıyırma voltametri [26] gibi elektrokimyasal teknikler kullanılarak PAR tayini yapılmıştır.



Şekil 1
PAR'ın molekül yapısı

Bu çalışmada; i) HI'nın MWCNT/CTP/PGE yüzeyine modifikasyonu, ii) Modifiye yüzeyin CV ve SEM teknikleri ile karakterizasyonu, iii) Sensör elektrotun PAR tayini için kullanımında optimum pH seçimi, iv) SWV tekniği ile PAR tayini amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Bu çalışmada PAR, HI ve diğer bütün kimyasallar analitik saflıkta Sigma-Aldrich, Fluka, Acros ve Merck firmalarından temin edildi. KH_2PO_4 ve K_2HPO_4 standart stok çözeltilerinden uygun miktarlarda alındı ve pH 7,20'ye ayarlandı. BR tampon çözeltisi uygun miktarlarda H_3PO_4 , CH_3COOH ve H_3BO_3 ilave edilerek hazırlandı. Geniş çalışma aralığına (pH 1,81- pH 11,98) sahip olan BR tampon çözeltisinin pH'sı 0,1 M'lık NaOH ilavesiyle istenilen pH'ya ayarlandı.

Tüm sulu çözeltilerin hazırlanmasında 18,2 MΩ cm dirençli ultra saf su (MP MINIPURE Purification System, DEST UP, ABD) kullanıldı. Tüm deneylerde yeni hazırlanmış PAR ve HI çözeltileri oda koşullarında (25±1 °C) kullanıldı.

Susuz ortam çalışmalarında 0,1 M tetrabütülamonyumtetrafloroborat (NBu₄BF₄) çözeltisi içerisinde çözülen 0,1 M AgNO₃ ile hazırlanan Ag/Ag⁺ referans elektrotu (BAS Model MF-2052), sulu ortam çalışmalarında 3 M KCl çözeltisinde hazırlanan Ag/AgCl referans elektrotu (BAS Model MF-2063), platin tel elektrot (BAS Model MW-1034) karşıt elektrot olarak kullanıldı. Çalışma elektrotu olarak kullanılan MWCNT/CTP/PGE literatüre uygun olarak hazırlandı [27].

Deneyisel çalışmalarda kullanılan SWV ve CV yöntemlerinin tüm deneyleri GAMRY Reference 600+ potantiyostat/galvanostat/ZRA (Gamry Instruments, Warminster, USA) cihazında BAS (Bioanalytical Systems Inc., West Lafayette, USA) marka C3 hücre sistemi ile yapıldı. pH ölçümleri için (VWR pH enomenal, UK) model pH iyon metre kullanıldı. SEM analizleri için Hitachi-SU 1510 cihazı kullanıldı.

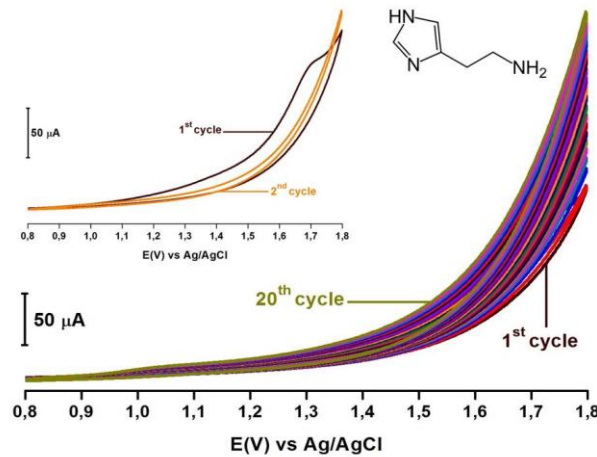
Susuz ortamda asetonitril (CH₃CN)'de çözülen 100 mM NBu₄BF₄ içerisinde hazırlanan 1 mM ferrosen (FCN) çözeltisi kullanılarak Ag/Ag⁺ referans elektrotu ile önce pozitif tarama daha sonra negatif tarama yapılarak CV tekniği ile dönüşümlü voltamogramları alındı. Sulu ortamda 100 mM H₂SO₄ çözeltisinde hazırlanmış 1 mM hegzasiyanoferrat (III) (HCF) çözeltisi kullanılarak Ag/AgCl referans elektrotu ile önce negatif daha sonra pozitif tarama yapılarak dönüşümlü voltamogramları alındı.

SWV deneyleri için farklı pH'larda BR tampon çözeltisi kullanılarak hazırlanan farklı konsantrasyonlarda PAR çözeltilerinde kare dalga voltamogramları alındı.

BULGULAR (RESULTS)

HI'nın MWCNT/CTP/PGE Yüzeyine Modifikasyonu

Elektrokimyasal çalışmalarda elektrot modifikasyonu oldukça önemlidir. Bu çalışmada HI molekülünde aktif olan -NH₂ ucu bulunduğu için modifikasyon işlemi amin oksidasyonu yöntemi ile gerçekleştirildi. pH 7,20 PBS'de hazırlanan 1 mM HI çözeltisi +0,8 ile +1,8 V potansiyel aralığında 20 döngü olarak elektrot yüzeyine modifiye edildi. İkinci döngüden itibaren HI'nın elektrot yüzeyine modifiye olduğu görülse de elektrot yüzeyinde pinhol adı verilen boşlukların kalmaması için 20 döngülü modifikasyon voltamogramı alındı. Şekil 2'deki modifikasyon voltamogramı incelendiğinde HI'nın MWCNT/CTP/PGE yüzeyine modifiye olduğu görüldü.



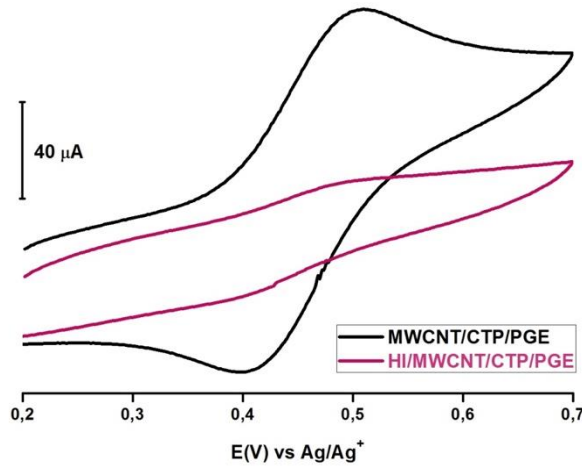
Şekil 2

0,1 M PBS (pH 7,20) tamponunda hazırlanan 1 mM HI'nın MWCNT/CTP/PGE yüzeyine 20 döngülü modifikasyonun +0,8/+1,8 V potansiyel aralığında 100 mV s⁻¹ tarama hızında alınan CV voltamogramı

HI/MWCNT/CTP/PGE'nin Karakterizasyonu

Modifiye edilen elektrotun karakterizasyon işlemleri için CV tekniği ile FCN ve HCF testine ilave olarak SEM ile modifiye elektrot incelendi. MWCNT/CTP/PGE ve HI/MWCNT/CTP/PGE kıyaslandı.

CV tekniği ile yapılan karakterizasyon çalışmalarında ilk olarak susuz ortamda +0,2/+0,7 V potansiyel aralığında tek döngümlü dönüşümlü voltamogramlar alındı. Şekil 3'teki karşılaştırılmış dönüşümlü voltamogramlar incelendiğinde, MWCNT/CTP/PGE yüzeyinde FCN çözeltisindeki Fe^{2+} iyonları Fe^{3+} iyonlarına yükseltgenip ardından Fe^{3+} iyonları Fe^{2+} iyonlarına indirgenirken, 20 döngümlü olarak gerçekleştirilen HI modifikasyonu sonrasında HI/MWCNT/CTP/PGE yüzeyinde FCN çözeltisindeki Fe^{2+} iyonlarının Fe^{3+} iyonlarına ait yükseltgenme ve Fe^{3+} iyonlarının Fe^{2+} iyonlarına indirgenmesine ait pik görülmedi. Bu durum MWCNT/CTP/PGE yüzeyinin HI ile modifiye olduğunu ayrıca modifiye yüzeyin elektroaktif olduğunu gösterdi.



Şekil 3

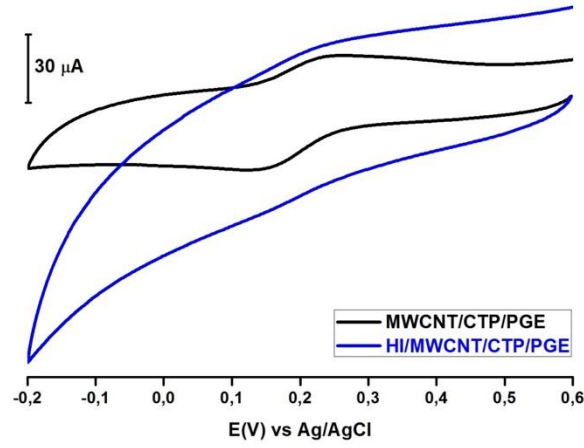
MWCNT/CTP/PGE ve MWCNT/CTP/PGE yüzeyine HI modifikasyonu sonrası CV kullanılarak alınan FCN voltamogramının karşılaştırılmış görüntüsü, +0,2 /+0,7 V potansiyel aralığında, 100 mV s^{-1} tarama hızında

CV tekniği ile sulu ortam karakterizasyon çalışmalarında +0,6/-0,2 V potansiyel aralığında tek döngümlü dönüşümlü voltamogramlar alındı. Şekil 4'teki karşılaştırılmış dönüşümlü voltamogramlar incelendiğinde, MWCNT/CTP/PGE yüzeyindeki HCF çözeltisindeki Fe^{3+} iyonları Fe^{2+} iyonlarına indirgenip ardından Fe^{2+} iyonları Fe^{3+} iyonlarına yükseltgenirken, 20 döngümlü olarak gerçekleştirilen HI modifikasyonu sonrasında HI/MWCNT/CTP/PGE yüzeyinde HCF çözeltisindeki Fe^{3+} iyonlarının Fe^{2+} iyonlarına ait indirgenme ve Fe^{2+} iyonlarının Fe^{3+} iyonlarına ait yükseltgenme piki görülmedi. Bu durum MWCNT/CTP/PGE yüzeyinin HI ile modifiye olduğunu ve modifiye yüzeyin elektroaktif olduğunu gösterdi.

CV tekniği ile MWCNT/CTP/PGE ve HI/MWCNT/CTP/PGE kıyaslandıktan sonra SEM tekniği ile yüzeylerin 5000 kat büyütülmüş morfolojik görüntüleri alındı. Şekil 5'teki SEM görüntüleri incelendiğinde HI/MWCNT/CTP/PGE ve MWCNT/CTP/PGE'nin farklı olması HI molekülünün MWCNT/CTP/PGE yüzeyine modifiye olduğunu gösterdi.

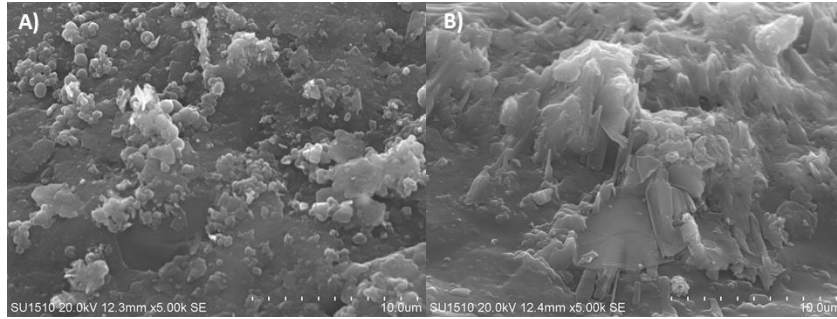
PAR Tayini için Optimum pH Seçimi

İnorganik ve organik türlerin tayininde uygun destek elektrolit seçimi ve optimum pH belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada farklı pH'larda BR tamponunda hazırlanan 1 mM PAR çözeltileri kullanılarak SWV tekniği ile -0,4 ile +0,8 V aralığında kare dalga voltamogramları alındı. Şekil 6'da üst üste karşılaştırılan voltamogramlardan en yüksek pik akımı ve pik yoğunluğu karşılaştırıldığında optimum pH 2,00 olarak belirlendi.



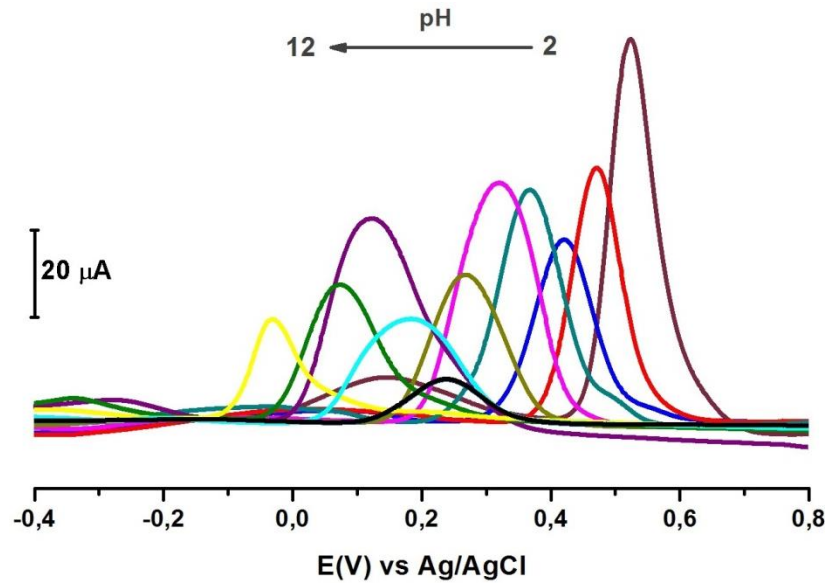
Şekil 4

MWCNT/CTP/PGE ve MWCNT/CTP/PGE yüzeyine HI modifikasyonu sonrası CV kullanılarak alınan HCF voltamogramının karşılaştırılmış görüntüsü, +0,6 /-0,2 V potansiyel aralığında, 100 mV s^{-1} tarama hızında



Şekil 5

A) MWCNT/CTP/PGE ve B) HI/MWCNT/CTP/PGE yüzeyleri için SEM görüntüleri

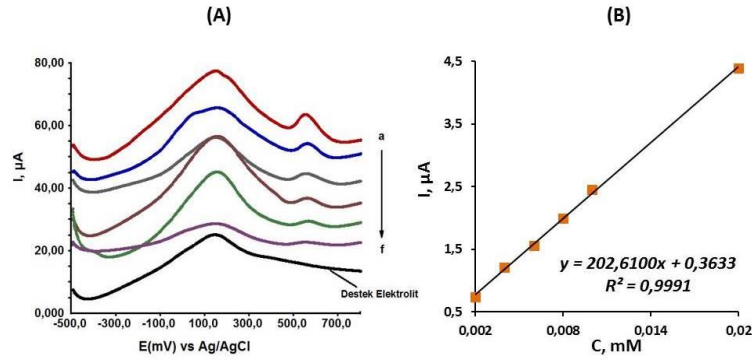


Şekil 6

PAR'ın BR tamponu pH 2,00-12,00 aralığında hazırlanan çözeltilerinin HI/MWCNT/CTP/PGE kullanılarak -0,4/+0,8 V potansiyel aralığında elde edilen SWV voltamogramları

PAR Tayini için Kalibrasyon Grafiğinin Çizilmesi

pH 2,00'da hazırlanan 2×10^{-5} ile 2×10^{-6} M aralığındaki PAR çözeltileri için SWV tekniği ile voltamogramlar alınarak üst üste karşılaştırıldı (Şekil 7A).



Şekil 7

A) BR tamponu pH 2,00'da a) 0,02, b) 0,01, c) 0,008, d) 0,006, e) 0,004, f) 0,002 mM konsantrasyonlarında hazırlanmış PAR çözeltileri HI/MWCNT/CTP/PGE kullanılarak alınan SWV voltamogramları, **B)** PAR'ın farklı konsantrasyonları için alınan SWV voltamogramlarından okunan pik akımları ile çizilen kalibrasyon grafiği

Üst üste çakıştırılmış kare dalga voltamogramları incelendiğinde destek elektrolit olarak kullanılan pH 2,00 BR tamponun yaklaşık 100 mV'ta pik verdiği ve yaklaşık 500 mV'ta pik vermediği görüldü. Önceden yapılmış PAR tayini çalışmaları incelendiğinde PAR pikinin yaklaşık 500 mV'ta olduğu dikkate alınarak pik akımı ile konsantrasyon arasında kalibrasyon grafiği çizildi (Şekil 7B) [28].

Konsantrasyona karşı pik akım değerleri kullanılarak kalibrasyon eğrisinden elde edilen doğrusal regresyonun denklemi (Şekil 7B) aşağıdaki şekilde verildi:

$$I_{pa} (\mu A) = 202,61 \text{ mM} \times [\text{PAR}] + 0,3633; R^2 = 0,9991$$

Denklemden PAR konsantrasyonu (mM); I_{pa} , SWV pik akımı (μA); R korelasyon katsayısı. Kalibrasyon eğrisinin yardımıyla gözlenebilirlik sınırı ($LOD = 3,3 (SD/\text{eğim})$) ve tayin sınırı $LOQ = 10 (SD/\text{eğim})$ formülleri kullanılarak sırasıyla 0,498 μM ve 1,494 μM olarak hesaplandı.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Yapılan tüm çalışmalarda elektroaktif bir yüzeye sahip olan MWCNT/CTP/PGE kullanıldı. Çalışmamızda bir nörotransmitter olan HI molekülü MWCNT/CTP/PGE yüzeyine modifiye edilerek elde edilen sensör elektrot CV ve SEM teknikleri ile karakterize edildi.

MWCNT ve CTP gibi materyallerin PGE yüzeyine kaplanmasıyla yüzey daha elektroaktif hale getirildiği için bu çalışmada MWCNT/CTP/PGE kullanıldı. MWCNT/CTP/PGE'nin tek kullanımlık olması ve grubumuz tarafından hazırlanması çalışmamızın daha orijinal, daha hızlı ve daha ucuz olmasını sağladı.

SWV tekniği ile HI/MWCNT/CTP/PGE sensör elektrot PAR tayini için kullanıldı. Destek elektrolit çözeltisinde pH'nın pik akımı üzerine olan etkileri araştırıldı. BR tampon çözeltisi kullanılarak farklı pH değerlerinde çalışmalar yapılarak optimum pH, 2,00 olarak belirlendi.

PAR tayini için farklı konsantrasyonlarda BR tamponu ortamında pH 2,00'de hazırlanan standart PAR çözeltileri kullanılarak çizilen kalibrasyon grafiğinden LOD ve LOQ değerleri hesaplandı. Bundan sonraki çalışmalarımızda herhangi bir ön işleme tabi tutulmaksızın PAR tayini için çizilen kalibrasyon grafiği kullanılarak doğal ve yapay numunelerde PAR tayini amaçlanmıştır. PAR tayini için kullanılan bu teknik maliyeti düşük, hızlı, tekrarlanabilir, seçici ve güvenilirdir.

Etik Beyan (Ethical Declaration)

Bu çalışma, Prof. Dr. Ayşen DEMİR MÜLAZIMOĞLU danışmanlığında yürütülen “DNA Bileşenlerinin Modifikasyonu ile Hazırlanan Sensör Elektrotların Bazı Nörotransmitter Maddelerin Elektroanalitik Tayinlerinde Kullanımı” başlıklı doktora tez çalışmasının bir kısmından üretilmiştir.

Yazar Katkıları (Author Contributions)

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) Ş.K. (%20) – İ.E.M. (%40) – A.D.M. (%40)

Veri Toplama (CRediT 2) Ş.K. (%60) – A.D.M. (%40)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) Ş.K. (%40) – İ.E.M. (%20) – A.D.M. (%40)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) Ş.K. (%40) – A.D.M. (%60)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) İ.E.M. (%40) – A.D.M. (%60)

Finansman (Financing)

Çalışma, Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 23DR10002 sayılı proje ile desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict to Interest)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: Desteklemiyor

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] M.A. Erfidan, Farelerde parasetamol ile indüklenen akut karaciğer hasarı üzerine narın (PUNICA GRANATUM L.) etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İç Hastalıkları Anabilim Dalı*, Afyonkarahisar, 2016.
- [2] J. Parojčić, K. Karljiković-Rajić, Z. Durić, M. Jovanović, S. Ibrić, Development of the second-order derivative UV spectrophotometric method for direct determination of paracetamol in urine intended for biopharmaceutical characterisation of drug products, *Biopharmaceutics and Drug Disposition*. 24 (2003), 309-314. doi:10.1002/bdd.367.
- [3] L.S. Jacob, NMS-Pharmacology, 4. bs, *Nobel Tıp Kitabevleri*, İstanbul, 1966.
- [4] A. Bertolini, A. Ferrari, A. Ottani, S. Guerzoni, R. Tacchi, S. Leone, Paracetamol: New vistas of an old drug, *CNS Drug Reviews*. 12 (2006), 250-275. doi:10.1111/j.1527-3458.2006.00250.x.
- [5] İ. Dökmeci, Farmakoloji Temel Kavramlar, *Nobel Tıp Kitabevleri*, İstanbul, 2000.
- [6] J. Ahmed, R.H. Rakib, M.M. Rahman, A.M. Asiri, I.A. Siddiquey, S.S.M. Islam, M.A. Hasnat, Electrocatalytic oxidation of 4-Aminophenol molecules at the surface of an FeS₂/Carbon nanotube modified glassy carbon electrode in aqueous medium, *ChemPlusChem*. 84 (2019), 175-182. doi:10.1002/cplu.201800660.
- [7] N. İslamoğlu, İ.E. Mülazımoğlu, A. Demir Mülazımoğlu, Sensitive and selective determination of paracetamol in antipyretic children's syrup with a polyglycine modified glassy carbon electrode, *Analytical Methods*. 15 (2023), 4149-4158. doi:10.1039/d3ay00789h.
- [8] H.H. Çelik, S. Özcan, A.D. Mülazımoğlu, E. Yılmaz, B. Mercimek, A. Çukurovalı, İ. Yılmaz, A.O. Solak, İ.E. Mülazımoğlu, The synthesis of a novel DDPHC diazonium salt: Investigation of its usability in the determination of phenol and chlorophenols using CV, SWV and DPV techniques, *Inorganic Chemistry Communications*. 116 (2020), 107893. doi:10.1016/j.inoche.2020.107893.
- [9] A. Kassa, M. Amare, Electrochemical determination of paracetamol, rutin and sulfonamide in pharmaceutical formulations by using glassy carbon electrode – A Review, *Cogent Chemistry*. 5 (2019), 1681607. doi:10.1080/23312009.2019.1681607.
- [10] N. Durmuş, E. Yılmaz, A.D. Mülazımoğlu, B. Mercimek, A. Çukurovalı, İ. Yılmaz, A.O. Solak, İ.E. Mülazımoğlu, A novel highly sensitive carbon-based HMPD/GC sensor electrode: Copper ions analysis in flour and water samples, *Desalination and Water Treatment*. 112 (2018), 34-41. doi:10.5004/dwt.2018.22105.
- [11] İ. Akın, E. Zor, H. Bingöl, Preparation and Characterization of GO/Fe₃O₄ Doped Polymeric Composite Membranes, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5 (2023), 38-52. doi:10.47112/neufmbd.2023.8.
- [12] H.B. Yıldız, M. Büyükharman, Yüksek derecede fotoakım üreten tilakoid membran bazlı biyofotovoltaik hücresinin yapımı, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 6 (2024), 336-346. doi: 10.47112/neufmbd.2024.51
- [13] C. Engin, S. Yılmaz, G. Sağlıkoglu, S. Yagmur, M. Sadikoglu, Electroanalytical investigation of paracetamol on glassy carbon electrode by voltammetry, *International Journal of Electrochemical Science*. 10 (2015), 1916-1925. doi:10.1016/S1452-3981(23)05122-2.
- [14] N. Durmuş, İ.E. Mülazımoğlu, Quantitative determination of quercetin in black tea and Beet juice using SWAdSV onto the pencil graphite electrode surface, *Analytical and Bioanalytical Electrochemistry*. 15 (2023), 924-937. doi:10.22034/abec.2023.709094.
- [15] A. Özcan, S. İlkbaş, Poly(pyrrole-3-carboxylic acid)-modified pencil graphite electrode for the determination of serotonin in biological samples by adsorptive stripping voltammetry, *Sensors and Actuators, B: Chemical*. 215 (2015), 518-524. doi:10.1016/j.snb.2015.03.100.
- [16] Ş. Korkmaz, W. Bosnali, İ.E. Mülazımoğlu, A.D. Mülazımoğlu, Voltammetric determination of

- acrylamide using coal tar pitch modified pencil graphite electrode by SWV, *Food Analytical Methods*. 16 (2023), 1738-1745. doi:10.1007/s12161-023-02540-2.
- [17] T. Rohani Bastami, Z. Dabirifar, AuNPs@PMo12nanozyme: Highly oxidase mimetic activity for sensitive and specific colorimetric detection of acetaminophen, *RSC Advances*. 10 (2020), 35949-35956. doi:10.1039/d0ra06545e.
- [18] A.G. Fogg, P.J. Sausins, J.R. Smithson, The determination of paracetamol and aspirin in mixtures by nonaqueous potentiometric titrimetry or by ultraviolet spectrophotometry, *Analytica Chimica Acta*. 49 (1970), 342-345. doi:10.1016/S0003-2670(00)86796-3.
- [19] L.M. Abdel-Halim, N.K. Ramadan, M.K. Abd-El Rahman, M.M. Galal, GC and HPTLC-Densitometric methods for simultaneous determination of Aspirin, Paracetamol, Caffeine Anhydrous, Dextromethorphan Hydrobromide and Chlorpheniramine Maleate: Method validation and application to over the counter tablet, *Bulletin of Faculty of Pharmacy Cairo University*. 61 (2023), 72-84. doi:10.54634/2090-9101.1043.
- [20] N.R. Ahmad, F.K. Omar, HPLC Method for Determination of Paracetamol in pharmaceutical formulations and environmental water samples, *World Journal of Pharmaceutical Research*. 7 (2018), 124-133. doi:10.20959/wjpr201815-12814.
- [21] M.S. Rizk, M. Sultan, D. Mohamed, R. MoussaTony, Simultaneous determination of dantrolene and paracetamol in human plasma by liquid chromatography tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*. 1179 (2021), 122816. doi:10.1016/j.jchromb.2021.122816.
- [22] Y. Wu, H. Zhang, S. Yu, F. Yu, Y. Li, H. Zhang, L. Qu, P.D.B. Harrington, Study on the reaction mechanism and the static injection chemiluminescence method for detection of acetaminophen, *Luminescence*. 28 (2013), 905-909. doi:10.1002/bio.2455.
- [23] H. Alatawi, A. Hogan, I. Albalawi, E. O'Sullivan-Carroll, Y. Wang, E. Moore, Fast determination of paracetamol and its hydrolytic degradation product p-aminophenol by capillary and microchip electrophoresis with contactless conductivity detection, *Electrophoresis*. 43 (2022), 857-864. doi:10.1002/elps.202100347.
- [24] E.N.M. Mahbob, M.S. Ahmad, I.M. Isa, N. Hashim, A. Ul-Hamid, M.I. Saidin, S.M. Si, Carbon paste electrode modified with PMBP: A sensitive sensor for electrochemical detection of acetaminophen, *Analytical and Inorganic*. 46 (2024), 130-145. doi:10.52568/001439/JCSP/46.02.2024
- [25] A. Miglione, A. Raucci, F. Cristiano, M. Mancini, V. Gioia, A. Frugis, S. Cinti, Paper-based 2D configuration for the electrochemical and facile detection of paracetamol in wastewaters, *Electrochimica Acta*. 488 (2024), 144255. doi:10.1016/j.electacta.2024.144255.
- [26] K. Cortés, J.J. Triviño, V. Arancibia, Simultaneous voltammetric determination of acetylsalicylic acid, caffeine and paracetamol in pharmaceutical formulations using screen-printed carbon electrode, *Electroanalysis*. 35 (2023), e202200484. doi:10.1002/elan.202200484.
- [27] Ş. Korkmaz, İ.E. Mülazımoğlu, A.D. Mülazımoğlu, High sensitivity, fast and low-cost sensor electrode development study for dopamine detection: using MWCNT modified PGE/CTP, *Journal of Pharmacy and Allied Medicine*. 1 (2023), 01-06. doi:10.58985/jpam.2023.v01i01.01.
- [28] L. Jia, X.H. Zhang, Q. Li, S.F. Wang, Determination of acetaminophen by square wave voltammetry at a gold electrode modified by 4-amino-2-mercaptopyrimidine self-assembled monolayers, *Journal of Analytical Chemistry*. 62 (2007), 266-269. doi:10.1134/S1061934807030136.

Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde Kule Yüksekliği ve Türbülans Yoğunluğu Etkisinin İncelenmesi

Rıza BÜYÜKZEREN¹  Mehmet Numan KAYA^{2*}  Ali Aydın BACAKOĞLU² 
Muhammed UÇAR³  Hasan Basri ALTINTAŞ¹  Ali ÖZTÜRK² 
Ahmet Yasin BİLİCİ⁴ 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

³ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

⁴ Chipkon Elektronik, İnnopark Konya Teknoloji Geliştirme Bölgesi, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

ÖZET

Geliş Tarihi: 01.08.2024
Kabul Tarihi: 27.08.2024
Yayın Tarihi: 31.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Kule yüksekliği,
NREL,
Rüzgâr enerjisi,
Türbülans yoğunluğu,
YERT.

Yatay eksenli rüzgâr türbinleri, yenilenebilir enerji üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu türbinlerin verimli ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi için çeşitli çevresel ve tasarım faktörlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışmada, yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde kule yüksekliği ve türbülans yoğunluğunun rüzgâr türbini çalışma karakteristiği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Referans olarak seçilen NREL 5-MW rüzgâr türbinin çalışma simülasyonları farklı koşullarda gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar, 90, 110 ve 130 metre kule yüksekliklerinde, %1, %5, %10 ve %20 türbülans yoğunluğu seviyelerinde, referans 80 metre yükseklik için tanımlanan 6, 8 ve 10 m/s rüzgâr hızlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bulguları, kule yüksekliği ve türbülans yoğunluğunun rüzgâr türbini çalışma karakteristiği üzerinde önemli etkileri olduğunu ve bu etkinin büyüklüğünün kule yüksekliği ve rüzgâr hızına bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Türbülans yoğunluğunun, rüzgâr türbinlerinin aerodinamik ve yapısal parametreleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Türbülans yoğunluğundaki artışlar, rüzgâr hızında ve buna bağlı tüm parametrelerde dalgalanmaların artmasına neden olmuştur. Ayrıca, kule yüksekliğinin artması, türbinin maruz kaldığı rüzgâr hızını artırdığı için rüzgâr türbini çıkış gücü artmaktadır. Ancak artan kule yüksekliği ile aerodinamik itme kuvveti de artmakta ve bu da yapısal elemanlar üzerindeki etkileri artırmaktadır. Rüzgâr hızı arttıkça türbülans yoğunluğunun olumsuz etkilerinin daha belirgin hale geldiği görülmüştür.

Investigation of the Tower Height and Turbulence Intensity on Horizontal Axis Wind Turbines

Article Info

ABSTRACT

Received: 1.08.2024
Accepted: 27.08.2024
Published: 31.12.2024

Keywords:

HAWT,
NREL,
Tower height,
Turbulence intensity,
Wind energy.

Horizontal axis wind turbines play an important role in renewable energy generation. For these turbines to operate efficiently and safely, various environmental and design factors need to be considered. In this study, the effects of tower height and turbulence intensity on the operating characteristics of horizontal axis wind turbines are investigated. Operating simulations of the NREL 5-MW wind turbine, selected as a reference, are carried out under different conditions. The simulations were carried out at tower heights of 90, 110 and 130 meters, turbulence intensity levels of 1%, 5%, 10% and 20%, wind speeds of 6, 8 and 10 m/s defined for the reference height of 80 meters. The findings of the study reveal that tower height and turbulence intensity have significant effects on wind turbine operating characteristics and the magnitude of this effect varies with tower height and wind speed. Turbulence intensity is found to have a significant effect on the aerodynamic and structural parameters of wind turbines. Increases in turbulence intensity resulted in increased fluctuations in wind speed and all related parameters. Furthermore, increasing the tower height increases the wind speed to which the turbine is exposed, thus increasing the output power of the wind turbine. In addition, the aerodynamic thrust increases with increasing tower height, which increases the effects on the structural elements. It was observed that the negative effects of turbulence intensity become more pronounced as the wind speed increases.

Bu makaleye atıfta bulunmak için:

Büyükzeren, R., Kaya, M.N., Bacakoğlu, A.A., Uçar, M., Altıntaş, H.B., Öztürk, A. & Bilici, A.Y. (2024). Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinlerinde Kule Yüksekliği ve Türbülans Yoğunluğu Etkisinin İncelenmesi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 566-582. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.66>

*Sorumlu Yazar: Mehmet Numan Kaya, mnkaya@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Fosil yakıtların neden olduğu çevresel sorunlar göz önüne alındığında, temiz, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının, özellikle güneş [1,2] ve rüzgâr enerjisinin, önemi her geçen gün artmaktadır [3–6]. Rüzgâr enerjisi, günümüz sürdürülebilir enerji üretiminde kritik bir rol oynamaktadır [7,8]. Fosil yakıtların kullanımına bağlı çevresel sorunları azaltmak amacıyla enerji üretiminde payı artırılan rüzgâr enerjisi, çevre dostu ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Enerji üretiminde önemli bir yer tutan rüzgâr türbinleri, rüzgârın kinetik enerjisini türbin vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Teknolojik ilerlemelerle maliyetlerin düşmesi, rüzgâr enerjisinin küresel enerji portföylerinde giderek daha büyük bir pay almasını sağlamaktadır. Bu gelişmeler, rüzgâr enerjisinin gelecekteki enerji ihtiyaçlarını karşılamada kritik bir rol oynayacağını göstermektedir. Rüzgâr türbinlerinin kurulumu karasal ve deniz üstü olarak yapılabilmektedir. Karasal rüzgâr türbinleri, genellikle açık alanlarda ve yüksek rüzgâr hızlarına sahip bölgelerde kurulmaktadır. Karasal türbinler, daha düşük maliyetli kurulum ve bakım avantajlarına sahip olmakla birlikte, rüzgâr verimliliğini artırmak için daha yüksek kuleler gerektirebilir. Ayrıca, karasal engeller ve yerel hava koşulları, rüzgâr hızlarını ve türbin verimliliğini etkileyebilir. Bununla birlikte, karada bulunmaları sebebiyle arazi kullanımı ve çevresel etkilere dikkat edilmesi gerekmektedir. Karasal rüzgâr türbinleri, dünya genelinde yaygın olarak kullanılan ve sürdürülebilir enerji üretimine önemli katkılar sağlayan bir teknolojidir. Deniz üstü rüzgâr türbinlerinde ise, daha yüksek ve sürekli rüzgâr hızları nedeniyle enerji üretim potansiyeli genellikle daha yüksektir. Deniz üstü türbinler, geniş ve açık deniz alanlarında kurulduğundan kara üzerindeki engellerden etkilenmezler ve böylece daha istikrarlı ve güçlü rüzgâr akımlarından faydalanabilirler.

Rüzgâr türbinleri, yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutarak, sürdürülebilir enerji üretiminde kritik bir rol oynamaktadır. Farklı tasarım ve yapısal özelliklere sahip rüzgâr türbinleri, çeşitli avantaj ve dezavantajları beraberinde getirir. Bu bağlamda, özellikle NACA ve NREL aerofoil profillerinin Darrieus türbinleri üzerindeki aerodinamik performansını inceleyen çalışmalar, bu türbinlerin verimlilik ve uygulama alanları hakkında önemli bilgiler sunmaktadır [9]. Ayrıca, yeni hibrit kanat tasarımlarının üç boyutlu H-tipi Darrieus rüzgâr türbinlerinin genel performansı ve kendi kendine başlama kabiliyeti üzerindeki etkilerini araştıran araştırmalar, bu türbinlerin performansını artırma potansiyelini ortaya koymaktadır [10]. Bu çalışmalar, farklı rüzgâr türbini tasarımlarının sunduğu fırsatları ve karşılaştığı zorlukları anlamak için önemli bir temel oluşturmaktadır. Bu makale, bu türbini türlerinin avantaj ve dezavantajlarını ele alarak, hangi koşullar altında daha etkili olduklarını incelemeyi amaçlamaktadır.

Kule yüksekliği ve türbülans yoğunluğunun rüzgâr türbinleri üzerindeki etkisi, çeşitli çalışmalarda incelenmiştir. Türbülans yoğunluğu, art izi özelliklerini, dinamik rüzgâr yüklerini ve genel rüzgâr türbini verimliliğini etkiler [11,12]. Deneysel araştırmalar, türbülansın özellikle düşük Reynolds sayılarında rüzgâr türbinlerinin aerodinamik özelliklerinde önemli bir rol oynadığını göstermiştir [13]. Ayrıca, yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin farklı çalışma koşullarında verimliliklerini anlamak için performans analizleri yapılmış ve türbülans etkilerinin türbin performansı üzerindeki önemi vurgulanmıştır [14]. Türbülansın rüzgâr türbini art izi ve rüzgâr çiftliği verimliliği ile etkileşimi üzerine yapılan çalışmalar, türbin art izi akışlarını anlamının ve modellemenin önemini vurgulamaktadır. Bu etkileşimler, atmosferik sınır tabakası türbülans yapısı ve güç üretim verimliliği üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır [15]. Türbülans yoğunluğunun, rüzgâr türbinlerinin aerodinamik yükleri ve yapısal performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğu ve yüksek türbülans yoğunluğuna sahip rüzgâr alanlarında platform hareketleri ve yapısal yükleri etkilediği bulunmuştur [16]. Sonuç olarak, türbülans yoğunluğu ve rüzgâr türbinleri üzerindeki etkileri üzerine yapılan araştırmalar, atmosferik türbülans, art izi dinamikleri ve türbin performansı arasındaki karmaşık ilişkiyi vurgulamaktadır. Bunun yanı sıra, rüzgâr türbinlerinin konumlandırılması ve kule yüksekliğinin optimize edilmesi, rüzgâr gücü projelerinde

önemli hususlardır [17,18]. Göbek yüksekliğinin optimize edilmesi, rüzgâr türbinlerinin kapasitesini ve genel verimliliğini artırabilir [19]. Rüzgâr parametrelerinden türbülans yoğunluğu ve rüzgâr hız profili türbin performansına etki eden kritik faktörlerdir [17,20,21].

Bu çalışmada, yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde kule yüksekliği ve türbülans yoğunluğunun etkileri incelenmiştir. Kanat Elemanı Momentum (Blade Element Momentum, BEM) teorisi kullanılarak yapılan simülasyonlarda, NREL 5-MW rüzgâr türbini referans olarak alınmıştır. Simülasyonlar ve analizler, üç farklı rüzgâr hızı ve kule yüksekliği ile dört farklı türbülans yoğunluğu değeri için yapılmıştır.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Rüzgâr Enerjisi ve Kanat Elemanı Momentum Teorisi ile İlgili Temel Formüller

(Basic Equations Related to Wind Energy and Blade Element Momentum Theory)

Bu bölümde öncelikle rüzgâr türbinleri ile ilgili hesaplamalarda ve Kanat Elemanı Momentum Teorisinde kullanılan bazı formüllere yer verilecektir. Reynolds sayısı, akışkan dinamiğinde önemli bir parametre olup, akışın laminar mı yoksa türbülanslı mı olduğunu anlamak için fikir verir. Kanat profilleri için Reynolds sayısı Denklem (1) ile hesaplanabilir.

$$Re = \frac{\rho U l}{\mu} \quad (1)$$

Bu denklemde ρ akışkan yoğunluğu (kg/m^3), U serbest akış hızı (m/s), l karakteristik uzunluğu (m) ve μ ise dinamik viskoziteyi ($Pa \cdot s$) ifade etmektedir. Aerodinamik ile ilgili çalışmalarda en çok kullanılan katsayılardan olan taşıma (C_D) ve sürüklenme (C_L) katsayıları kanat profilleri için Denklem **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** ve **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** kullanılarak hesaplanabilir. Buradaki F_L ve F_D sırasıyla kaldırma ve sürüklenme kuvvetlerini (N) ve c veter uzunluğunu (m) ifade etmektedir [22].

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U^2 c} \quad (2)$$

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho U^2 c} \quad (3)$$

Kanat eleman teorisinde her bir eleman birbirinden bağımsız olarak ele alınır ve sabit bir eksenel akış katsayısı olduğu, radyal etkileşimin olmadığı varsayılır. Bu bağlamda, kanat kesitinin tasarıma olan etkisi daha net ortaya çıkar. Akışkan ortamında hareket ettirilen bir kanat profilinde aerodinamik kuvvet bileşenlerinden hareket yönüne dik olan kaldırma kuvveti Denklem (4) ile ifade edilebilir.

$$F_L = C_L \frac{1}{2} \rho U^2 b c \quad (4)$$

Bu denklemde b kanat genişliğini ifade etmektedir. Benzer şekilde kanat üzerine etki eden sürüklenme kuvveti de Denklem **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de ifade edilmiştir.

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho U^2 b c \quad (5)$$

Belirli bir dönme hızında tasarlanan kanat geometrisinin performansı, kanat uç hızı ile rüzgâr hızı arasındaki oran kullanılarak değerlendirilir ve bu orana kanat uç hız oranı (λ) denir. Kanat uç hız oranının sıfır olduğu durumda rotorda dönme hareketi görülmez ve rüzgârdan etkin güç alınamaz. Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde genel olarak kanat uç hız oranı 0–12 arasında olduğunda pozitif güç katsayısı değeri elde edilir.

Güç katsayısı (C_P) hesabında Denklem **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** kullanılabilir.

$$C_P = \frac{P_{t\ddot{u}rbin}}{P_{disk}} = \frac{\frac{1}{2}\rho A k_V^4 (1-k_V)^2 U_D^3}{\frac{1}{2}\rho U_D^3 A} = 4k_V(1-k_V)^2 \quad (6)$$

Bu denklemde A disk alanını (m^2), k_V ise hız oranını (rotor öncesi hızın rotor sonrası hıza oranı) ifade etmektedir. Rüzgârın sahip olduğu kinetik enerjiden elde edebileceği maksimum güç katsayısı değeri (C_P) ‘Betz Limiti’ olarak adlandırılır ve alabileceği maksimum değer $k_V = 1/3$ için 0,5926 olarak hesaplanabilir [22].

Bir rüzgâr türbininin rotoruna gelen rüzgâr gücü

$$P = \frac{1}{2}\rho A V^3 \quad (7)$$

denklemleri ile ifade edilir. Bu formül, toplam verim n_t ile çarpıldığında faydalı güç elde edilir.

$$P_f = \frac{1}{2}\rho A V^3 n_t \quad (8)$$

Toplam verim ifadesi Denklem **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**’da verilmiştir.

$$n_t = C_P n_d n_j \quad (9)$$

Burada n_d ve n_j mekanik ve jeneratör verimlerini ifade etmektedir. İstenilen yükseklikteki rüzgâr hızı, referans bir yükseklikteki rüzgâr hızı biliniyorsa Denklem **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** ile bulunabilir.

$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \quad (10)$$

Burada V istenilen yükseklikteki rüzgâr hızı (m/s), H rüzgâr hızı hesaplanmak istenilen yüksekliği (m), V_0 referans yükseklikteki rüzgâr hızını (m/s), H_0 ise referans rüzgâr hızının ölçüldüğü yüksekliği (m), α ise pürüzlülük katsayısını ifade etmektedir. Bu çalışmada yüksekliğe bağlı hız değişimi hesaplamalarında pürüzlülük katsayısı değeri $\alpha = 0,16$ kabul edilmiştir.

Betz ve Schmitz Teorileri (Betz and Schmitz Theories)

Betz teorisinde rüzgârın rotasyonu dikkate alınmaz. Dolayısıyla bir ‘r’ radyal pozisyonunda, rotorun teğetsel hızı, başka bir deyişle, aşağı yönlü hızı için aşağıdaki ifadeler kullanılır. Teğetsel hızın tanımlanmasında rotorun açısal hızı da ifade edilir [22].

$$\omega = 2\pi n \quad (11)$$

$$U_R = \omega r = 2\pi n r \quad (12)$$

Burada n , rotorun saniyede gerçekleştirdiği tur sayısını ifade eder. Bununla birlikte, rotor düzlemindeki hız üçgeninin de tanımlanması gerekir. Rotor düzlemindeki rüzgâr hızı, kanat teğetsel hızı ve bağlı hızın oluşturduğu hız üçgeninden,

$$V^2 = U_R^2 + U_D^2 \quad (13)$$

ifadesi elde edilir. Kanat açılarının belirlenmesinde tanımlanan hız üçgeninden yararlanarak denklemler elde edilebilir.

Schmitz’in kanat teorisi Betz’in kanat teorisine göre daha detaylı olarak rotor düzlemindeki akış için geliştirmiştir. Teoride rotor şaftındaki torkun sadece rotor ardındaki dönüşten oluşturulabileceği belirtilmiştir. Güç ifadesinin elde edilmesinde,

$$P = M\omega \quad (14)$$

rotor torku (M) ve açısal hız (ω) kullanılır. Betz teorisinden farklı olarak, kanadın rotor dönüş yönündeki

teğetsel hızı için,

$$U_R = \omega r + \frac{1}{2} \Delta u \quad (15)$$

ifadesi kullanılır. Schmitz kanat teorisinde açılma momentumunun korunumu uygulanırken, rotorda oluşan torkun, sadece türbin ardında oluşan helezonik dönüşle beraber oluşabileceği kabulü yapılır. Kanat elemanının teğetsel hızındaki değişimin, rotor düzlemini geçiş sırasında görülen hızdaki değişimin yarısı kadar olduğu kabulü yapılır.

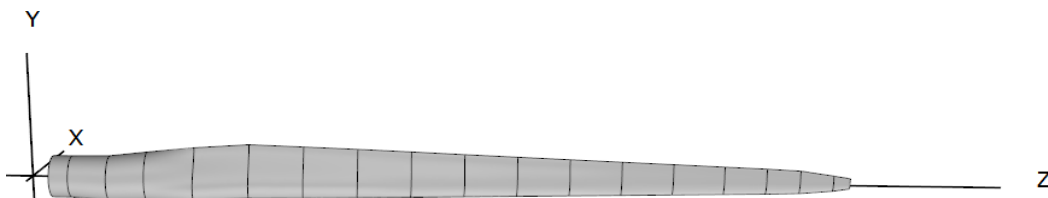
Referans Rüzgâr Türbini: NREL 5-MW (Reference Wind Turbine: NREL 5-MW)

Bu aşamada açık kaynak QBlade yazılımı kullanılarak simülasyonlar yapılmıştır. Bu yazılım özellikle rüzgâr türbini tasarımı ve analizi için geliştirilmiş açık kaynak bir yazılım paketidir. Bu yazılım, aerodinamik ve yapısal analizler yaparak kullanıcıların rüzgâr türbini performansını simüle etmesine olanak tanır. Ayrıca bu yazılım, özellikle yatay eksenli rüzgâr türbinleri (HAWT) ve dikey eksenli rüzgâr türbinleri (VAWT) üzerinde çalışmak isteyen araştırmacılar ve mühendisler rüzgâr türbinlerinin tasarım sürecini hızlandırırken, aynı zamanda türbinlerin aerodinamik performansını optimize etmek için ayrıntılı analizler yapılmasına olanak tanır. QBlade, rüzgâr türbini kanat profillerinin performansını simüle etmek için BEM (Blade Element Momentum) teorisini kullanır. Bu yöntem, kanat elemanlarının her biri üzerindeki aerodinamik kuvvetleri hesaplayarak türbinin toplam performansını değerlendirir. Ayrıca, yazılım kullanıcıların kanat profilleri oluşturmaya, bu profilleri simüle etmesine ve elde edilen sonuçları görselleştirmesine olanak tanıyan kapsamlı bir arayüz sunar. Yazılımın bir diğer önemli özelliği ise aeroelastik analizler yapabilmesidir; bu sayede, rüzgâr türbinlerinin hem aerodinamik hem de yapısal dinamiklerini aynı anda incelemek mümkündür [23].

Literatürde, QBlade yazılımının rüzgâr türbini performans analizlerinde yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, Marten ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışma, yazılımın aerodinamik simülasyonlar için sunduğu yetenekleri detaylı bir şekilde ele almış ve bu yazılımın rüzgâr türbini tasarım sürecinde sağladığı faydaları ortaya koymuştur [23].

Referans olarak kullanılan rüzgâr türbini NREL 5-MW rüzgâr türbinidir. Bu rüzgâr türbini ile ilgili genel bilgiler Tablo 1’de verilmiştir [24]. Şekil 1’de QBlade yazılımından alınan bu rüzgâr türbinine ait görsel verilmiştir. Rüzgâr türbini 126 metre rotor çapına 3 metre göbek çapına sahiptir. Dört farklı kanat profili kullanılan bu rüzgâr türbinine ait burulma açısı ve veter uzunluğu dağılımı QBlade yazılımı ile elde edilen NREL 5-MW rüzgâr türbinine ait güç katsayısı – uç hız oranı eğrisi Şekil 2’de verilmiştir. Burada rüzgâr hızı 10 m/s olarak tanımlanmış olup, Prandtl uç kayıpları hesaba katılmıştır. Buna göre en fazla güç katsayısı değeri yaklaşık $C_p=0,48$ olarak yaklaşık $\lambda=7,6$ ’da elde edilmiştir. Şekil 3’te ise itme katsayısı – uç hız oranı eğrisi verilmiştir. Beklendiği gibi uç hız oranı arttıkça itme katsayısı değeri artmakta, yaklaşık $\lambda=12$ ’de $C_T=1$ değerine ulaşmaktadır.

Tablo 2’de verilmiştir [24].



Şekil 1
NREL 5-MW yatay eksenli rüzgâr türbini kanadının görseli

Tablo 1
NREL 5-MW rüzgâr türbini [24]

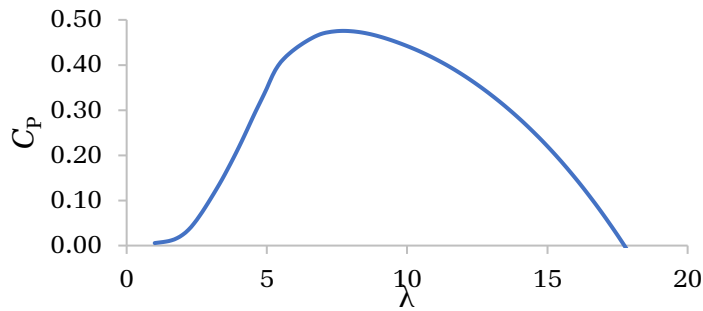
Özellik	Değer
Güç	5 MW
Kanat sayısı	3
Rotor çapı, göbek çapı	126 m, 3 m
Kule yüksekliği	90 m
Başlama, nominal, kesme rüzgâr hızları	3 m/s, 11,4 m/s, 25 m/s
Nominal rotor dönme hızı	12,1 d/d
Rotor çıkıntısı, eğimi, konikliği	5 m, 5°, 2,5°
Kule taban çapı, tepe çapı	6 m, 3,87 m

Qblade yazılımı ile elde edilen NREL 5-MW rüzgâr türbinine ait güç katsayısı – uç hız oranı eğrisi Şekil 2’de verilmiştir. Burada rüzgâr hızı 10 m/s olarak tanımlanmış olup, Prandtl uç kayıpları hesaba katılmıştır. Buna göre en fazla güç katsayısı değeri yaklaşık $C_P=0,48$ olarak yaklaşık $\lambda=7,6$ ’da elde edilmiştir. Şekil 3’te ise itme katsayısı – uç hız oranı eğrisi verilmiştir. Beklendiği gibi uç hız oranı arttıkça itme katsayısı değeri artmakta, yaklaşık $\lambda=12$ ’de $C_T=1$ değerine ulaşmaktadır.

Tablo 2

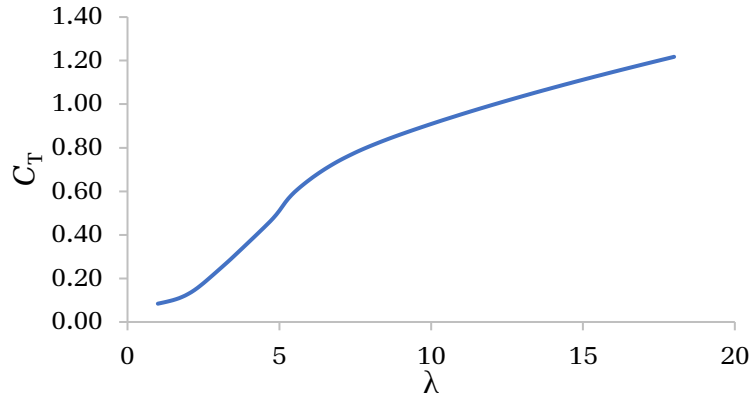
Veter Uzunluğu ve Burulma Açısı Dağılımı

	Radyal mesafe [m]	veter [m]	Burulma [derece]	Kanat profili
1	1,50000	3,54200	13,31	silindirik
2	2,86670	3,54200	13,31	silindirik
3	5,60000	3,85400	13,31	silindirik
4	8,33330	4,16700	13,31	silindirik
5	11,75000	4,55700	13,31	DU40
6	15,85000	4,65200	11,48	DU35
7	19,95000	4,45800	10,16	DU35
8	24,05000	4,24900	9,01	DU30
9	28,15000	4,00700	7,79	DU25
10	32,25000	3,74800	6,54	DU25
11	36,35000	3,50200	5,36	DU21
12	40,45000	3,25600	4,19	DU21
13	44,55000	3,01000	3,13	NACA64
14	48,65000	2,76400	2,32	NACA64
15	52,75000	2,51800	1,53	NACA64
16	56,16670	2,31300	0,86	NACA64
17	58,90000	2,08600	0,37	NACA64
18	61,63330	1,41900	0,11	NACA64
19	63,00000	0,96100	0,00	NACA64



Şekil 2

Referans rüzgâr türbinine ait uç hız oranı (λ) – güç katsayısı (C_P) eğrisi

**Şekil 3**

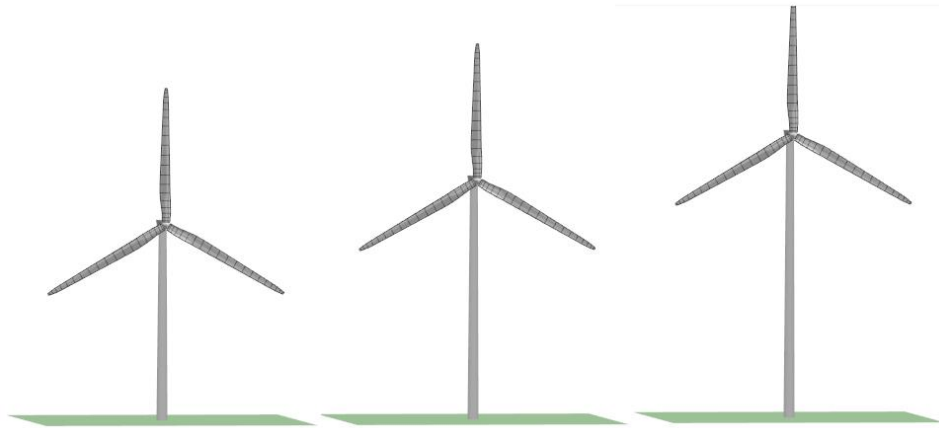
Referans rüzgâr türbinine ait uç hız oranı (λ) – itme katsayısı (C_T)

Bu çalışmada elde edilen en yüksek güç katsayısı değeri $C_P = 0,48$ olup, bu değer $\lambda = 7,6$ 'da elde edilmiştir. Literatürde yer alan NREL 5-MW türbini ile ilgili sonuçlarla karşılaştırıldığında, bu bulguların oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Jonkman ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda [24], NREL 5-MW referans türbini için maksimum güç katsayısının yaklaşık $C_P = 0,48$ seviyelerinde olduğu ve bu değer $\lambda = 7,5 - 8$ aralığında elde edildiği belirtilmiştir. Bu uyum, yapılan analizlerin doğruluğunu ve geçerliliğini desteklemektedir.

İtme katsayısı (C_T) sonuçlarına bakıldığında ise, bu çalışmada $\lambda = 12$ 'de $C_T = 1$ değerine ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç, itme katsayısının artan uç hız oranı ile yükseldiğini ve C_T değerinin belirli bir λ oranında doyuma ulaştığını göstermektedir. Literatürde de NREL 5-MW türbini için benzer eğilimler gözlemlenmiştir. Hansen tarafından yapılan bir çalışmada [25], C_T değerinin λ ile arttığı ve belirli bir λ oranından sonra (genellikle $\lambda = 11-13$ aralığında) $C_T = 1$ 'e yakın bir değere ulaştığı rapor edilmiştir. Bu da bu çalışmada QBlade yazılımı ile elde edilen sonuçların literatürle tutarlı olduğunu göstermektedir.

Uygulanan Kule Yükseklikleri, Rüzgâr Hızları ve Türbülans Yoğunlukları (Applied Tower Heights, Wind Speeds and Turbulence Intensities)

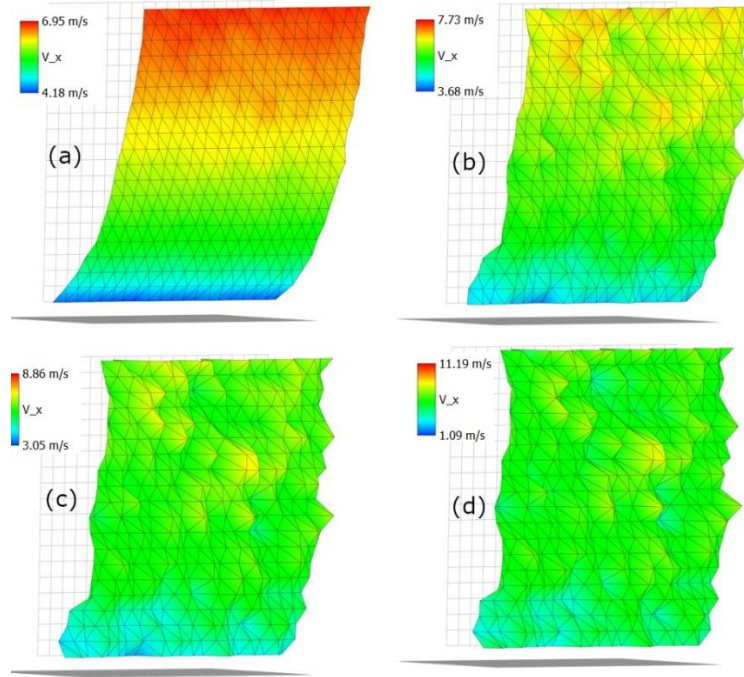
Çalışmada üç adet kule yüksekliği – 90, 110 ve 130 metre, 80 metre referans yükseklikte üç adet rüzgâr hızı – 6, 8 ve 10 m/s ve dört adet türbülans yoğunluğu – %1, 5, 10 ve 20 uygulanmıştır. Şekil 4'de uygulanan kule yükseklikleri görsel olarak sunulmuştur. Yüksekliğe bağlı hız değişiminin hesabında pürüzlülük katsayısı değeri daha önceden bahsedildiği gibi 0,16 kabul edilmiştir.

**Şekil 4**

Kule yükseklikleri: 90 m (sol), 110 m (orta), 130 m (sağ)

Türbülans yoğunluğu değeri girildikten sonra yazılım bu değere bağlı olarak rasgele türbülanslı

alanlar oluşturmaktadır. Şekil 5'te referans yükseklikte 6 m/s rüzgâr hızı için (a) %1, (b) %5, (c) %10, (d) %20 türbülans yoğunluğu değerlerinde örnek türbülanslı alan profilleri verilmiştir. Görüldüğü gibi türbülans yoğunluğu arttıkça hava hızındaki dalgalanmalarda artmaktadır.



Şekil 5

Referans yükseklikte 6 m/s rüzgâr hızı için (a) %1, (b) %5, (c) %10, (d) %20 türbülans yoğunluğu değerlerinde örnek türbülanslı alan profilleri

Tablo 3'de simülasyonlarda kullanılan girdiler özetlenmiştir. Görüldüğü gibi 160 x 160 m boyutundaki türbülans alanları Veers metodu ile oluşturulmuş, simülasyonlar 0,1 s zaman adımı ile toplam 240 s süre için gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3

Genel simülasyon girdileri

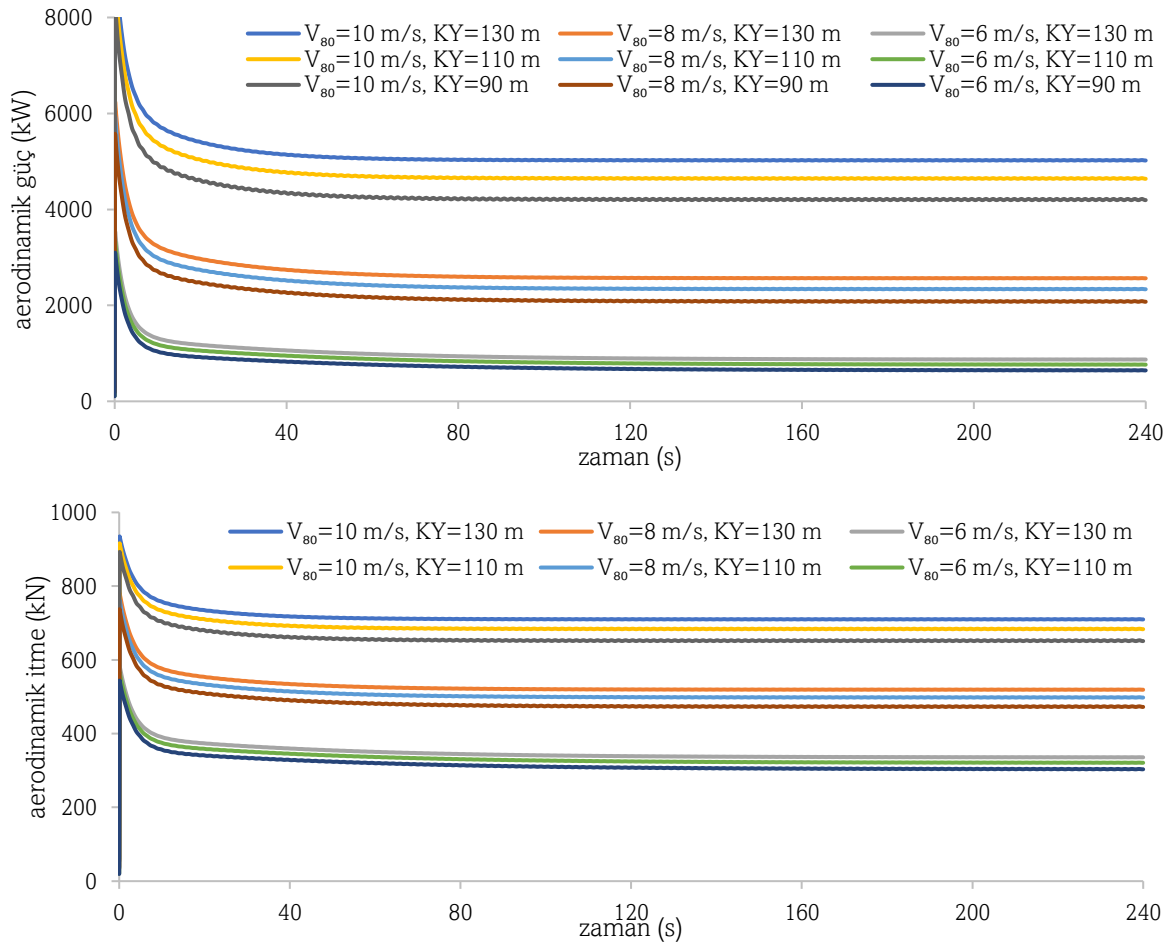
Özellik	Değer
Rüzgâr hızı (80 m referans yükseklikte)	6, 8, 10 m/s
Kule yüksekliği	90, 110, 130 m
Türbülans yoğunluğu	%1, %5, %10, %20
Pürüzlülük katsayısı	0,16
Türbülans alanı oluşturma metodu	Veers metodu
Türbülans alanı boyutları	160 x 160 m
Türbülans alanı için kullanılan rastgele girdilerin sayısı	1.000.000
Türbülans alanı simülasyon zaman adımı	0,1 s
Türbülans oluşturulmuş toplam zaman	240 s
Toplam simülasyon süresi	240 s
Simülasyon adımı	0,1 s
Rotor dönme hızı	12,1 d/d
Rotor çıkıntısı, eğimi, konikliği	5 m, 5°, 2,5°
Kule taban çapı, tepe çapı	6 m, 3,87 m
Hava yoğunluğu	1,225 kg/m ³

BULGULAR (RESULTS)

Şekil 6'da referans 80 m yükseklikte 6, 8 ve 10 m/s rüzgâr hızlarına göre üniform akış altında 90, 110 ve 130 m kule yükseklikleri için aerodinamik güç (üst) ve aerodinamik itme çıktıları verilmiştir.

Buna göre beklendiği gibi kule yükseklikleri ve referans yükseklikteki rüzgâr hızları arttıkça güç çıktısı ve itme değerleri bunlara bağlı artmıştır. Tablo 4'te üniform akış altında elde edilen aerodinamik güç, güç katsayısı (C_p), itme katsayısı (C_T) çıktıları özetlenmiştir. Burada kule yüksekliği ve rüzgâr hızının artmasıyla rüzgâr türbinlerinin ürettiği gücün önemli ölçüde arttığı, güç katsayısının yükseldiği, bu da daha yüksek kulelerin ve daha hızlı rüzgârların türbin verimliliğini olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Örneğin, referans yükseklikte 6 m/s rüzgâr hızında güç üretimi 90 m'de 644 kW iken, 130 m'de 871 kW'a çıkmıştır. Rüzgâr hızına bağlı inceleme yapıldığında, 110 m yükseklikte 6 m/s hızda güç üretimi 764 kW iken, 10 m/s hızda 4639 kW'a çıkmıştır.

Şekil 6'ya göre, farklı kule yüksekliklerinde ve rüzgâr hızlarında elde edilen aerodinamik itme kuvvetleri, rüzgâr hızına ve kule yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. Yüksek kulelerde ve artan rüzgâr hızlarında aerodinamik itme kuvveti artmakta ve nominal rüzgâr hızına kadar maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Bu itme kuvveti, türbinin nominal güce ulaştığı noktadan sonra, kanat açısının değişmesiyle birlikte azalmaktadır. Şekil 6'da rüzgâr hızları arttıkça aerodinamik itme kuvvetinin de arttığı gözlemlenebilir. Bu durum, türbin performansının ve yapısal dayanımının değerlendirilmesinde önemli bir parametre olarak ele alınmalıdır.



Şekil 6

Üniform akış altında 90, 110 ve 130 m kule yüksekliklerinde ve referans yükseklikte 6, 8 ve 10 m/s rüzgâr hızları için aerodinamik güç (üst) ve itme (alt) çıktıları

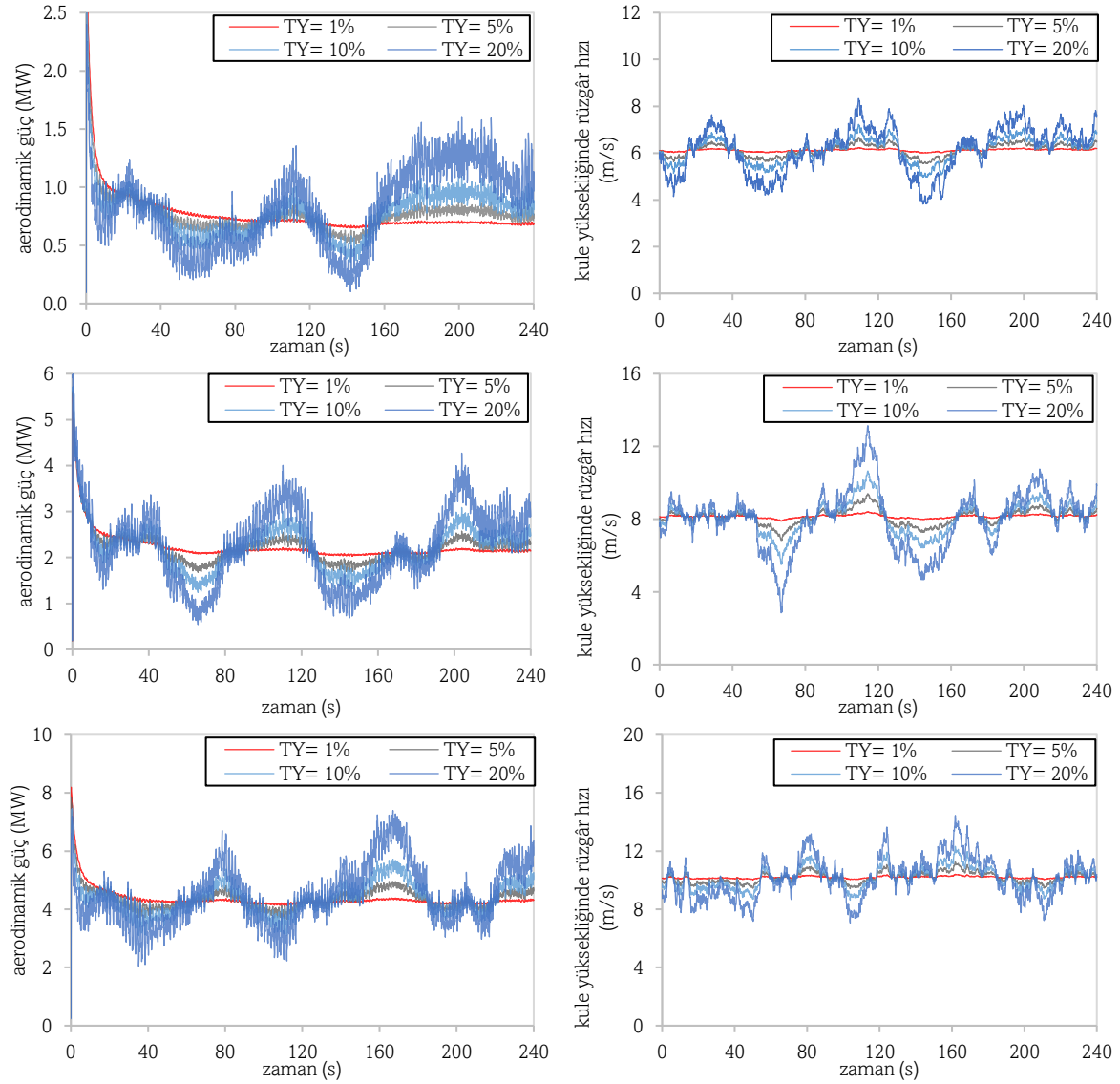
Tablo 4

Üniform akış altında çıktılar

Kule Yüksekliği →			90 m			110 m			130 m		
Rüzgâr Hızı	Güç		C_p	C_T		Güç	C_p	C_T	Güç	C_p	C_T

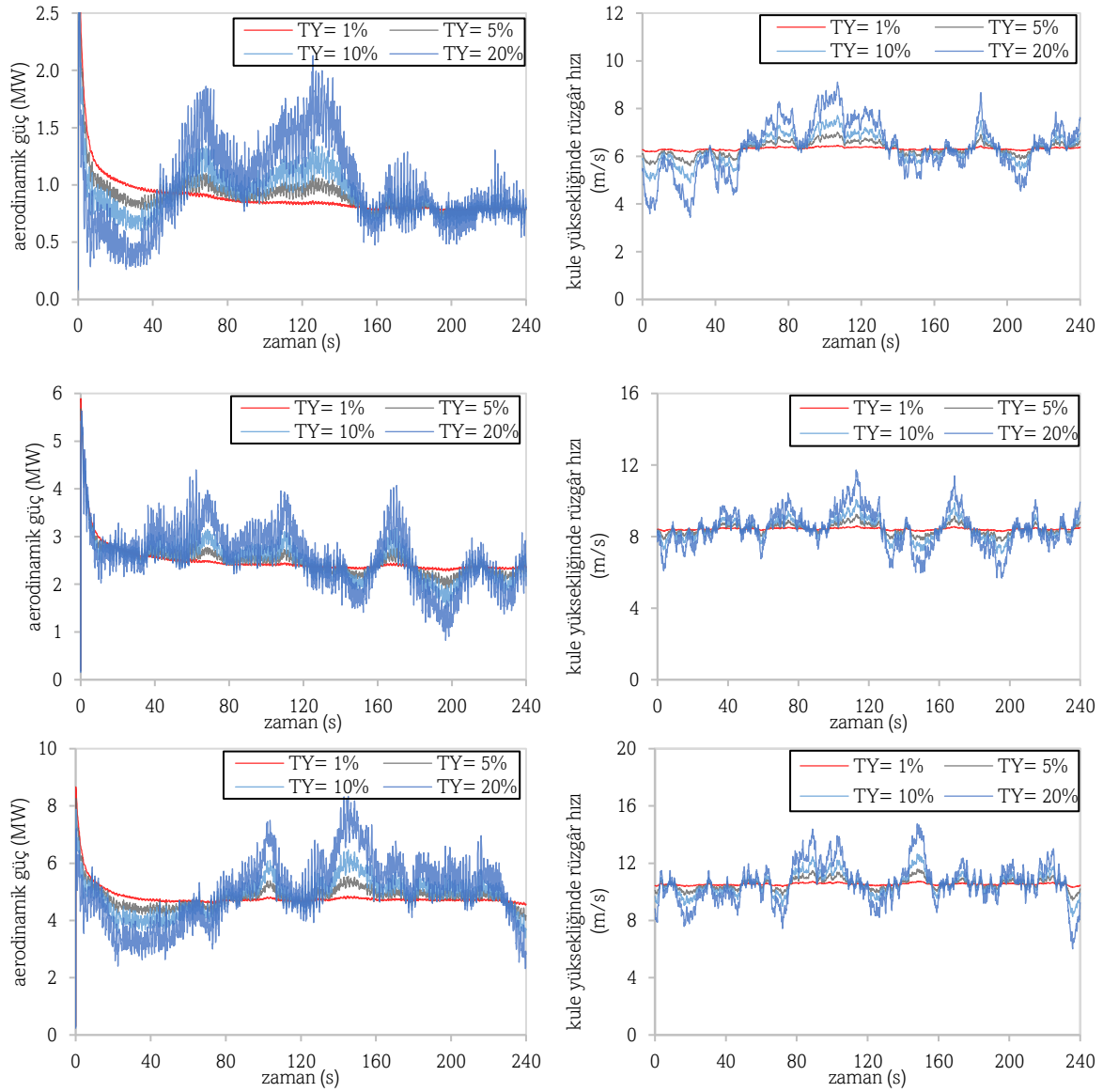
(m/s) (80 m)↓	(kW)			(kW)			(kW)		
6	644	0,37	1,06	764	0,40	1,05	871	0,42	1,05
8	2076	0,50	0,93	2336	0,51	0,92	2564	0,52	0,91
10	4195	0,52	0,82	4639	0,52	0,81	5021	0,52	0,80

Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9’da sırasıyla 90, 110 ve 130 metre kule yüksekliklerinde referans yükseklikte 6 m/s (üst), 8 m/s (orta) ve 10 m/s (alt) rüzgâr hızları için farklı türbülans yoğunluklarında aerodinamik güç çıkışı (sol) ve kule yüksekliğindeki rüzgâr hızının (sağ) simülasyonu sonuçları grafiksel olarak verilmiştir. İlk olarak Şekil 7 incelendiği zaman rüzgâr hızı dalgalanmalarının referans yükseklikte 6 m/s hızda daha az iken, 10 m/s hızda çok daha fazla olduğu görülmüştür. 90 metre kule yüksekliğinde ortalama rüzgâr hızındaki artış, referans yükseklik 80 metre olduğu için az bir miktarda olmuştur. Türbülans yoğunluğunun artmasıyla hem rüzgâr hızı hem de buna bağlı aerodinamik güç çıkışı değerlerindeki dalgalanmanın arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7

90 m kule yüksekliği ve referans yükseklikte 6 m/s (üst), 8 m/s (orta) ve 10 m/s (alt) rüzgâr hızları için farklı türbülans yoğunluklarında aerodinamik güç çıkışı (sol) ve kule yüksekliğindeki rüzgâr hızının (sağ) simülasyonu

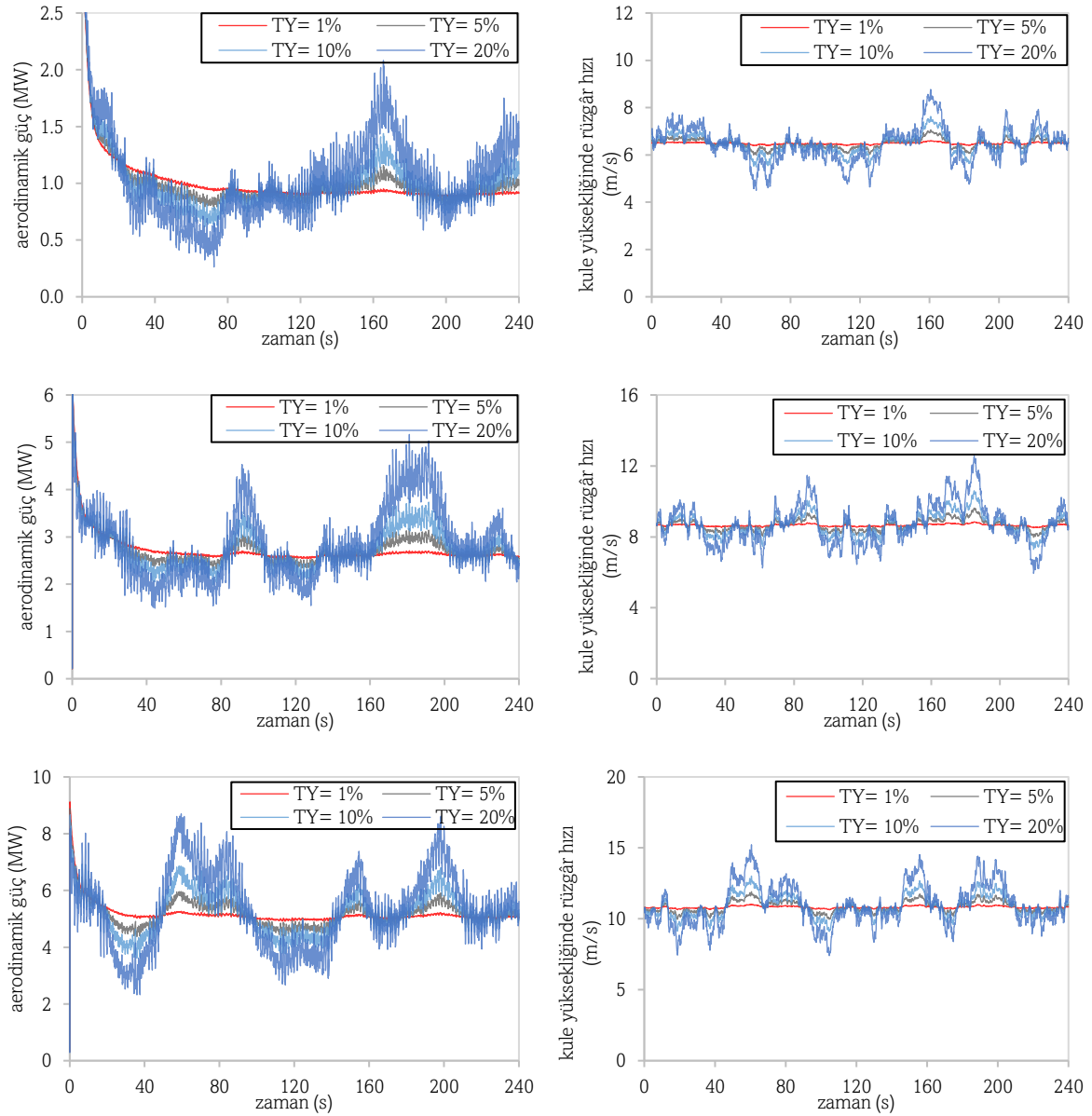


Şekil 8

110 m kule yüksekliği ve referans 6 m/s (üst), 8 m/s (orta) ve 10 m/s (alt) rüzgâr hızları için farklı türbülans yoğunluklarında aerodinamik güç çıkışı (sol) ve kule yüksekliğindeki rüzgâr hızının (sağ) simülasyonu

Şekil 8 incelendiğinde, kule yüksekliği arttıkça kule yüksekliğindeki rüzgâr hızlarının da arttığı gözlemlenmiştir. Özellikle $V_{80}=10$ m/s ve türbülans yoğunluğu değerinin %20 olduğu durumda kule yüksekliğindeki rüzgâr hızının 13 m/s değerini geçtiği görülmüş, yaklaşık 4 m/s dalgalanma olduğu gözlemlenmiştir. Beklendiği gibi en az dalgalanma %1 türbülans yoğunluğu değerinde gerçekleşmiştir.

Şekil 9'da ise 130 metre kule yüksekliğindeki sonuçlar verilmiştir. Bu kule yüksekliğinde hızların $V_{80}=6, 8$ ve 10 m/s için sırasıyla yaklaşık 6,5, 9 ve 11 m/s değerlerine ulaştığı görülmüştür. Buna bağlı olarak hız ve aerodinamik güç dalgalanmalarının türbülans yoğunluğuna bağlı olarak çok daha fazla arttığı görülmüştür. Referans hız $V_{80}=6$ m/s olduğunda bile %20 türbülans yoğunluğunda kule yüksekliğindeki hız dalgalanmasının 1,5 m/s'yi bulduğu görülmüştür.



Şekil 9

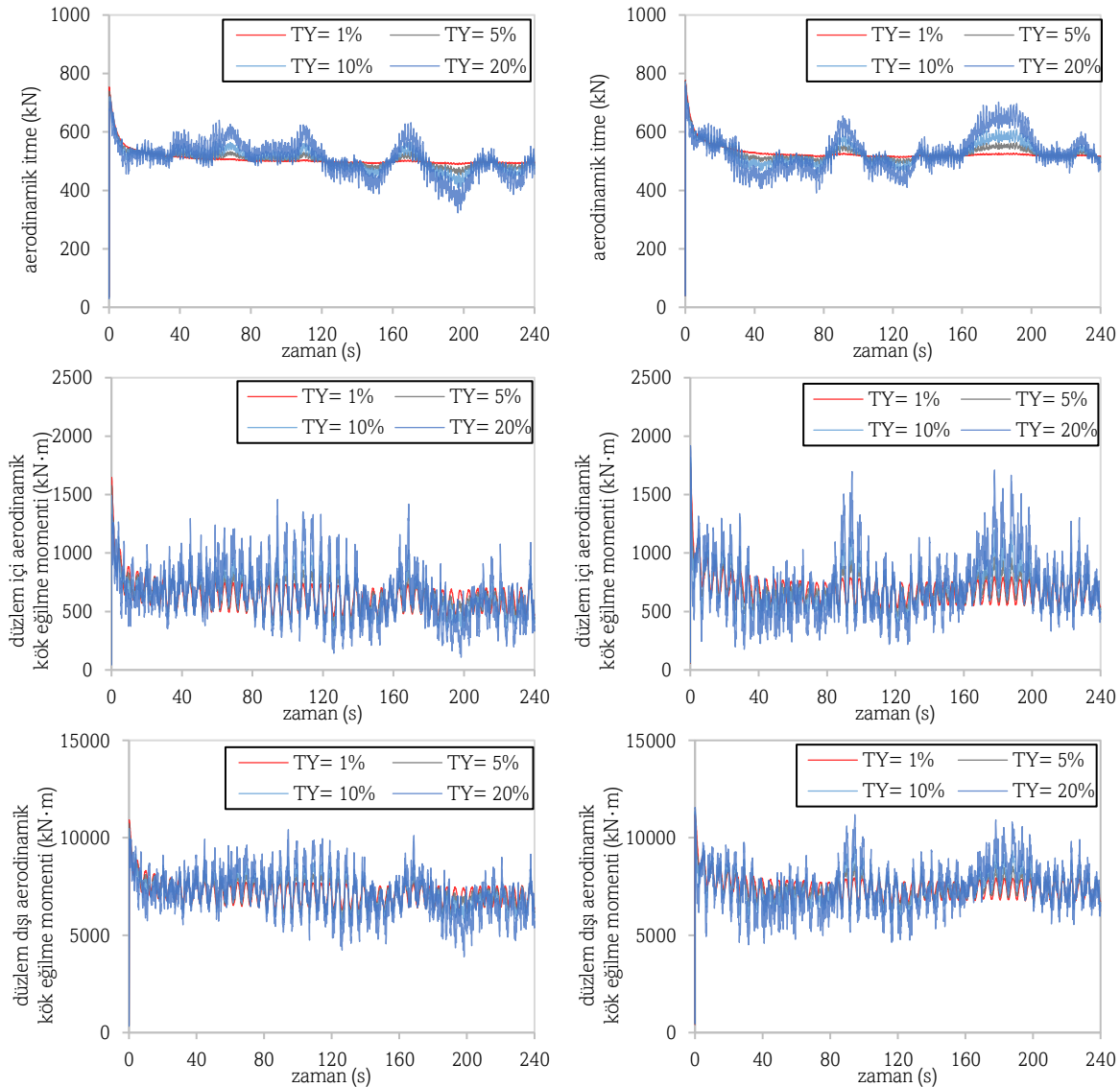
130 m kule yüksekliği ve referans yükseklikte 6 m/s (üst), 8 m/s (orta) ve 10 m/s (alt) rüzgâr hızları için farklı türbülans yoğunluklarında aerodinamik güç çıkışı (sol) ve kule yüksekliğindeki rüzgâr hızının (sağ) simülasyonu

Şekil 10'da rüzgâr hızı referans yükseklikte sabit tutularak 110 metre ve 130 metre kule yüksekliklerinin ve türbülans yoğunluklarının aerodinamik itme ile aerodinamik düzlem iç ve dış kök eğilme momentlerine olan etkileri incelenmiştir. 130 metrelik kule için, kule yüksekliğine bağlı olarak rotora gelen rüzgâr hızı göbekte yaklaşık %2,7 daha fazladır.

Kule yüksekliğine bağlı gelişen hız artışı doğal olarak hem kule hem de rotor kanatları üzerinde daha yüksek aerodinamik itmelere sebep olmaktadır. Aerodinamik itme kuvvetlerindeki artış Şekil 10'da %1 türbülans yoğunlukları karşılaştırıldığında açık olarak görülebilmektedir. 110 metre kule yüksekliği için aerodinamik itme değeri yaklaşık 500 kN değeri etrafında salınım yapmakta iken 130 metre için bu değer 520 kN dolaylarındadır. Kule yüksekliği artışı düzlem içi ve dışı kök eğilme momentlerini de etkilemiştir. 110 metrelik kule ile yapılan simülasyonda düzlem içi kök eğilme momenti yaklaşık 600 kN·m etrafında salınım yaparken bu değer 130 metrelik kule simülasyonu için 680 kN·m dolaylarındadır. Düzlem dışı kök eğilme momentlerinde ise bu değerler 110 metrelik kulede

yaklaşık 7000 kN·m ve 130 metrelik kulede yaklaşık 7500 kN·m civarında salınım göstermektedir.

Her iki kule yüksekliği için de Şekil 8 ve Şekil 9'a paralel olarak Şekil 10'da karşılaştırılan değerlerin yaklaşık 80 saniyelik periyotlarla dalgalandığı görülmektedir. Fakat bu iki kulenin aerodinamik itme ile aerodinamik düzlem iç ve dış kök eğilme momentlerinde ortalama sonuçların etrafında salınım genliklerinin farklı olduğu görülmüştür. 130 metrelik kule için bu genlikler daha fazladır. Kule yüksekliği farkı dolayısı ile anlık rüzgâr hızları 110 metrelik kulenin göbek yüksekliği için 10,5 m/s ve 130 metrelik kulenin göbek yüksekliğinde 12,5 m/s'ye kadar yükselmektedir. Bu durum özellikle %10 ve %20 türbülans yoğunluğunda daha belirgindir. Rüzgâr hızı dolayısı ile artan aerodinamik itmeye ek olarak, kule yükseklik artışı kuvvet kolunu uzatması dolayısı ile kule tabanında önemli derecede moment artışına sebep olmuştur. Ayrıca kule yüksekliğindeki artışla birlikte kulelerin ön-arka ve yanal doğal salınım frekansları da farklılaşmıştır. Sonuç olarak aerodinamik yüklere karşı yapı tepkisi ve salınım genlikleri değişmiştir.

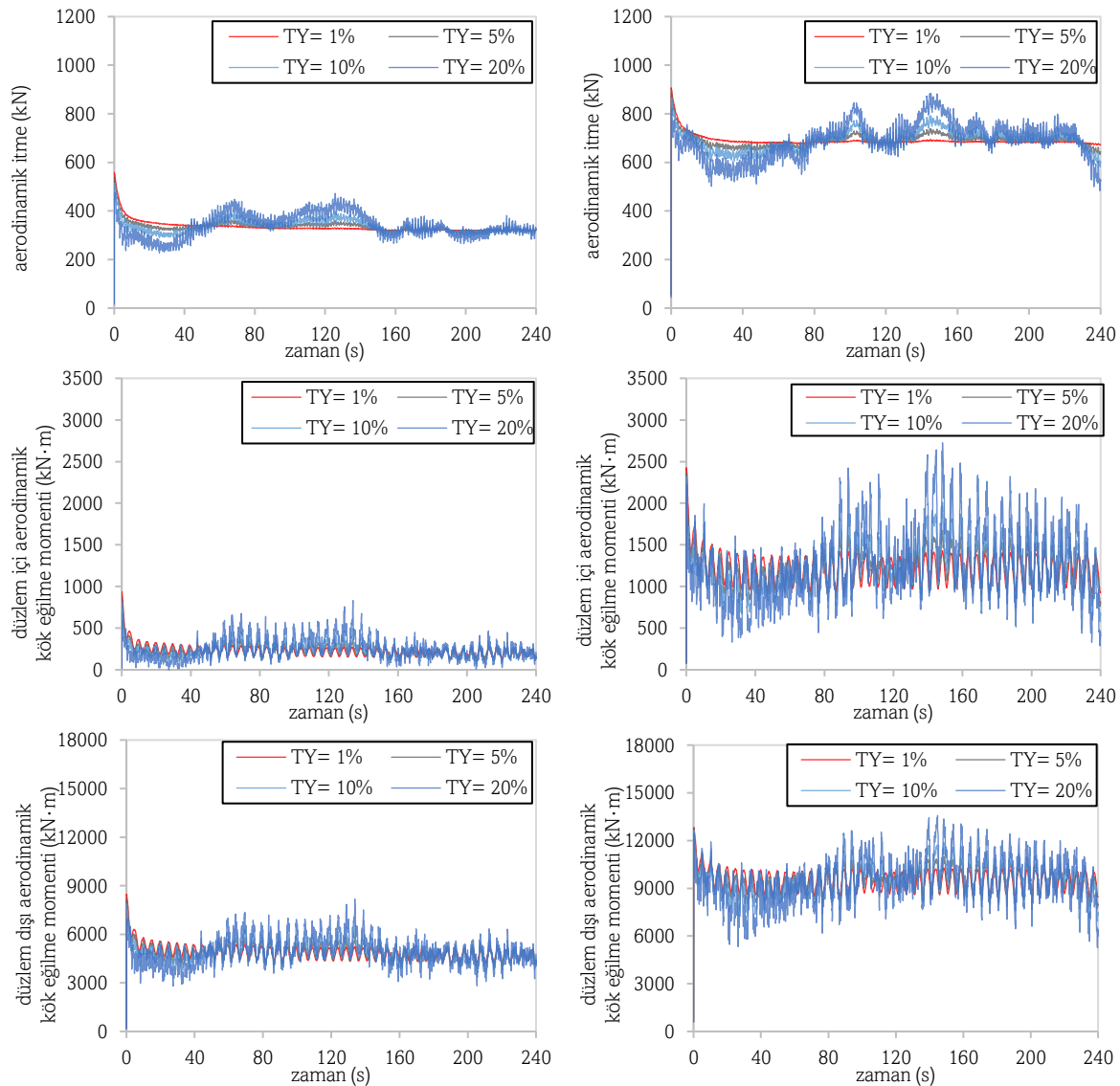


Şekil 10

Referans yükseklikte 8 m/s rüzgâr hızında, 110 m (sol) ve 130 m (sağ) kule yüksekliklerinde itme kuvveti (üst), aerodinamik düzlem içi kök eğilme momenti (orta), aerodinamik düzlem dışı kök eğilme momenti (alt) farklı türbülans yoğunluklarında değişimi

Şekil 11'de kule yüksekliği sabit tutularak referans yükseklikte farklı rüzgâr hızlarının ve türbülans yoğunluklarının aerodinamik itme ile aerodinamik düzlem iç ve dış kök eğilme momentlerine

olan etkileri incelenmiştir. Referans yükseklikteki 6 m/s hız için aerodinamik itme değerleri 320 kN civarında salınım yaparken bu değer 10 m/s rüzgâr hızı için yaklaşık 680 kN'dır. Aerodinamik itme kuvveti türbin nominal rüzgâr hızına kadar artmakta ve maksimum değere ulaşmaktadır. Nominal hızın üzerindeki değerlerde ise nominal güce ulaşıldığı için kanat açısı değişir ve aerodinamik itme değerleri hız arttıkça azalır. Türbülans yoğunluğuna bağlı değişimde ise 10 m/s rüzgâr hızları daha yüksek genlikli dalgalanmalara sebep olmuştur. Fakat bu dalgalanmaların ortalama etrafındaki seyrinde, kule yüksekliği değişimine benzer şekilde, önemli derecede genlik farkı görülmemektedir. Bu noktada Şekil 8'de verilen anlık rüzgâr hızı değişimleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu grafiklerde 10 m/s ortalama hız için ulaşılan anlık maksimum hızlar 6 m/s için edinilen anlık maksimum hızlara göre oransal olarak daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu sonuçlar %20 türbülans yoğunluğu için belirgindir.



Şekil 11

110 m kule yüksekliğinde, referans yükseklikte 6 m/s (sol) ve 10 m/s (sağ) rüzgâr hızlarında itme kuvveti (üst), aerodinamik düzlem içi kök eğilme momenti (orta), aerodinamik düzlem dışı kök eğilme momenti (alt) farklı türbülans yoğunluklarında değişimi

Aerodinamik itmeye paralel olarak düzlem içi ve dışı eğilme momentleri de rüzgâr hızı artışı ile önemli derecede artmıştır. 80 metre referans yükseklikteki 6 m/s rüzgâr hızı 110 metrelik kule için düzlem içi kanat kök momentleri için yaklaşık ortalama 200 kN·m değerlerine ulaşırken bu değer 10

m/s için 1200 kN·m değerlerine kadar çıkmaktadır. Benzer şekilde düzlem dışı kanat kök eğilme momenti de yaklaşık ortalama 4500 kN·m değerlerinden 9500 kN·m değerlerine yükselmektedir. Ayrıca, %20 türbülans yoğunluğu için daha belirgin olmak üzere, anlık rüzgâr hızı dalgalanmalarının etkisi ile kanat kök eğilme momentleri daha yüksek genlikte dalgalanmalara sahiptir.

SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, yatay eksenli rüzgâr türbinlerinin performansı üzerindeki kule yüksekliği ve türbülans yoğunluğu etkileri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Referans olarak NREL 5-MW rüzgâr türbini seçilmiş, farklı kule yüksekliklerinde, türbülans yoğunluklarında ve rüzgâr hızlarında simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, kule yüksekliğinin ve türbülans yoğunluğunun türbin çalışma karakteristiği üzerinde belirgin etkiler yarattığını göstermektedir. Kule yüksekliği arttıkça, türbinin rüzgâr hızından daha fazla yararlandığı ve türbin verimliliğinin iyileştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, türbülans yoğunluğundaki artışlar, rüzgâr hızında ve buna bağlı tüm parametrelerde dalgalanmaların artmasına neden olmuştur. Bu etkiler, rüzgâr hızlarına göre değişiklik göstermiştir. Rüzgâr hızındaki artışın, aerodinamik itme, düzlem içi ve dışı eğilme momentlerinde ciddi artışa neden olduğu, türbülans yoğunluğunun artması ile bu parametrelerdeki dalgalanma miktarlarının önemli derecede arttığı görülmüştür. Sonuç olarak, türbin kule yüksekliği ve türbülans yoğunluğunun rüzgâr türbinleri için dikkate alınması gereken önemli parametreler olduğu ortaya konmuştur.

Etik Beyan (Ethical Statement)

Bu makale, yazarların daha önce başka bir yerde yayımlanmamış olan kendi özgün çalışmasıdır. Makale, yazarların kendi araştırma ve analizlerini doğru ve eksiksiz bir şekilde yansıtmaktadır. Sonuçlar, önceki ve mevcut araştırmalar bağlamında uygun bir şekilde ele alınmıştır.

Etik Kurul Onayı (Ethics Committee Approval)

Bu çalışma için etik kurulu onayı gerekmemektedir.

Yazar Katkıları (Author Contributions)

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) M.N.K (%40) – A.A.B (%30) – R.B (%15) – M.U (%15)

Veri Toplama (CRediT 2) M.N.K (%60) – A.A.B (%30) – R.B (%10)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) M.N.K (%30) – A.A.B (%20) – R.B (%10) – M.U (%20) – H.B.A (%10) – A.Ö (%10)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) M.N.K (%30) – A.A.B (%30) – R.B (%10) – M.U (%20) – H.B.A (%10)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) A.Ö (%20) – H.B.A (%30) – R.B (%30) – A.B (%10) – M.N.K (%10)

Finansman (Financing)

Bu çalışma herhangi bir kurum tarafından desteklenmeden yapılmıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarların bu çalışma için beyan ettikleri herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: Desteklemiyor

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] R. Buyukzeren, A. Kahraman, A comparative study on the application of solar thermal collector and photovoltaic combinations to assist an air source heat pump, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 149 (2024), 9413–9428. doi:10.1007/s10973-024-13475-z.
- [2] R.E. Unal, M.H. Guzel, M.A. Sen, M.H. Aksoy, Solar radiation estimation using ANFIS model: evaluation of membership function types and data selection, *International Journal of Environmental Science and Technology*. 21 (2024), 9031-9044. doi:10.1007/s13762-024-05571-2.
- [3] B. Akgayev, S. Akbayrak, M. Yılmaz, M.S. Büker, V. Unsur, Assessing the feasibility of photovoltaic systems in Türkiye: technical and economic analysis of On-Grid, Off-Grid, and Utility-Scale PV Installations, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 6 (2024), 69-92.
- [4] A.O. Özkan, H.B. Demir, Fotovoltaik panellerde sıcaklık ve zenit açısının panel güç üretimine etkisi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 1 (2019), 1-9.
- [5] M.S. Endiz, R. Akkaya, Yarı Empedans Kaynaklı İnverterlerde Farklı PWM Kontrol Tekniklerinin Performans Etkisinin İncelenmesi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 2 (2020), 12-26.
- [6] R. Büyükzeren, A. Kahraman, M.N. Kaya, H.İ. Dağ, Experimental validation of performance parameters of an air source heat pump model, *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*. 9 (2021), 739–748. doi:10.29109/gujsc.1015345.
- [7] F. Kose, M.N. Kaya, Wind-Hydro pumped storage power stations to meet the energy demands of irrigation: feasibility, optimal design and simulation of a system, *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*. 39 (2018), 223-232.
- [8] H.D. Arslan, S.M. Acar Bilgili, S. Doğan, Farklı ilkim bölgelerinde TOKİ tip konutlarının doğal havalandırma analizi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 6 (2024), 1-21.
- [9] Y. Celik, A comparative aerodynamic analysis of NACA and NREL aerofoils for darrieus turbines using CFD, *International Journal of Innovative Engineering Applications*. 6 (2022), 111-117. doi:10.46460/ijiea.1075684.
- [10] Y. Celik, D. Ingham, L. Ma, M. Pourkashanian, Novel hybrid blade design and its impact on the overall and self-starting performance of a three-dimensional H-type Darrieus wind turbine, *Journal of Fluids and Structures*. 119 (2023), 103876. doi:10.1016/j.jfluidstructs.2023.103876.
- [11] Y.-T. Wu, F. Porté-Agel, Simulation of turbulent flow inside and above wind farms: model validation and layout effects, *Boundary-layer meteorology*. 146 (2013), 181-205.
- [12] M.N. Kaya, O. Uzol, D. Ingham, F. Köse, R. Buyukzeren, The aerodynamic effects of blade pitch angle on small horizontal axis wind turbines, *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*. 33 (2023), 120-134. doi:10.1108/HFF-02-2022-0128.
- [13] J.Y. Zhu, L. Zhang, Q.L. Qu, P.Q. Liu, Experimental investigation of aerodynamic characteristics for three typical micro wind turbines at low reynolds number, *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 13 (2020) 1143-1148.
- [14] D. Rozehnal, J. Hnidka, Performance analysis of a horizontal axis wind turbine, içinde: *MATEC Web of Conferences*, 2020: s. 52.
- [15] Y.-T. Wu, C.-Y. Lin, T.-J. Chang, Effects of inflow turbulence intensity and turbine arrangements on the power generation efficiency of large wind farms, *Wind Energy*. 23 (2020), 1640-1655.
- [16] L. Li, Y. Liu, Z. Yuan, Y. Gao, Dynamic and structural performances of offshore floating wind turbines in turbulent wind flow, *Ocean Engineering*. 179 (2019), 92-103.

- [17] K.O. Roberts, N. Mahomed, Hub height optimisation of commercial WTGs based on accurate wind resource analysis, *Wind Engineering*. 46 (2022), 200-220.
- [18] Y.-S. Lee, B.-L. Choi, J.H. Lee, S.Y. Kim, S. Han, Reliability-based design optimization of monopile transition piece for offshore wind turbine system, *Renewable Energy*. 71 (2014), 729-741.
- [19] K. Chen, M.X. Song, X. Zhang, The investigation of tower height matching optimization for wind turbine positioning in the wind farm, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 114 (2013), 83-95.
- [20] T.-H. Yeh, L. Wang, A study on generator capacity for wind turbines under various tower heights and rated wind speeds using Weibull distribution, *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 23 (2008), 592-602.
- [21] Q. Li, J. Murata, M. Endo, T. Maeda, Y. Kamada, Experimental and numerical investigation of the effect of turbulent inflow on a Horizontal Axis Wind Turbine (Part I: Power performance), *Energy*. 113 (2016), 713-722. doi:10.1016/j.energy.2016.06.138.
- [22] Y. Gülsoy, Kanal içerisinde rüzgar türbini tasarım ve HAD analizi ile kanal profilinin türbin performansına etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı / Isı-Akışkan Bilim Dalı*, İstanbul, 2018.
- [23] D. Marten, J. Wendler, G. Pechlivanoglou, C.N. Nayeri, C.O. Paschereit, QBLADE: An open source tool for design and simulation of horizontal and vertical axis wind turbines, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 3 (2013), 264-269.
- [24] J. Jonkman, S. Butterfield, W. Musial, G. Scott, Definition of a 5-MW reference wind turbine for offshore system development, 2009. doi:10.2172/947422
- [25] M.O.L. Hansen, Aerodynamics of wind turbines, *Earthscan*, 2008.

Güneş Enerji Santralinin Temizlik Sonrası Üretim Verilerinin İncelenmesi

Mustafa Tahir AKKOYUNLU ^{1*}  Enes POLAT ¹  Recep ÖZKILIÇASLAN ¹ 
Veli KELEŞ ¹  Yousef ABDALLATIF ¹  Ahmet SAMANCI ¹ 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 16.05.2024
Kabul Tarihi: 02.08.2024
Yayın Tarihi: 31.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Güneş enerjisi,
Fotovoltaik panel,
Üretim verileri,
Konya.

ÖZET

Güneş panelleri dünya çapında en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Bu santraller de temiz ve sürdürülebilir enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Üretilen bu güç sanayi başta olmak üzere, tarımsal sulama sistemlerinde ve evsel enerji tüketiminde kullanılmaktadır. Fotovoltaik sistemin verimliliğini hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve yönü, bağıl nem, güneş radyasyonu, toz birikimi ve gölge gibi birçok faktör etkilemektedir. Bu çalışmada, Konya–Meram ilçesinde enerji üretimi yapan fotovoltaik bir sistem ele alınmıştır. Konya ve çevresi güneş enerji potansiyeli bakımından oldukça zengin bir ildir ve bu bölgede birçok santral faaliyet göstermektedir. Çalışmada Meram bölgesinde enerji üreten santralin haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarındaki güç üretimi FusionSolar takip sistemi kullanılarak gözlemlenmiştir. Takip sisteminden alınan veriler incelendiğinde, haziran ayında santralin ürettiği güçte önemli ölçüde güç düşüşü tespit edilmiş ve bu düşüşün toz etkisinden yani santralin kirlenmesi kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Temmuz ayında yani temizlik yapıldıktan sonra santralin ürettiği güç artmıştır. Temizlik sonrası güç üretimi, temizliğin yapılmadığı önceki aylara kıyasla %17,5 oranında artmıştır. Fakat santralin ağustos ayında tekrar kirlendiği tespit edilmiş ve santral bir kez daha temizlenmiştir. İkinci temizlikten sonra da santral performansında iyileşme gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, güneş enerjisi santrallerinin takip sistemleri ile düzenli bir şekilde izlenmesi ve kirlilik kaynaklı güç üretimindeki düşüş görülmesinden sonra santralin temizlenmesi ihtiyacını gözler önüne sermiştir. Çalışmadaki veriler, üretimde önemli bir başlangıç artışının ardından kademeli bir düşüş olduğunu göstermiş ve ortalama iki ayda bir periyodik temizlik ihtiyacını vurgulamıştır. Böylece bu santrallerden hem daha fazla güç elde edilecek hem de fosil kaynakların daha az kullanımı sağlanacaktır.

Investigation of Production Data of Solar Power Plant after Cleaning

Article Info

Received: 16.05.2024
Accepted: 02.08.2024
Published: 31.12.2024

Keywords:

Solar energy,
Photovoltaic panel,
Production data,
Konya.

ABSTRACT

Solar panels are one of the most widely used renewable energy sources worldwide. These power plants are also clean and sustainable energy production. This power is used primarily in industrial irrigation systems and domestic energy consumption. The efficiency of the photovoltaic system is influenced by many factors such as air temperature, wind speed and direction, relative humidity, solar radiation, dust accumulation, and shade. This study discussed a photovoltaic system that produces energy in the Konya–Meram district. Konya and its surroundings are rich in solar energy potential, and many power plants are operating in this region. The study also observed the power generation of the power plant in the Meram region in June, July, August, and September using the FusionSolar tracking system. When the data obtained from the follow-up system was examined, a significant power drop in the power produced by the plant was detected in June and it was determined that this decrease was due to the dust effect, that is, the contamination of the plant. In July, after cleaning, the power produced by the plant increased. Power generation after cleaning increased by 17.5% compared to previous months when cleaning was not done. However, it was found that the plant was polluted again in August and the plant was cleaned once more. After the second cleaning, the plant performance improved significantly. As a result, it has revealed the need to clean the plant after regular monitoring of solar power plants with monitoring systems and the decline in pollution-induced power generation. The data in the study showed a gradual decline in production following a significant initial increase, highlighting the need for periodic cleaning every two months on average. Thus, more power will be obtained from these plants and less use of fossil resources will be provided.

To cite this article:

Akkoyunlu, M.T., Polat, E., Özkılıçaslan, R., Keleş, V., Abdellatif, Y. & Samancı, A. (2024). Güneş enerji santralinin temizlik sonrası üretim verilerinin incelenmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 583-591. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.67>

*Sorumlu Yazar: Mustafa Tahir Akkoyunlu, makkoyunlu@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde enerji talebinin hızla artması, sürdürülebilir ve çevre dostu enerji kaynaklarına olan ihtiyacı önemli ölçüde artırmıştır. Bu bağlamda güneş enerjisi, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak giderek daha fazla tercih edilmektedir. Güneş panelleri, güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştürerek elektrik üreten sistemlerdir. Üretilerek şebekeye verilen bu elektrik sanayide, evlerde ve tarımsal sulama sistemlerinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [1]. Güneş panellerinin verimliliği çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler FV teknolojisi, güneş ışınımı, ortam ve hücre sıcaklığı, eğim açısı ve yönlendirme, gölgelenme ve kirliliktir (toz birikimi). Günümüzde çok sayıda güneş santrali kurulmuş ve enerji üretmektedir. Sahadan alınan veriler neticesinde zamanla üretim kaybı olduğu görülmüştür. Bunun en önemli sebebi ise güneş panellerinin zamanla çevresel nedenler kaynaklı kirlenmesidir. Bu kirlenmenin en önemli sebebi ise toz oluşumudur. Toz, kaya oluşumlarının jeolojik aşındırılmasından kaynaklı, katı parçacık madde olarak karakterize edilir. Araştırmalar, temel bileşeninin silikon olduğunu göstermektedir, ancak belirli organik bileşenler de bileşimine katkıda bulunabilir. Bu organik bileşenler, partikülleri bağlayan yapışkan ajanlar olarak hareket eder ve onların rüzgârla taşınmasını kolaylaştırır, böylece kirliliğe neden olur [2]. FV verimini düşüren en önemli parametrelerden biri de panel yüzeyinin kısmen veya tamamen toz nedeni ile kirlenmesidir [3]. Fotovoltaik modüller üzerinde toz birikmesi birbiriyle ilişkili üç değişkene bağlıdır. Bunlar çevresel koşullar, tozun özellikleri ve FV modülünün kurulum yöntemidir [4,5].

Yılda yaklaşık olarak 2000 milyon ton toz küresel olarak salınırken, bunun %75'i karasal yüzeylere çökmekte, kalanı ise denizlerin üzerine dağılmaktadır [6,7]. Denizlerin üzerine gelen toz birikimi karbon emilimini ve tutma süreçlerini artırırken, kara üzerine gelen toz ise güneş enerjisi santrallerinin veriminin düşmesine hatta panellerin bozulmasına neden olmaktadır [8,9].

Kirli bir yüzey, güneş ışınlarının panel içine nüfuz etmesini engeller ve bu da verimliliği azaltır. Düzenli temizlik, bu kaybın minimize edilmesine yardımcı olurken, temizlenmiş paneller daha fazla güneş ışığını emerek daha yüksek elektrik üretimi sağlar. Farklı etkileri incelemek ve bunları üretilen gerçek miktarla karşılaştırmak için güneş enerjisi santrallerinden enerji üretim miktarını tahmin etmenin yollarını bulmak da gereklidir [10].

Güneş panellerinin temizlenmesi ve kirlilik etkisinin azaltılması son zamanlarda üzerine çalışılan bir araştırma alanıdır. Irak'ın Bağdat şehrinde yapılan deneysel bir çalışma da, güneş paneli üzerindeki kirliliğin verime etkisi analiz edilmiştir. Kirlilik kaynaklı verim azalması bir gün, bir hafta ve bir ay için gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda panel verimindeki azalma %6.24, %11.8 ve %18.74 olarak belirlenmiştir [11]. Yapılan başka bir çalışmada ise Kuzey Umman'da, toz birikimine bağlı olarak panel verimindeki azalmanın %5.5 ile %18 arasında olduğu gözlemlenmiştir [12]. Benzer şekilde, Hindistan'ın Surat şehrinde sekiz haftalık bir süre boyunca biriken toz, sistemin elektriksel verimliliğinde %44.14 gibi yüksek verim azalmasına yol açmıştır [13]. Aynı şekilde, Nepal'in Lalitpur şehrinde beş ay süren toz birikimi %29.76'ya varan verimlilik azalmalarına yol açmıştır [14]. Kuzey Polonya'da yapılan gözlemlere sonucunda, doğal olarak biriken toz nedeniyle FV modüllerinin verimliliğinin, ortalama olarak %25.5 azaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, Çin'in Xi'an şehrinde kirlilik nedeniyle güç üretim oranı %79.38'e düşmüştür [15]. Birleşik Arap Emirlikleri'n de yapılan başka bir çalışmada ise güç kaybının %1.7 azaldığı belirlenmiştir [16]. İran'ın Tahran şehrinde yağışsız geçen 70 günlük periyot sonucunda FV panel güç kaybının %21.47 tespit edilmiştir [17]. Jung ve arkadaşları, Şili'deki tarım arazileri üzerinde kurulan güneş santralindeki toz birikiminden kaynaklı kirlenmenin etkilerini incelemiş ve çalışma sonucunda kirliliğin santral performansını %40 oranında düşürdüğünü tespit etmiştir [18].

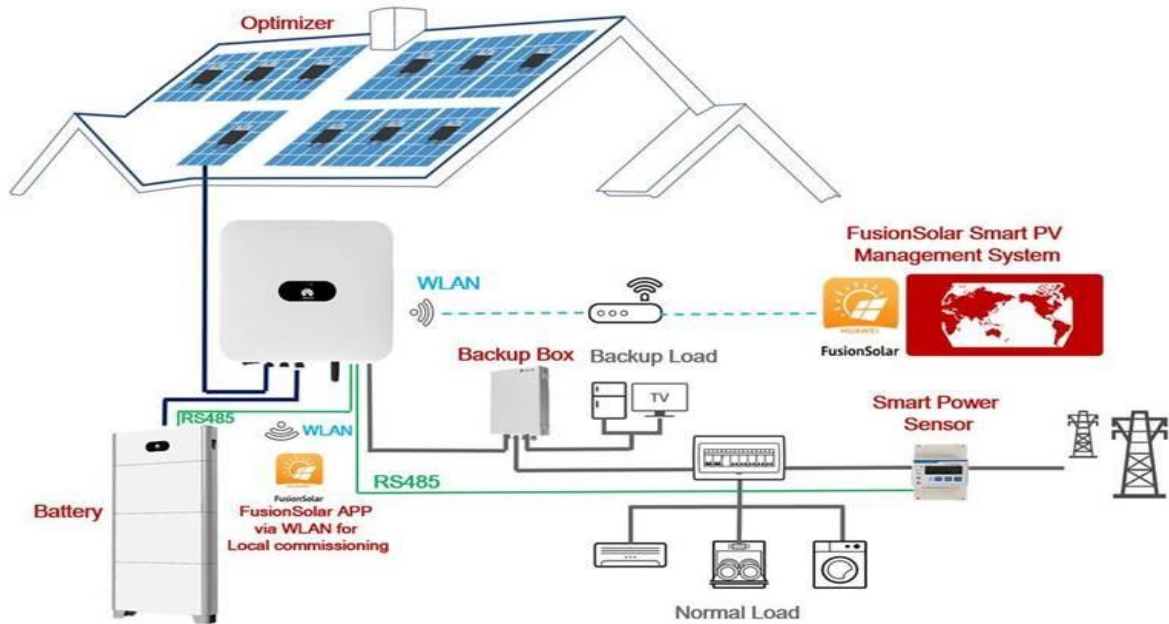
Ayrıca Selvaganesh ve arkadaşları, Hindistan Silarpatti bölgesindeki bir tesiste kirli FV panelini, tasarladıkları bir robotik sistem ile temizlemiş ve yapılan işlemin panel verimliliğini %93 oranında

artırdığını ifade etmişlerdir [19]. Chailoet ve Pengwang tarafından yapılan çalışma, uzunluğu 1-4 metre arasında değişen güneş panellerini temizlemek için tasarlanmış modüler bir robotik sistem sunmakta ve robotik temizliğin elektrik üretimini %3.40'a kadar artırabileceğini ve çok kirli panellerde daha fazla verimlilik potansiyeli olduğunu göstermektedir [20].

Bu çalışmada Konya ili Meram ilçesinde bulunan bir ev tipi FV santral incelenmiştir. Santralden alınan veriler kaydedilmiş ve güç düşüşü olduğu gözlemlenmiştir. Bu düşüşün sebebi güneş panellerinin kirlenmesindendir. Çalışma sonucunda paneller temizlenmiş ve takip sisteminden alınan sonuçlar analiz edilmiştir. Böylece kirliliğin güç kaybına olan etkisi belirlenmiştir.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Bu makale çalışması, FusionSolar izleme sisteminden alınan verilerle gerçekleştirilmiştir. İncelenen sistem, 6 kWp'lık güneş enerjisi santralini içermektedir. Çalışma kapsamında bir yıllık veriler incelenmiş ve bu santralde iki kez temizlik yapılmıştır. İlk olarak, analiz için seçilen güneş enerjisi santrali Konya İli, Meram ilçesinde bulunmaktadır. Bu seçim, bölgede mevcut güneş enerjisi santrallerinin varlığı ve çalışmanın, güneş enerjisi santrallerinde oluşan kirlenmenin ve temizlik sonrası verimlerinin etkilerine ışık tutma amacına dayanmaktadır. Konya İli, fotovoltaik panellerin yüksek bir kirlenme potansiyeline sahip olduğu bir bölge olarak bilinmektedir. Konya Türkiye'nin en büyük sanayi ve tarım şehirlerinden biridir. Bu nedenle tarımda ve sanayide kullanılan güneş santrallerinin güç üretiminin ve verimlerinin düzenli takip edilmesi, enerji verimliliği ve kaynakların sürdürülebilirliği açısından oldukça önemlidir [21]. Aşağıdaki şekilde ele alınan santralde kullanılan Fusion solar takip sisteminin çalışma yöntemi şematik olarak gösterilmiştir. Bu sistem güneş enerji santrallerinin işletme ve bakımını sağlamak için geliştirilmiş bir takip sistemidir.

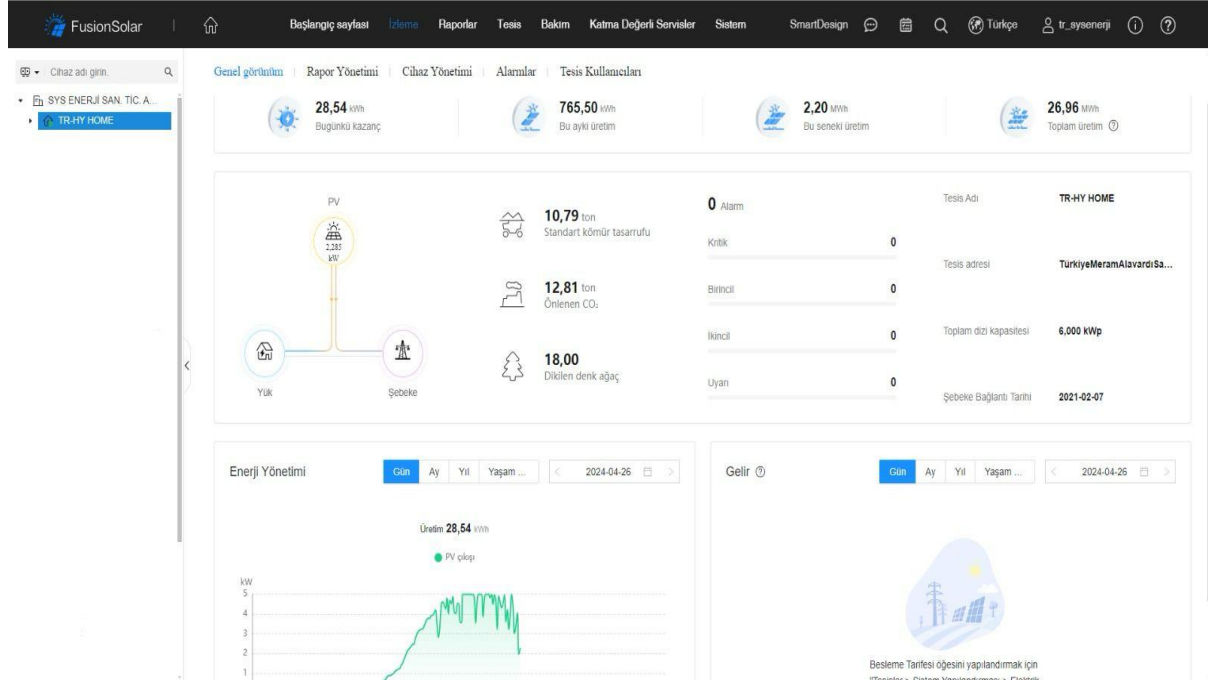


Şekil 1
FusionSolar takip sisteminin akış şeması

Veri toplama sürecinde, FusionSolar takip sistemi kullanılmış ve güneş enerjisi santralinin temizlik öncesi ve sonrası performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, temizlik sıklığı, enerji üretim verimliliği ve panel yüzeyinin temizlik durumu gibi faktörleri içermektedir. Elde edilen veriler, güneş enerjisi santrallerindeki kirlenme ve temizlik uygulamalarının

etkilerini anlamak amacıyla detaylı bir analiz sunmaktadır.

Alınan veriler incelenerek santralin temizlik öncesi ve sonrası güç üretimindeki değişimler analiz edilmiştir. Bu analizler kirliliğin santral üzerindeki olumsuz etkilerini göstermektedir. Şekil 2 Fusionsolar takip sisteminin arayüz ekranını göstermektedir.



Şekil 2
Fusionsolar takip sistemi arayüz ekran görüntüsü

BULGULAR (RESULTS)

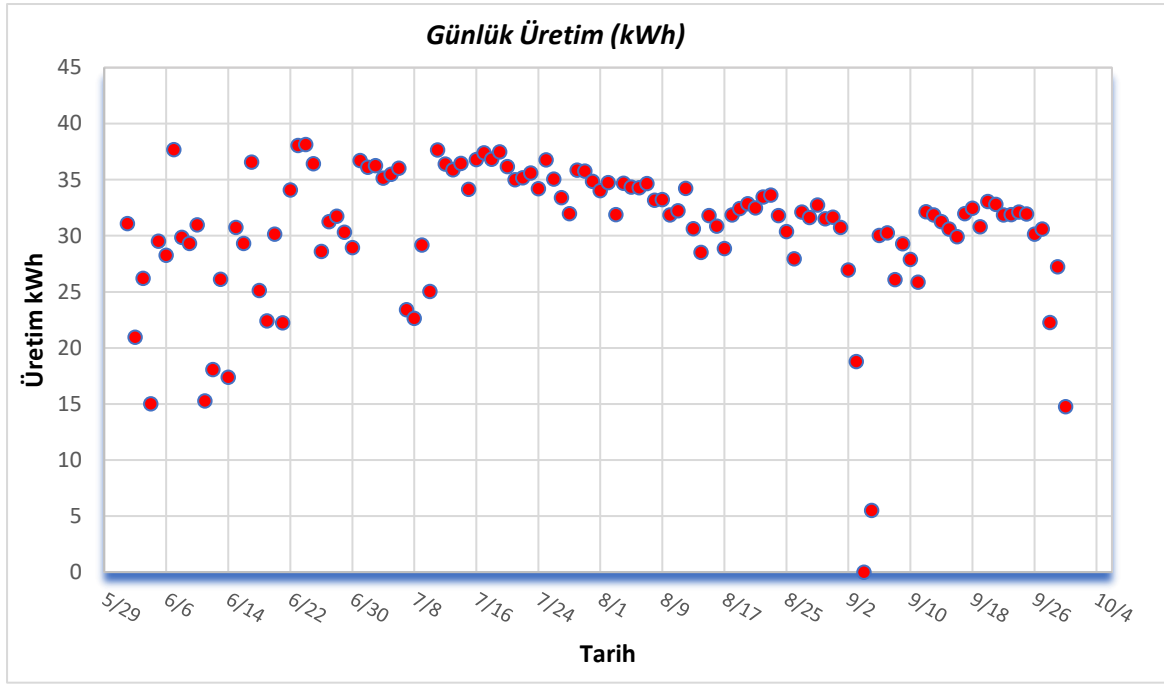
Bu bölümde, enerji üretimi, performans ve kayıplar gibi FV sisteminin analizi yapılmıştır. Fusionsolar takip sisteminden alınan veriler doğrultusunda Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarındaki güç üretimi izlenmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir. Kirlenmenin etkisi arttıkça enerji santralinde üretilen gücün azaldığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı da kirlilik etkisini azaltmak amacı ile 30 Haziran ve 11 Eylül'de temizlik işlemi yapılmıştır.

Şekil 3, enerji santralinde Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için üretilen gücü göstermektedir. Şekilden görüldüğü üzere Haziran ayında üretilen güç sürekli düşmüşken, temizlik sonrasında üretilen gücün arttığı gözlemlenmiştir.

Şekil 4, dâhili şebekeye verilen toplam gücü göstermektedir. 2023'te dört ay boyunca şebekeye verilen toplam enerji 3,737.42 kWh'dir. Bu enerji Haziran ayında 850.18 kWh ile Eylül ayında 821.3 kWh arasında değişmektedir.

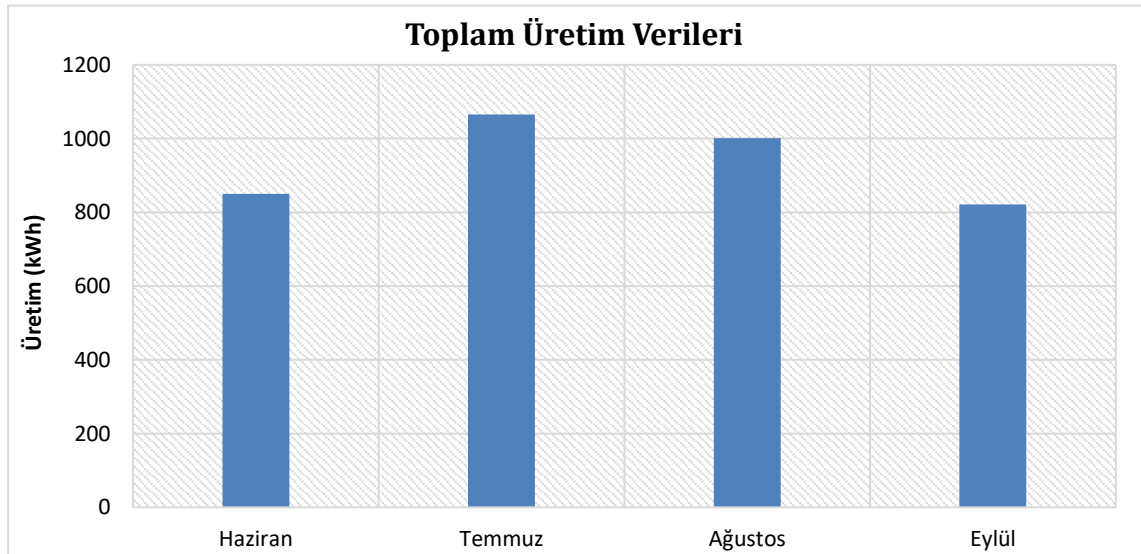
30 Haziran 2023 günü güneş enerji santralinin temizlenme işlemi gerçekleştirilmiştir. Temizlik öncesi ve sonrası üretim verileri aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.

Fotovoltaik panellerin 30 Haziran'da temizlenmesinin ardından, Temmuz ayında, Haziran ayına kıyasla güç üretim oranının yaklaşık %17.5 arttığı görülmektedir. Bu oran Temmuz ayında toplam güç üretiminin 215 kWh'e yükselmesinde etkili olmuştur. Ağustos ayında alınan veriler doğrultusunda, temizlendikten sonraki üretim verilerinde ayın sonuna doğru düşüş olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ay sonuna doğru kirliliğin yeniden artmasıdır. Şekil 5 ilk temizleme öncesi ve sonrası güç üretim verilerini göstermektedir.



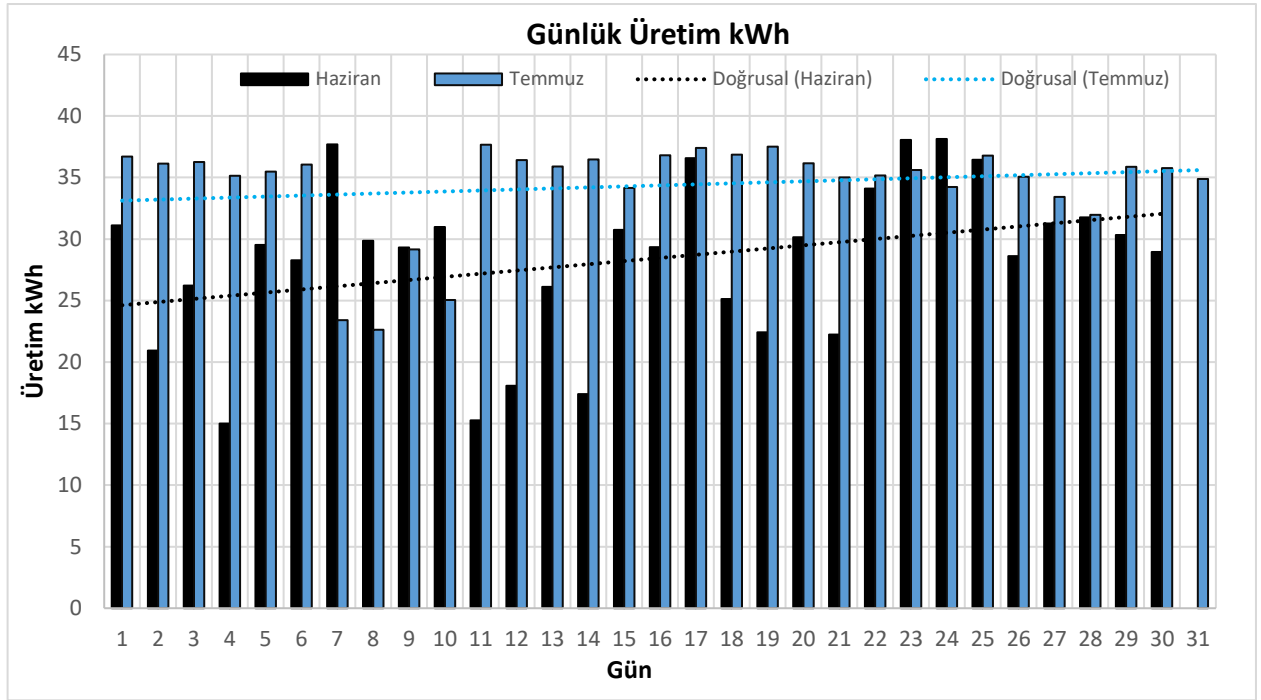
Şekil 3

Haziran, temmuz, ağustos ve eylül ayları için günlük enerji üretim verileri



Şekil 4

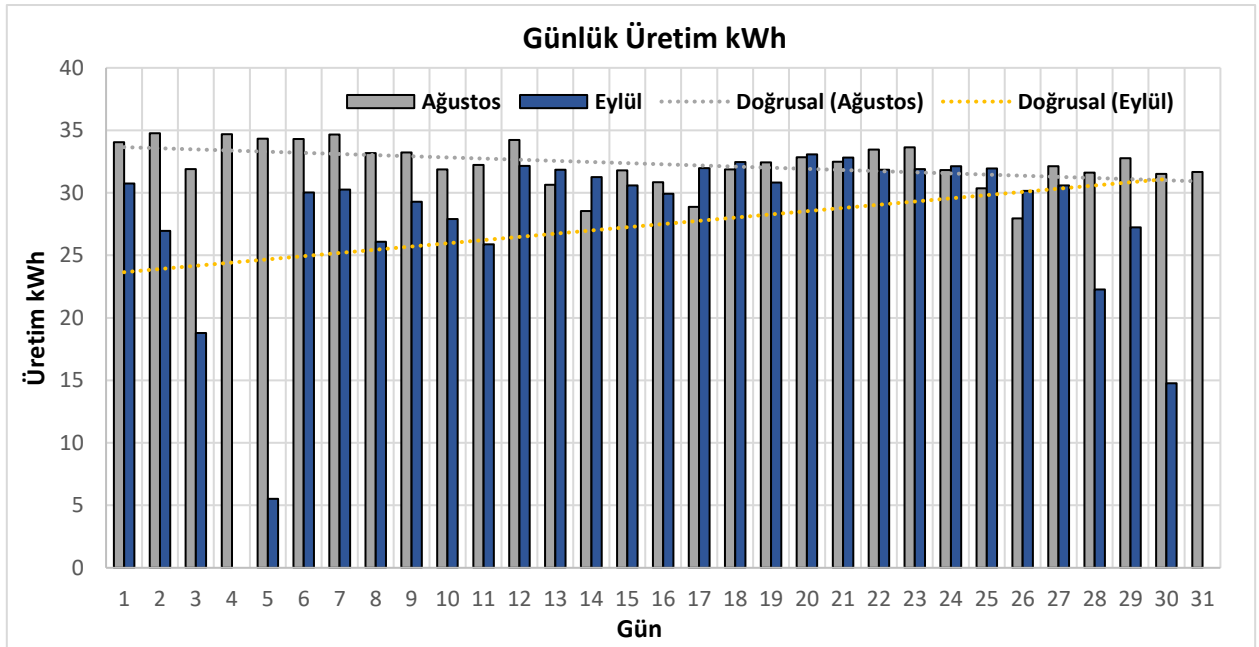
Enerji üretiminin aylık değişimi



Şekil 5

İlk temizleme işlemi öncesi ve sonrası güç üretimindeki değişim

Ağustos ayında toplam enerji üretimi yaklaşık %6 oranında düşmüş ve fotovoltaik enerji üretimi Eylül ayı başında en düşük seviyelerine ulaşmıştır. 4 Eylül'de bakım ve onarım sebebi ile güç üretimi kesilmiştir. Sistem çalışmaya başladıktan sonra güneş panellerinin temizliği 11 Eylül'de gerçekleştirilmiş ve ay boyunca güç çıkışında %21 oranında bir artış gözlenmiştir. Şekil 6 ise ikinci temizleme öncesi ve sonrası güç üretim verileri gösterilmiştir.



Şekil 6

İkinci temizleme işlemi öncesi ve sonrası güç üretimindeki değişim

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Bu çalışma, Konya ili, Meram ilçesinde bulunan 6 kWp'lik güneş enerjisi santralının temizlenme işlemi sonrası elde edilen verileri inceleyerek, verimde gözlemlenen değişiklikleri ortaya koymayı amaçlamıştır. Saha verileri, Konya ili için en ideal üretim zaman diliminin Haziran ile Eylül ayları arasında olduğunu göstermiştir. Bundan dolayı bu tarihler arasında iki defa temizlik yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Temizlik işlemi, güneş enerjisi santralının veriminde belirgin bir artışa neden olmuştur. İlk temizlik öncesi haziran ayında elde edilen ortalama üretim değeri 28.33 kWh iken, temizlik sonrası temmuz ayında bu değer 35.50 kWh olarak kaydedilmiştir. Bu durum, temizlik işleminin sonrasındaki ilk ayda %20.18 oranında bir verim artışına işaret etmektedir. Ancak, temizlik sonrasındaki ikinci ay olan ağustos ayında bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum, güneş enerji santralının kirlilik oranının artmaya başladığını göstermiştir bu da ikinci temizliği gerekli kılmıştır. Bu bulgu, temizlik işleminin düzenli aralıklarla tekrarlanması gerekliliğini vurgulamaktadır. Bundan dolayı santral Eylül ayında bir kez daha temizlenmiş ve ortalama üretim değerine yaklaşması sağlanmıştır. Bu durum, temizlik işleminin etkinliğinin zamanla azaldığını ve ortalama olarak iki ayda bir temizlik yapılması gerektiğini göstermektedir. Literatürde temizlik performansını ve santral verimliliğini artırmaya yönelik çeşitli tahminleme çalışmaları mevcuttur. Gelecek çalışmalarda, farklı güneş enerjisi santrallerindeki temizlik sayısını tahmin etmeye yönelik bir model geliştirmek için de makine öğrenimi kullanımına dayalı tahmin süreçleri geliştirilebilir [22, 23].

Çalışma sonucunda kirliliğin santral performansına olumsuz etkisi gösterilmiş ve güneş santrallerinin verimliliği açısından düzenli periyotlarla temizlenmesi gerekliliği ortaya konmuştur. İlerde toz birikme oranını (kirlilik oranı) tahmin etmek için yapay zeka ve makine öğrenimi teknolojilerinin kullanımına dayanan ve fotovoltaiik sistemlerin verimliliğini doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen çeşitli faktörleri içeren bir matematiksel model üzerine çalışmalar yapılarak sistemler daha da optimum hale gelecektir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmayı vermiş olduğu desteklerden dolayı SYS ENERJİ firması sahiplerinden Hüdaverdi Yazar Bey'e teşekkür ederiz.

Etik Beyan (Ethical Statement)

Bu makale, yazarların daha önce başka bir yerde yayımlanmamış olan kendi özgün çalışmasıdır. Makale, yazarların kendi araştırma ve analizlerini doğru ve eksiksiz bir şekilde yansıtmaktadır. Sonuçlar, önceki ve mevcut araştırmalar bağlamında uygun bir şekilde ele alınmıştır.

Yazar Katkıları (Author Contributions)

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) M.T.A. (%40) – A.S. (%30) – Y.A. (%15) – R.Ö. (%15)

Veri Toplama (CRediT 2) E.P. (%60) – R.Ö. (%30) – V.K. (%10)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) M.T.A. (%30) – A.S. (%20) – Y.A. (%20) – E.P. (%20) – R.Ö. (%10)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) M.T.A. (%30) – Y.A. (%30) – R.Ö. (%20) – V.K. (%20)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) E.P. (%20) – Y.A. (%30) – A.S. (%30) – V.K. (%10) – M.T.A. (%10)

Finansman (Financing)

Bu çalışma herhangi bir kurum tarafından desteklenmeden yapılmıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarların bu çalışma için beyan ettikleri herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: Desteklemiyor

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] M. Atmaca, G. Yusufoglu, A.B. Kurtulus, Güneş enerjili sulamanın tarım sektöründe uygulaması, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 3 (2014), 142-153. doi:10.17798/beufen.40454
- [2] J.F. Kok, E.J.R. Parteli, T.I. Michaels, D.B. Karam, The physics of wind-blown sand and dust, *Reports on Progress in Physics*. 75 (2012), 106901. doi:10.1088/0034-4885/75/10/106901
- [3] M. Saidan, A.G. Albaali, E. Alasis, J.K. Kaldellis, Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment, *Renewable Energy*. 92 (2016), 499–505. doi:10.1016/j.renene.2016.02.031
- [4] R. Khilar, G.M. Suba, T.S. Kumar, J.S. Isaac, S.K. Shinde, S. Ramya, V. Prabhu, K.G. Erko, Improving the efficiency of photovoltaic panels using machine learning approach, *International Journal of Photoenergy*. 2022 (2022), 1–6. doi:10.1155/2022/4921153
- [5] M.S. El-Shobokshy, F.M. Hussein, Effect of dust with different physical properties on the performance of photovoltaic cells, *Solar Energy*. 51 (1993), 505–511. doi:10.1016/0038-092x(93)90135-b
- [6] Y. Shao, K.-H. Wyrwoll, A. Chappell, J. Huang, Z. Lin, G.H. McTainsh, M. Mikami, T.Y. Tanaka, X. Wang, S. Yoon, Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science, *Aeolian Research*. 2 (2011), 181–204. doi:10.1016/j.aeolia.2011.02.001
- [7] P. Ginoux, J.M. Prospero, T.E. Gill, N.C. Hsu, M. Zhao, Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products, *Reviews of Geophysics*. 50 (2012), RG3005. doi:10.1029/2012rg000388
- [8] K. Pabortsava, R.S. Lampitt, J. Benson, C. Crowe, R. McLachlan, F. a. C.L. Moigne, C.M. Moore, C. Pebody, P. Provost, A.P. Rees, G.H. Tilstone, E.M.S. Woodward, Carbon sequestration in the deep Atlantic enhanced by Saharan dust, *Nature Geoscience*. 10 (2017), 189–194. doi:10.1038/ngeo2899
- [9] X. Li, D.L. Mauzerall, M.H. Bergin, Global reduction of solar power generation efficiency due to aerosols and panel soiling, *Nature Sustainability*. 3 (2020), 720–727. doi:10.1038/s41893-020-0553-2
- [10] M. Hacibeyoglu, M. ÇeliK, Ö.E. ÇiÇek, K en yakın komşu algoritması ile binalarda enerji verimliliği tahmini, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5(2) (2023), 65–74. doi:10.47112/neufmbd.2023.10
- [11] M. Saidan, A.G. Albaali, E. Alasis, J.K. Kaldellis, Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment, *Renewable Energy*. 92 (2016), 499–505. doi:10.1016/j.renene.2016.02.031
- [12] H.A. Kazem, M.T. Chaichan, The effect of dust accumulation and cleaning methods on PV panels' outcomes based on an experimental study of six locations in Northern Oman, *Solar Energy*. 187 (2019), 30–38. doi:10.1016/j.solener.2019.05.036
- [13] S. Vaishak, P.V. Bhale, Effect of dust deposition on performance characteristics of a refrigerant based photovoltaic/thermal system, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 36 (2019), 100548. doi:10.1016/j.seta.2019.100548
- [14] B.R. Paudyal, S.R. Shakya, Dust accumulation effects on efficiency of solar PV modules for off grid purpose: A case study of Kathmandu, *Solar Energy*. 135 (2016), 103–110. doi:10.1016/j.solener.2016.05.046
- [15] Y. Guan, H. Zhang, B. Xiao, Z. Zhou, X. Yan, In-situ investigation of the effect of dust deposition on the performance of polycrystalline silicon photovoltaic modules, *Renewable Energy*. 101 (2016), 1273–1284. doi:10.1016/j.renene.2016.10.009
- [16] A.A. Hachicha, I. Al-Sawafta, Z. Said, Impact of dust on the performance of solar photovoltaic (PV) systems under United Arab Emirates weather conditions, *Renewable Energy*. 141 (2019),

- 287–297. doi:10.1016/j.renene.2019.04.004
- [17] A. Gholami, I. Khazaei, S. Eslami, M. Zandi, E. Akrami, Experimental investigation of dust deposition effects on photo-voltaic output performance, *Solar Energy*. 159 (2017), 346–352. doi:10.1016/j.solener.2017.11.010
- [18] D. Jung, G. H. Gareis, A. Staiger, and A. Salmon, Effects of soiling on agrivoltaic systems: Results of a case study in Chile in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., 2022. doi: 10.1063/5.0107943
- [19] V. Selvaganesh, P. S. Manoharan, V. Seetharaman, Cleaning solar panels using portable robot system, *International Journal of Control Theory and Applications*. 10 (2017), 195-203.
- [20] K. Chailoet, E. Pengwang, Assembly of Modular Robot for Cleaning Various Length of Solar Panels, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/639/1/012014
- [21] S. Bulbul, E. Ayhan, H. Gökmeşe, Termik santral atığı olan kömür külünün SBR matrisli bileşiklere ilave edilmesinin mekanik özelliklere etkisi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5(2) (2023), 135–146 doi: 10.47112/neufmbd.2023.14
- [22] F. Özen, R.O. Kabaoğlu, T.V. Mumcu, Deep learning based temperature and humidity prediction, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5(2) (2023), 219–229. doi:10.47112/neufmbd.2023.20
- [23] S.E. Rusen, A. Hammer, B.G. Akinoglu, Estimation of daily global solar irradiation by coupling ground measurements of bright sunshine hours to satellite imagery, *Energy*. 58 (2013), 417–425. doi:10.1016/j.energy.2013.05.062

Mikrodalga Destekli Yeni Heterosiklik Schiff Bazlarının Sentezi ve Saldeta/Salpyr Metal Komplekslerinin İncelenmesi

Ziya Erdem KOÇ^{1*} 

¹ Selçuk University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi	ÖZET
Geliş Tarihi: 24.07.2024 Kabul Tarihi: 30.09.2024 Yayın Tarihi: 31.12.2024 Anahtar Kelimeler: Heterosiklik, Benzimidazol, Schiff baz, Metal kompleks .	Literatür çalışmalarından elde edilen 2-(4-aminofenil)-1H-benzimidazol çıkış maddesi olarak kullanıldı. Elde edilen bileşik Gentisaldehyde reaksiyona girerek, 2-(((4-(1H-benzimidazolyl)phenyl)imino)methyl)benzene-1,4-diol (25SAPBZ) elde edildi. (25SAPBZ) ligandına etanolde çözülmüş [Fe(saldeta/salpyr)Cl] kompleksi ilave edilerek oksijen köprülü kompleksler elde edildi. Elde edilen ligandların FTIR, elementel analizleri, ¹ H/ ¹³ C-NMR ve kompleks yapıların FTIR, elementel analizleri, manyetik süsebtibilite ölçümleri ile yapılar aydınlatıldı.

The Synthesis of Novel Heterocyclic Schiff Bases Microwave Assisted and Investigation of Saldeta/Salpyr Metal Complexes

Article Info	ABSTRACT
Received: 24.07.2024 Accepted: 30.09.2024 Published: 31.12.2024 Keywords: Heterocyclic, Benzimidazole, Schiff base, Metal complexes .	2-(4-aminophenyl)-1H-benzimidazole obtained from literature studies was used as the outlet agent. The resulting compound reacted with Gentisaldehyde to get 2-(((4-(1H-benzimidazoleyl)phenyl)imino)methyl)benzene-1,4-diol (25SAPBZ). Oxygen-bridging complexes were obtained by adding the [Fe(saldeta/salpyr)Cl] complex dissolved in ethanol to the (25SAPBZ) ligand. FTIR, elemental analyses, ¹ H/ ¹³ C-NMR and FTIR of complex structures, elemental analyses, and magnetic susceptibility measurements of the obtained ligands were elucidated.

To cite this article:

Koç, Z.E. (2024). The synthesis of novel heterocyclic schiff bases microwave assisted and investigation of saldeta/salpyr metal complexes. *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, 6(3), 592-598. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.68>

*Sorumlu Yazar: Ziya Erdem Koç, zerdemkoc@gmail.com



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

INTRODUCTION

Heterocyclic compounds constitute an important class of compounds because they function in biological systems [1]. Natural compounds and drugs contain heterocyclic rings, for which an important part of the scientific studies in organic and inorganic chemistry are those related to heterocyclic compounds [2]. In heterocyclic compounds, one or more of the hetero atoms such as oxygen, nitrogen, and sulfur are found displaced by carbon in the ring [3]. Benzimidazoles are also included in this group, this ring system has a wide range of uses in industry, medicine and pharmaceutical chemistry as it is found in the structure of many substances [4]. The fact that nitrogen atoms in its structure are easily subbalanced under controlled conditions has led researchers to study benzimidazole compounds, especially in recent years [5]. This ring system is of industrial importance as it is found in the structure of many substances such as drugs and dye complexes [6]. Benzimidazoles are also included in this group, this ring system has a wide range of uses in industry, medicine and pharmaceutical chemistry as it is found in the structure of many substances [5]. The fact that nitrogen atoms in its structure are easily sublocated under controlled conditions has led researchers to study benzimidazole compounds, especially in recent years [7, 8]. Therefore, heterocyclic compounds have gained importance in scientific studies due to the prominence of ligand properties in scientific studies in coordination chemistry [9]. The most commonly used method of synthesis of benzimidazole is the reaction of o-phenylenediamines with a solution of 4N HCl or PPA with carboxylic acid or acid anhydride [6]. This method is known as Phillips' benzimidazole synthesis [10].

A lot of research has been done on compounds, also known as Schiff bases and contain a C=N group. Such compounds are important class ligands in coordination chemistry, which have wide applications in different fields [11, 12]. The use of Schiff complexes in the pharmaceutical industry is increasing rapidly [13, 14]. It has been determined that it has antimicrobial activities, especially against some types of bacteria, fungi and tumors. It has been determined that the biological activity of Benzimidazole Schiff bases is mainly related to azomethin bonds [15]. In addition, a Benzimidazole Schiff base metal complexes, which is an anticancer agent for the role of metal complexes, was synthesized [6].

MATERIALS AND METHODS

Elemental analyses (C, H, N) were performed using a Leco, CHNS-932 model analyser. ^1H NMR spectra were recorded by the Varian, 400 M spectrometer at room temperature. FTIR spectra were recorded using a Bruker Vertex 70 with Universal ATR Polarization Accessory. Magnetic susceptibilities of the metal samples were measured at 296 K using a Sherwood Scientific MX Gouy magnetic susceptibility apparatus (Gouy method) with $\text{Hg}[\text{Co}(\text{SCN})_4]$ as a calibration by the constant magnetic field.

Synthesis of 2-(4-Aminophenyl)-1H-benzimidazole (4APBZ)

The (4APBZ) was prepared according to the literature method [10] (Figure 1).

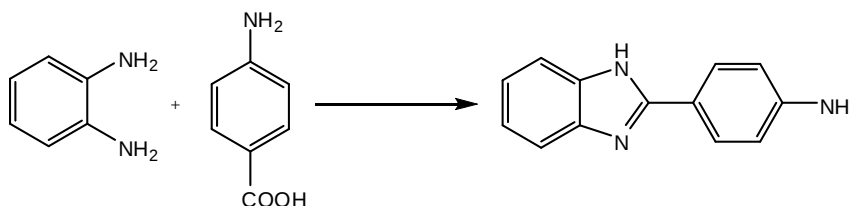


Figure 1
Synthesis of 4-Aminophenylbenzimidazole.

2-(((4-(1H-benzimidazolyl)phenyl)imino)methyl)benzene-1,4-diol (25SAPBZ)

4APBZ (5.00 g, 24 mmol) and Gentisaldehyde (4.00 g, 29 mmol) obtained by the method in the literature were dissolved by heating in ethanol (35 mL) 0.4 N methanol HCl was added as a catalyst and 3-A° M.S. were added as a desiccant. The mixture was stirred under the back cooler for about 6 hours. Then the solvent of the mixture was evaporated under the evaporator. Recrystallized from ethanol and filtered and dried under vacuum. (25SAPBZ) yield: (55%); M.P.:294 °C; C₂₀H₁₅N₃O₂, Found: C, 76.83; H, 4.63; N, 12.72%. Calculated: C, 72.94; H, 4.59; N, 12.76; (%). FTIR (cm⁻¹): 2853 (O-H), 2598 (N-H), 2411 (C-H), 1702 (CH=N), 1608 (C=C), 1537 (C=N), 1242 (C-O_{phen}). ¹H NMR (400 MHz, DMSO-d₆) 12.55 (s, H, N-H), 11.26 (s, H, O-H), 8.86 (s, H, CH=N), 8.26-8.19 (d, 2H, C-H_{ar}), 7.23 (t, H, C-H_{ar}), 7.98 (t, H, C-H_{ar}), 7.78-7.66 (d, 2H, C-H_{ar}), 6.75-6.76 (d, 2H, C-H_{ar}), 6.84-7.08 (m, 3H, C-H_{ar}), 5.26 (s, H, O-H). ¹³C NMR (100 MHz, DMSO-d₆): 195.16, 174.46, 172.45, 163.24, 159.48, 151.41, 149.42, 150.73, 139.51, 130.12, 128.55, 123.39, 120.11, 113.74, 115.23 (Figure 2).

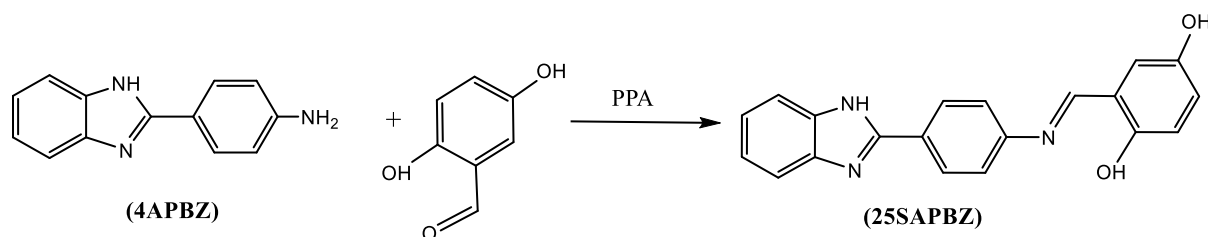


Figure 2
2-(((4-(1H-benzimidazolyl)phenyl)imino)methyl)benzene-1,4-diol

Synthesis of [Fe(saldeta/salpyr)Cl] complexes

Saldeta (5 mmol, 1.35 g)/salpyr (5 mmol, 1.60 g) is dissolved in 20 mL of methanol under a refrigerant. Anhydrous FeCl₃ was dissolved in 20 mL of methanol (5 mmol, 1.62 g) and added dropwise to the prepared solution. Then, the solution was boiled at 50 °C for 10 minutes. Triethylamine was added to the mixture (10 mmol, 1.5 mL) and mixed under a refrigerant for 1 h and cooled to obtain a black precipitate. After the precipitate was filtered, it was washed in methanol and diethyl ether and dried in a vacuum desiccator. For metals, anhydrous FeCl₃ was used, respectively. The resulting [Fe(saldeta/salpyr)Cl] complex is brown M.P.:>300 °C (Figure 3) [5, 12].

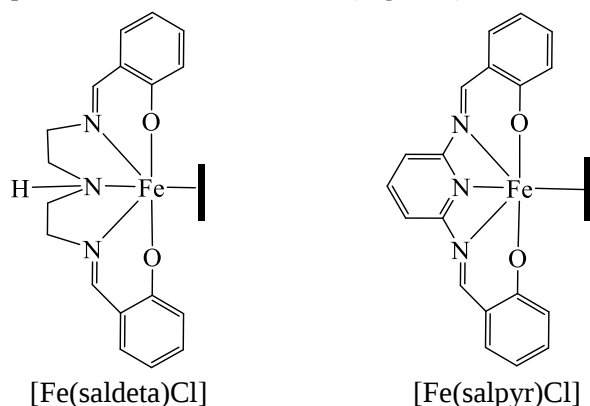


Figure 3
Synthesis of the metal complex of saldeta and salpyr

Synthesis of 2-(((4-(1H-benzimidazolyl)phenyl)imino)methyl)benzene-1,4-diol (25SAPBZ) [Fe(saldeta/salpyr)Cl] complexes

2-(((4-(1H-benzimidazolyl)phenyl)imino)methyl)benzene-1,4-diol (25SAPBZ) (1 mmol, 0.33 g) was suspended in 20 mL ethanol in a 100 mL balloon, and (2 mmol 0.75/0.85 g) [Fe(saldeta/salpyr)Cl]

and 20 mL ethanol solution were added to it, respectively. Boiled under a back cooler for 8 h at around 80 °C. The solvent was evaporated by half and allowed to cool (under room conditions). Then half the water was added, left for a day, filtered in a vacuum and dried in an oven at 105 °C. Yield: (67%); M.P.: >300 °C; $C_{56}H_{50}N_9O_6Fe_2$, FTIR (cm^{-1}): 2944 (N-H), 2868 (C-H), 1672, 1598 (C=N), 1517 (C=N), 1176 (C-O_{Phen}). $C_{59}H_{42}N_9O_6Fe_2$, FTIR (cm^{-1}): 2853 (C-H), 1665, 1595, 1590 (C=N), 1517 (C=N), 1176 (C-O_{Phen}) (Figure 4).

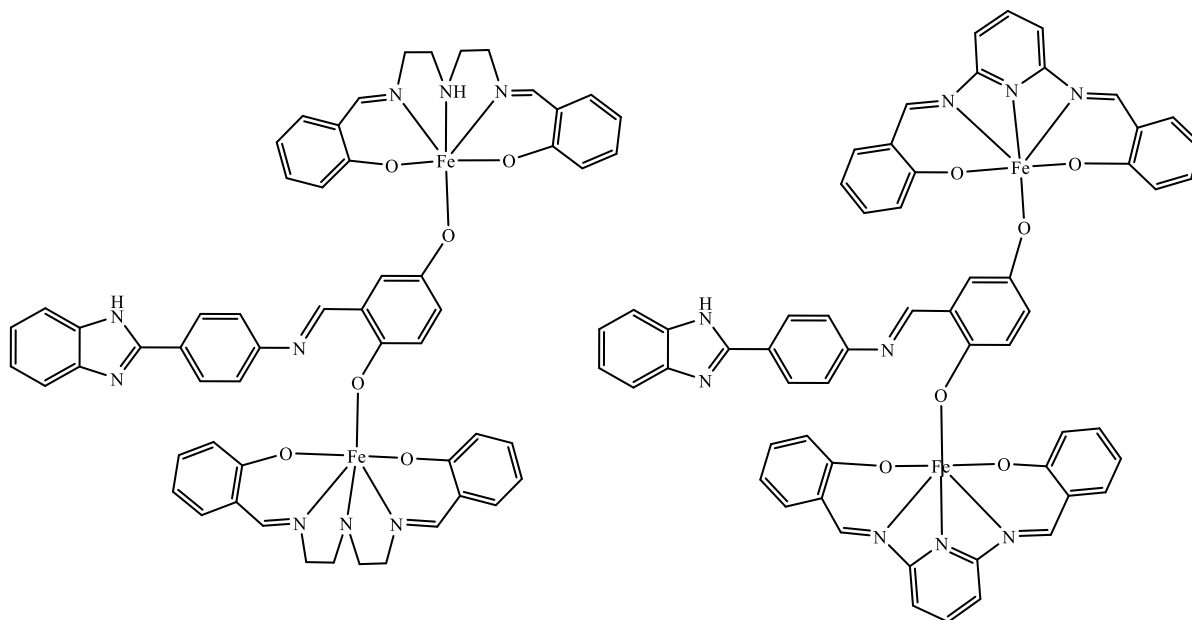


Figure 4
2-(((4-(1H-benzimidazolyl)phenyl)imino)methyl)benzene-1,4-diol (25SAPBZ) [{Fe(saldeta/salpyr)Cl}]

RESULTS AND DISCUSSION

(4APBZ) was used as the starting material in this study. The melting point of the obtained (4APBZ) was found to be 213-214 °C as stated in the literature. (4APBZ) was obtained as a result of condensation of this amine group compound with Gentisaldehyde under acid catalysis using the methods given in the literature, and benzimidazole-Schiff base compound (25SAPBZ) was obtained. Ethanol-dissolved [Fe(saldeta/salpyr)Cl] ligand complexes were added to the Benzimidazole-Schiff base ligand to obtain single oxygen-coordinated complexes. As a result, it was the (25SAPBZ) ligand, and the Fe(III), saldeta, and salpyr complexes of these ligands and complexes were isolated. The ligand of the synthesized starting material and ligands were elucidated using 1H NMR, ^{13}C NMR FTIR, and Elemental Analysis. [Fe(saldeta/salpyr)Cl] was added to ligand complexes to obtain single oxygen-coordinated dipodal complexes. The structures of the obtained complex compounds were elucidated by elemental analysis, FTIR spectroscopy, and magnetic susceptibility.

When the 1H NMR studies of ligands were examined, it was observed that NH protons corresponding to NH/OH protons occurred between 12.55/11.25 ppm, respectively, when NH protons in the (25SAPBZ) benzimidazole ring and OH protons in the salicydin ring were examined. It has been observed that it shifts to the lower field by giving a large singlet because it can make intramolecular hydrogen bonds with OH protons and with the effect of electronegativity. In addition, chemical shift values were observed between 8.87 ppm belonging to CH=N aliphatic groups.

FTIR spectra of the synthesized compounds were obtained. FTIR spectral data of the benzimidazole-Schiff base ligand and their metal complexes are given separately in the experimental section. When we examine these values;

The aldehyde found in the starting material of the (25SAPBZ) ligand was observed as C=O at 1702 cm^{-1} and CH=N at 1701 cm^{-1} , respectively. In addition, NH₂ and C=O vibrations at 3340 cm^{-1} from amine compounds were lost. Instead of these vibrations, Schiff base CH=N 1701 cm^{-1} bands were observed.

FTIR bands of coordination compounds obtained from [Fe(saldeta/salpyr)Cl] dissolved in ethanol with 2-(((4-(1H-benzimidazolyl)phenyl)imino)methyl)benzene-1,4-diol ligand were taken and thought to have been synthesized. When the FTIR bands were examined, it was observed that the OH groups observed at 2852 cm^{-1} disappeared after the formation of complex structures in the IR bands. It has been stated in the literature that M-O and M-N bonds are at 655 and 564 cm^{-1} , respectively, considering that they are also bonded in metal complexes [4, 16].

2-(((4-(1H-benzimidazolyl)phenyl)imino)methyl)benzene-1,4-diol ligand [Fe(saldeta/salpyr)Cl] complexes were observed to have high spin at magnetic susceptibility values measured in single oxygen-coordinated complexes. The [Fe(saldeta/salpyr)Cl] complexes of the benzimidazole-Schiff base ligands in the $d^5 (t_{2g}^3 e_g^2)$ metal ion arrangement have paramagnetic and high spin values between 5.41-5.25 BM, respectively. According to these results, it is thought that the single oxygen-coordinated complexes are octahedral structure with Fe(III) sp^3d^2 hybridization, unstable structure with external d complex features.

Although there is literature on Benzimidazole-Schiff base ligands, very few studies have been found on Benzimidazole-Schiff base complexes and there is not enough information about the properties of these complexes. The resulting Benzimidazole-Schiff base complexes are soluble in DMSO, THF and DMF. During the formation of the complex, the dissolution and complexation reaction takes place one after the other and it is understood that the complexation is completed with the color change [9]

As a result, benzimidazole-Schiff base ligand and their [Fe(saldeta/salpyr)Cl] complexes were synthesized in this study. Their structures were tried to be elucidated by ^1H NMR, ^{13}C NMR, FTIR, magnetic susceptibility, and elemental analysis methods [17].

Ethical Statement

I declare that I have no other relevant conflict of interest. No writing assistance was utilized in the production of this manuscript.

Conflict of Interest

The author has no conflicts of interest to disclose for this study.

Author Contributions

Research Design (CRediT 1) Z.E.K (%100)

Data Collection (CRediT 2) Z.E.K (%100)

Research - Data Analysis - Validation (CRediT 3-4-6-11) Z.E.K (%100)

Writing the Article (CRediT 12-13) Z.E.K (%100)

Revision and Improvement of the Text (CRediT 14) Z.E.K (%100)

REFERENCES

- [1] Z.E. Koç, Complexes of iron(III) and chromium(III) salen and salophen Schiff bases with bridging 1,3,5-triazine derived multidirectional ligands, *Journal of Heterocyclic Chemistry*. 48 (2011), 769–775. doi:10.1002/jhet.577
- [2] N.N. Makhova, L.I. Belen'kii, G.A. Gazieva, I.L. Dalinger, L.S. Konstantinova, V.V. Kuznetsov, A.N. Kravchenko, M.M. Krayushkin, O.A. Rakitin, A.M. Starosotnikov, L.L. Fershtat, S.A. Shevelev, V.Z. Shirinian, V.N. Yarovenko, Progress in the chemistry of nitrogen-, oxygen- and sulfur-containing heterocyclic systems, *Russian Chemical Reviews*. 89 (2019), 55–124. doi:10.1070/rcr4914
- [3] P. Arora, V. Arora, H. Lamba, D. Wadhwa, Importance of heterocyclic chemistry: A review, *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2012 (2012). doi:10.13040/ijpsr.0975-8232.3(9).2947-54
- [4] S.C. Celik, H. Vatansev, Z.E. Koc, Benzimidazole Schiff bases microwave assisted synthesis and the effect on leukemia cells with flow cytometry, *Revue Roumaine De Chimie*. 64 (2019) 615–623. doi:10.33224/rch/2019.64.7.08
- [5] C. Arslaner, S. Karakurt, Z.E. Koc, Synthesis of benzimidazole Schiff base derivatives and cytotoxic effects on colon and cervix cancer cell lines, *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 7(4) (2017), 2103-2107
- [6] Z.E. Koc, H. Bingol, A.O. Saf, E. Torlak, A. Coskun, Synthesis of novel tripodal-benzimidazole from 2,4,6-tris(p-formylphenoxy)-1,3,5-triazine: Structural, electrochemical and antimicrobial studies, *Journal of Hazardous Materials*. 183 (2010), 251–255. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.07.018
- [7] F. Jian, P. Zhao, Y. Li, X. Wang, Q. Yu, A combined computational and experimental approach for investigating a hydrogen-bonded supermolecular compound comprising benzimidazole and malonic acid, *International Journal of Quantum Chemistry*. 108 (2007), 521–531. doi:10.1002/qua.21511
- [8] Y. Wei, Y. Yu, K. Wu, Highly Stable Five-Coordinated Mn(II) polymer [Mn(Hbidc)]n (Hbidc=1H-Benzimidazole-5,6-dicarboxylate): Crystal structure, antiferromagnetic property, and strong long-lived luminescence, *Crystal Growth & Design*. 8 (2008), 2087–2089. doi:10.1021/cg800333g
- [9] Ş. Uysal, Z.E. Koç, Synthesis and characterization of dendrimeric melamine cored [salen/salophFe(III)] and [salen/salophCr(III)] capped complexes and their magnetic behaviors, *Journal of Hazardous Materials*. 175 (2009), 532–539. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.10.038
- [10] M.A. Phillips, The formation of 2-substituted benzimidazoles, *Journal of the Chemical Society*. (1928), 2393–2399. doi:10.1039/jr9280002393
- [11] Z.E. Koc, H.I. Ucan, Complexes of iron(III) salen and saloph Schiff bases with bridging 2,4,6-tris(2,5-dicarboxyphenylimino-4-formylphenoxy)-1,3,5-triazine and 2,4,6-tris(4-carboxyphenylimino-4'-formylphenoxy)-1,3,5-triazine, *Transition Metal Chemistry*. 32 (2007), 597–602. doi:10.1007/s11243-007-0213-7
- [12] Ş. Uysal, Z.E. Koç, The synthesis and characterization of (MSalen/salophen/saldeta/salpy) [M=Fe(III) or Cr(III)] capped heteromultinuclear schiff bases-dioxime Ni(II) complexes: Their thermal and magnetic behaviours, *Journal of Molecular Structure*. 1165 (2018), 14–22. doi:10.1016/j.molstruc.2018.03.101
- [13] G. Guney, Z.E. Koc, Investigation of dipodal acetoguanamine-Schiff bases and their homonuclear Fe III complexes, *Journal of Coordination Chemistry*. 76 (2023), 1679–1695. doi:10.1080/00958972.2023.2262717
- [14] A. Ozer, D.E. Yasa, D.H. Sahin, H. Turbayindir, E. Pehlivan, Z.E. Koc, Investigation of microwave assisted synthesis of Schiff Base derived Metal-Chelates by liquid invert sugar

- containing D-Glucose, *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*. (2023) 1–12. doi:10.1080/24701556.2023.2197885
- [15] Ş. Uysal, Z.E. Koç, Ş. Çelikkilek, H.İ. Uçan, Synthesis of star-shaped macromolecular Schiff base complexes having Melamine cores and their magnetic and thermal behaviors, *Synthetic Communications*. 42 (2011), 1033–1044. doi:10.1080/00397911.2010.535635
- [16] P. Kopel, Z. Sindelar, M. Biler, R. Klicka, Complexes of iron(III) salen and saloph Schiff bases bridged by dicarboxylic acids, *Polish Journal of Chemistry*. 72(9) (1998), 2060-2066
- [17] M. Gembický, R. Boča, F. Renz, A heptanuclear Fe(II)–Fe(III)₆ system with twelve unpaired electrons, *Inorganic Chemistry Communications*. 3 (2000), 662–665. doi:10.1016/s1387-7003(00)00160-x

Türkiye’de Lojistik Köy Yer Seçiminin İki Aşamalı Karar Verme Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi

Gülçin ARIGÜN¹  Yağmur BEYGOVA¹  Leyla DİRİL¹ 
Fatih SARMAN¹  Beyzanur ÇAYIR ERVURAL^{1*} 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık Yönetimi Bölümü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi	ÖZET
Geliş Tarihi: 25.05.2024 Kabul Tarihi: 12.07.2024 Yayın Tarihi: 31.12.2024	Ülkelerin gelişmişlik düzeyleriyle yakından ilişkisi olduğu düşünülen lojistik köylerin yaygınlaştırılması dünya politikalarında temel hedeflerden biri haline gelmiştir. Lojistik köy sayısının artması ile ticari faaliyetler hızlanacak ve bölge/ülke kalkınacaktır. Türkiye’nin coğrafi konumu ve taşımacılık ağlarına elverişliliği, bölgesel ve uluslararası lojistik bir üs olabilmesi için büyük bir avantajdır. Gelişmiş ülkeler ile kıyaslandığında Türkiye’deki lojistik köylerin sayısı oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada, lojistik köy yer seçimi kararı üzerinde durulmuştur. BWM ve TOPSIS yöntemleriyle Türkiye’de hangi noktalara en uygun lojistik köylerin kurulması gerektiğine karar verilmiştir. Çalışmada öncelikle BWM ile ana ve alt kriter ağırlıkları elde edilmiş, ardından bu ağırlıklar TOPSIS yönteminde kullanılmıştır. Lojistik köylerin yer seçimi için kullanılan analitik yaklaşımlar, bu alandaki çalışmalara sistematik bir yöntem sunarak karar vericilere yol göstermeyi amaçlamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Best-Worst, TOPSIS, Lojistik köy, Yer seçimi, Karar verme.	

Evaluation of Logistics Village Location Selection in Turkey with a Two-Stage Decision Making Approach

Article Info	ABSTRACT
Received: 25.05.2024 Accepted: 12.07.2024 Published: 31.12.2024	The widespread establishment of logistics villages, which are considered closely linked to the level of development of countries, has become one of the primary goals in global policies. Increasing the number of logistics villages accelerates commercial activities and contributes to regional and national development. Turkey’s geographical location and its suitability for transportation networks offer advantages for becoming a regional and international logistics hub. However, compared to developed countries, the number of logistics villages in Turkey is quite limited. This study focuses on the selection and settlement decisions of logistics village locations. Using the BWM and TOPSIS methods, the study identifies the most suitable locations for establishing logistics villages in Turkey. Initially, the BWM was applied to determine the weights of main and sub-criteria, and these weights were then used in the TOPSIS. By using analytical approaches for selecting logistics village locations, this study aims to provide a systematic framework and guide decision-makers working in this field.
Keywords: Best-Worst, TOPSIS, Logistics village, Site selection, Decision making.	

To cite this article:

Arigün, G., Beygova, Y., Diril, L., Sarman, F. & Çayır Ervural, B. (2024). Türkiye’de lojistik köy yer seçiminin iki aşamalı karar verme yaklaşımıyla değerlendirilmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 599-617. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.69>

*Sorumlu Yazar: Beyzanur Çayır Ervural, bc.ervural@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Lojistik sektörü her geçen gün önemi artan ve çok hızlı ilerleyen bir alandır. Ayrıca her geçen gün gelişen lojistik köyler, ülkelerin ticaretine ve ekonomisine sağladıkları katkı sayesinde uluslararası pazarlarda önemli finansal getiri sağlamaktadır [1–3]. Devlet Demir Yolları'nın (TCDD) 2006 yılında aldığı kararla Türkiye'de lojistik köylerin kurulması ekonomik kalkınma açısından önemli bir yatırım olmuştur [2,4]. TCDD'nin ilk adımından sonra alınacak kararlardan biri de bu köylerin Türkiye'nin hangi illerinde olması gerektiğidir. Kurulan lojistik köy ile çevre illerdeki lojistik trafik yoğunluğunu azaltmak, şehrin potansiyel değerini artırmak ve ekonomik kalkınmaya katkı sağlamak mümkündür. Kurulacak lojistik köy ile lojistik maliyetlerin ve lojistik trafiğin azaltılması istenmektedir.

Lojistik köy için bölge ve şehir seçiminin doğru yapılması lojistik köylerin verimliliğini oldukça etkilemektedir [5]. Yer seçiminde olası hataların birçok olumsuzluğa neden olması mümkündür. Yapılan yatırımlardan beklenen verim elde edilemediğinde maddi kayıplara neden olabilir. Lojistik köylerin uygun koşulları sağlamayan yerlere yapılması pek çok zorlukla karşılaşılmasına yol açar. Türkiye'nin coğrafi konumu ve taşımacılık ağlarına elverişliliği bölgesel ve uluslararası lojistik bir üs olabilmesi için büyük bir avantajdır. Gelişmiş ülkeler ile kıyaslandığında Türkiye'deki lojistik köylerin sayısı oldukça sınırlı sayıdadır. Lojistik köy projeleri, kuruldukları yerlere uygun farklı amaç ve hedeflere hizmet etmektedir [6]. Yapılan çalışmalarda ise çoğunlukla liman kentlerine, ulaşım yolları ve sanayisi gelişmiş metropollere öncelik verildiği görülmüştür [7]. Ancak lojistik köyler, şehirlerin stratejik önemini artırmaktadır bu nedenle fazla gelişmemiş şehirlerde gelecekteki ihtiyaç ve tamamlanması planlanan diğer projelerin desteklenmesi düşünülerek lojistik köy kurulması açısından değerlendirilmelidir.

Türkiye coğrafi konumundan dolayı lojistik alanında birçok avantaja sahip bir bölgede yer almaktadır. Ancak, Türkiye lojistik köyleri gündeme getirmekte Avrupa ülkelerinin gerisinde kalmaktadır. Son yıllarda lojistik köy faaliyetleri için yeni tercihler yapılırsa de hala hiçbir bölgede gelecek planlamasında yer almayan iyi kapasite ve özellikte şehirler bulunmaktadır. Gelişmişlik derecelerine göre Avrupa'daki lojistik köyler sıralamasında ilk yirmide, yedi lojistik köyle İtalya birinci, dört lojistik köyle Almanya ikinci sırada yer almıştır [8–10]. Yakın gelecekte Türkiye'de yeni araştırmalarla kıta bölgesi için bir lojistik üs olmayı hedeflenmektedir. Bu nedenle, ekonomik kalkınmayı büyük ölçüde teşvik edecek olan lojistik köylerin faaliyetleri desteklenmeli ve geliştirilmelidir [11].

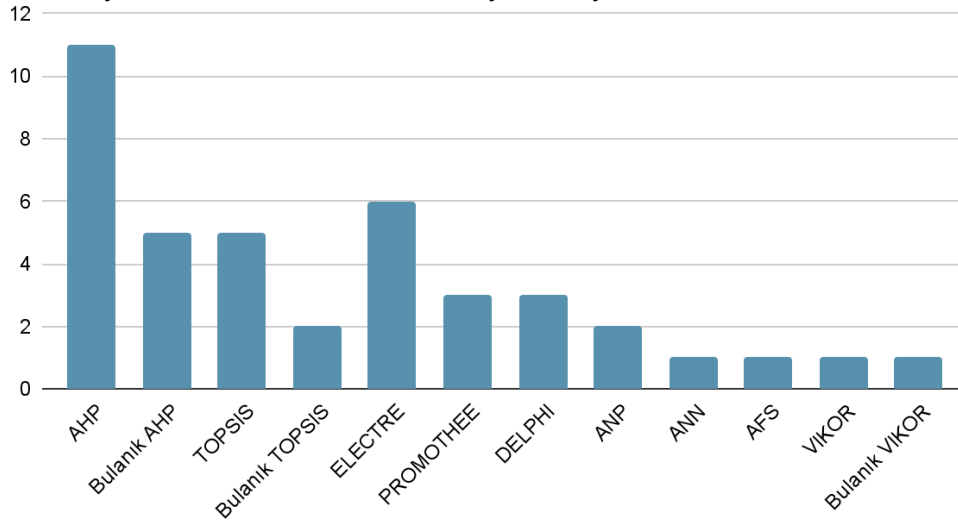
Bu çalışmada lojistik köy yer seçimi ve yerleşim merkezinin kararının önemi vurgulanmıştır. Literatürde konu hakkında kısıtlı çalışma olduğu ve bu çalışmada yer alan iki aşamalı En iyi-En Kötü (Best-Worst, BWM) Yöntemi ve TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) entegrasyonuna dayanan bir yaklaşımla değerlendirme yapılmadığı görülmüştür. Bu açıdan gerek uygulama konusunun önemi gerek yöntemsel anlamda literatüre katkı sunması beklenmektedir. Lojistik köy yer seçimi sorunu, birden fazla karar verici, alternatif ve kriter kümesi içermesi nedeniyle karmaşık bir yapıdadır. Bu çalışmada Türkiye'de BWM yöntemi ve TOPSIS yaklaşımı ile kurulacak en uygun lojistik köylerin hangileri olması gerektiğine karar verilmektedir. Çalışmanın amacı, ülke kaynakları ve ekonomisinde önemli bir paya sahip olan lojistik köy yeri seçiminde objektif analitik yaklaşımlarla değerlendirme yaparak bu konuda çalışanlara rehberlik etmektir. Çalışmada limana kıyısı olan ve olmayan bölgeler ayrıştırılarak lojistik köy kurulması açısından mevcut potansiyelleri incelenmiştir. BWM ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak analiz edilmiş ve bir lojistik köy için gerekli olan ulaşım ağları, altyapı, topoğrafya ve iklim özelliklerine sahip olup olmadığı incelenmiştir. Ayrıca yapılacak çalışmanın yerleşim merkezlerine, sanayi bölgelerine, tarım, orman ve hayvancılık alanlarına olan mesafeler de değerlendirilmiştir. Planlanan lojistik köy projesinin diğer üretim faaliyetlerini etkilemesini veya olumsuz bir yatırım olması arzu edilmemektedir.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: Bu çalışmanın ikinci kısmında literatür

araştırması sunulmuştur, üçüncü kısmında ele alınan yöntemler açıklanmıştır, 4. kısımda yapılan iki aşamalı uygulamadan bahsedilmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır, 5. kısımda çalışma için sonuçlar ve gelecek araştırmalar paylaşılmıştır.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Konu hakkında yapılan çalışmalar öncelikle ülkemizde yapılan lojistik köylerin araştırılması ardından Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin ele alındığı çalışmalar şeklinde toplanmıştır. Literatür araştırmalarına göre lojistik köy seçimi konusunda kısıtlı çalışmanın yer aldığı görülmektedir ve üzerinde çalışılan ihtiyaç duyulan güncel bir çalışma alanı olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 1’de özellikle lojistik köy yeri seçimi konusunda en yaygın kullanılan ÇKKV yöntemleri paylaşılmıştır. Buna göre sıklıkla AHP yöntemi ve ardından ELECTRE yöntemi yer almaktadır.



AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi); PROMETHEE (Preference Ranking Organisation. Method For Enrichment Evaluations); Delphi Tekniği, ANP (Analytic Network Process); ANN (Artificial Neural Networks); VIKOR (Vlsekriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje)

Şekil 1

Lojistik köy yer seçiminde en çok kullanılan metotlar [12]

Literatür çalışmalarından da görüleceği gibi ÇKKV uygulamaları çok geniş uygulama alanına sahiptir. Konut seçimi, yer seçimi, dron seçimi gibi özellikle AHP ve TOPSIS yöntemlerinin pratikliği ve başarısı nedeniyle kullanıldığı görülmektedir [13–15]. Bunun yanı sıra ANP, MOORA, DEMATEL, PROMETHEE, ELECTRE nadir olarak BWM yönteminin kullanıldığı gözlenmektedir. Tablo 1’de literatür çalışması kısaca özetlenmiştir.

Tablo 1

Literatür Araştırması

Yazar	Yöntem	İçerik	Benzerlik/Katkı
Bamyacı ve Tanyas [7]	AHP	Bölgelerin yer seçimi için standart bir metot geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışma İstanbul’un batı yakası için yapılmıştır. 4 ana kriter ve 3 alternatif ele alınmıştır.	Yapılan çalışma lojistik köy yer seçimini etkileyen kriterlerin belirlenmesi konusunda katkı sağlamıştır.
Eryuruk [16]	AHP	Çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada lojistik köylerin önemi ve kurulma nedenleri vurgulanmıştır, ikinci aşamada lojistik köyde ihtiyaç duyulan tesis ve faaliyetlere odaklanarak yer seçim kriterleri değerlendirilmiştir.	Çalışmada belirlenen ana ve alt kriterler bu çalışma ile benzerlik göstermekte, lojistik köy yer seçim probleminin karar verme süreçleri açısından katkı sağlamıştır.

Can [9]	AHP ELECTRE ve TOPSIS	Samsun'da planlanan bir lojistik köyün yer seçimi sorununu ÇKKV teknikleri kullanarak analiz ettiği çalışmada AHP, ELECTRE ve TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Samsun için lokasyon alternatiflerinin ÇKKV teknikleriyle değerlendirmişlerdir. Yer seçiminde 5 ana kriteri ele almışlardır. Bunlar; arazi uygunluğu, mevcut yapılar, ulaşım ağlarına bağlantı, arazi özellikleri ve lokasyonun lojistikle ilgili faaliyetleridir.	Çalışmada kullanılan TOPSIS yönteminin nasıl ele alındığının anlaşılması bakımından önemlidir.
Elevli ve Ak [17]	Bulanık TOPSIS	Türkiye'deki lojistik köy projelerini incelemişlerdir. Bu incelemelerin ardından Trabzon'da lojistik köy kurulması için bir öneri geliştirmişlerdir.	Çalışmada lojistik köy yer seçimi için önemli olan kriterlerin kapsamlı ve doğru analiz edilmesi açısından önemlidir.
Karadeniz ve Akpınar [18]	Kavramsal Çalışma	Ankara'da kurulması planlanan bir hastane için yer seçim çalışması yapılmış ve ardından AHP yöntemi ile modellemişlerdir.	Çalışma lojistik köy yer seçiminde liman şehrinin avantajlarını ve dezavantajlarını ele alarak örnek teşkil etmektedir. Çalışma, ÇKKV yöntemi kullanılarak yer seçimi probleminin ele alınmasında seçilecek olan kriterlerin karşılaştırılması ve belirlenmesinde yardımcı olmuştur.
Aydın vd. [19]	AHP	Lojistik köy için uygun şehirleri belirlemek amacıyla aday olarak belirlenen 3 farklı şehir, 4 ana kriter ve 13 alt kriter ile ele alınmıştır. Analiz sonucunda en uygun şehir Zonguldak seçilmiştir.	Çalışma lojistik köy kurulum yeri için ana ve alt kriterlerin seçilmesi ve karşılaştırılması için kolaylık sağlamıştır.
Güleryüz ve Coşmuş [20]	AHP ve TOPSIS	Lojistik köylerin yer seçimini etkileyen ana kriterlerin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada lojistik köy merkezlerinde bazıları ziyaret edilerek incelenmiştir. Çalışma sonucunda lojistik köylerin yer seçimini etkileyen temel kriterler ile ilgili öneriler sunulmuştur.	Çalışmada kullanılan anket yöntemi elde edilen bulguların karşılaştırılması ve tutarlılıklarının ölçülmesi bakımından önemlidir.
Yücel ve Yılmaz [21]	Kavramsal Çalışma	Batı Karadeniz'de kurulması planlanan güneş enerjisi santrali için en uygun yer seçimi problemi ele alınmıştır. Yapılan çalışmada 9 adet kriter belirlenmiştir ve ÇKKV yöntemi ile sıralanmıştır.	Çalışma, BWM ve TOPSIS metodunu kullanması bakımından yaptığımız çalışma ile benzerlik göstermektedir. ÇKKV yöntemlerinin kullanımı ve ele alımı açısından katkı sağlamıştır.
Elgün ve Aşıkoğlu [23]	TOPSIS	Çalışmalarında, lojistik köy için en uygun şehirleri belirlemek amacıyla aday olarak öne çıkan 7 şehir ele alınmıştır. Bu çalışma, ulaşım bağlantısı, yer ve bağlantılı iş aktiviteleri, arazi özellikleri ve yerin uygunluğu olmak üzere 4 ana kriter altında toplanan toplam 22 alt kriterden oluşmaktadır.	Çalışma, lojistik köy yer seçimi için doğru kriterlerin kapsamlı analizinin yapılabilmesi için yol gösterici niteliktedir.
Keleş [24]	DEMATEL AHP PROMETHEE	Lojistik köy yer seçiminde dikkate alınan faktörleri karşılaştırma yöntemiyle incelemişlerdir. Elde edilen faktörler ÇKKV metotlarıyla analiz edilmiştir. En uygun alternatif Kayseri gösterilmiştir.	Lojistik köy yer seçiminde faktörlerin etkin ve doğru belirlenmesi için kaynak olmuştur.
Hamzeçebi vd. [25]	MOORA	Karadeniz Bölgesi'nde kurulması planlanan lojistik köy için yer seçimi yapılmıştır. Toplam 10 kriter belirlenmiş analiz sonucu sırasıyla Samsun, Trabzon ve Zonguldak önerilmiştir.	Alternatif şehirlerin belirlenmesinde ve her iki çalışmada yer alan Trabzon şehrinin kapsamlı analizi için katkı sağlamıştır.

YÖNTEMLER (METHODS)

En iyi-En Kötü Yöntemi (Best Worst Method)

En iyi-En Kötü (Best-Worst) yöntemi, Rezaei [26], tarafından 2015 yılında önerilmiş en yeni ÇKKV yöntemlerinden biridir. Yöntem temel olarak kriterlerin birbirine göre ikili karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Bu yöntemde öncelikle karar verici tarafından en iyi ve en kötü kriterler belirlenir. BWM için yapılan anketlerin ardından, belirlenmiş iki kriter (en iyi ve en kötü) ve diğer kriterler arasında ikili karşılaştırmalar gerçekleştirilir. Karşılaştırmalarda 1-9 arasında bir ölçek kullanılır. En iyiden-diğerlerine ve diğerlerinden-en kötüye şeklinde karşılaştırmalar yapılmakta ve tutarlılık kontrolü sağlanmaktadır. Bu karşılaştırmalar sayesinde karar verme aralığının daha iyi anlaşılması sağlanır. BWM, sürecin kısalığı ve daha az karşılaştırmayla inceleme olanağı sağlaması ile ön plana çıkmaktadır [27]. BWM, mühendislik, afet yönetimi, enerji ve tedarik zinciri yönetimi gibi pek çok farklı alanda kullanılmaktadır. BWM uygulama adımları aşağıdaki gibi sunulabilir:

Adım 1: Problemden kullanılmak üzere n tane kriter $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ belirlenir.

Adım 2: En iyi kriter (C_B) ve en kötü kriter (C_W) belirlenir.

Adım 3: En iyi kriterin tespiti için 1-9 skalası karşılaştırma ölçütüne göre en iyi kriterin diğer kriterlere oranla ne kadar önemli olduğu karar vericiler tarafından değerlendirilir. Karar vericilerin değerlendirmesi sonucunda en iyi kriterin diğer kriterlere göre tercih vektörü (A_B) Eş. 1’deki gibi oluşturulur.

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (1)$$

A_B vektöründeki a_{Bj} , en iyi kriterin j kriterine göre ne kadar öncelikli olduğunu gösterir. Kriterlerin kendileriyle karşılaştırması $a_{BB} = 1$ şeklinde formüle edilir.

Adım 4: Aynı şekilde, en kötü kriter için de 1-9 ölçütüne göre tüm kriterlerin en kötü kritere göre önceliği belirlenir. Karar vericilerin değerlendirmesi sonucunda en kötü kriterin diğer kriterlere göre tercih vektörü (A_W) Eş.(2)’deki gibi oluşturulur.

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW}) \quad (2)$$

A_W vektöründeki a_{jW} , j kriterinin en kötü kritere göre tercihinin gösterir. $a_{WW} = 1$ şeklinde formüle edilir. Tablo 1, BWM için karşılaştırma ölçeğini sunmaktadır.

Tablo 2

BWM karşılaştırma ölçeği

Önem Derecesi	Kriterlerin Karşılaştırılması için Sözlü Anlatım
1	Eşit derecede önemli
2	Eşit olarak orta derecede önemli
3	Orta derecede daha önemli
4	Orta derecede çok daha önemli
5	Güçlü olarak önemli
6	Güçlü olarak çok önemli
7	Çok güçlü olarak önemli
8	Çok güçlü olarak daha önemli
9	Oldukça çok önemli

Adım 5: Bu adımda Eş. (3)’deki doğrusal programlama modelinin çözülmesiyle kriter ağırlıkları $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ hesaplanır. Tutarlılık oranının hesaplanmasına yardımcı olan ε değeri de bu çözüm aşamasında bulunur.

$$\begin{aligned}
& \min \varepsilon \\
& \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \varepsilon, \forall j \\
& \left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \leq \varepsilon, \forall j \\
& \sum_j w_j = 1 \\
& w_j \geq 0, \forall j
\end{aligned} \tag{3}$$

Adım 6: Çözümün son adımında, bulunan ε değeri ve Tablo 2’de tutarlılık endeks değeri Eş. (4)’da yerine yazılarak tutarlılık oranı hesaplanır. Tutarlılık oranının sıfıra doğru yaklaşması çözümün tutarlı olduğunu, bir değerine doğru yaklaşması ise çözüm tutarlılığının azaldığını göstermektedir.

$$\text{Tutarlılık Oranı (TO)} = \frac{\varepsilon}{\text{Tutarlılık Endeksi (TE)}} \tag{4}$$

Tablo 3

Tutarlılık endeksi değerleri

a_{Bw}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tutarlılık Endeksi	0	0,44	1	1,63	2,3	3	3,73	4,47	5,23

Bu denklemlere göre optimal ağırlıklar belirlendikten sonra kriterlerin ağırlık merkezleri hesaplanabilir. Ağırlık merkezlerine göre kriterler sıralanır [28].

TOPSIS Yöntemi (TOPSIS Method)

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), çok kriterli karar verme problemlerini çözmek için kullanılan bir karar verme yöntemidir ve Hwang Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilmiştir [28]. Bu yöntemde, karar verici tarafından belirlenen alternatifler arasında en uygun olanının seçilmesi amaçlanır. TOPSIS, her bir alternatifin, kriterler açısından en iyi ve en kötü durumlarla ne kadar benzer veya farklı olduğunu değerlendirir. İlk olarak, karar matrisi oluşturulur; bu matriste, alternatifler kriterler açısından değerlendirilir. Ardından, her bir kriter için ağırlıklandırma faktörleri belirlenir; bu faktörler, kriterlerin önem derecelerini yansıtır. Daha sonra, normalleştirme adımı gerçekleştirilir; bu adımda, her bir hücredeki değerler normalleştirilerek [0, 1] aralığına getirilir. Son olarak, ideal ve anti-ideal çözümler hesaplanır ve her alternatif, ideal çözüme ne kadar yakın, anti-ideal çözüme ne kadar uzak olduğuna göre değerlendirilir. En iyi alternatif, ideal çözüme en yakın, anti-ideal çözüme ise en uzak olan alternatif olarak belirlenir. TOPSIS yöntemi, karmaşık karar verme problemlerini basitleştirmeye ve karar vericilere net ve anlaşılır bir çözüm sunmaya yardımcı olur.

Bu yöntem, işletmelerde stratejik planlama, proje seçimi, pazar segmentasyonu gibi birçok alanda kullanılabilir ve karar vericilere etkili bir şekilde rehberlik eder. Ancak, TOPSIS’in başarılı bir şekilde uygulanması için, doğru kriterlerin seçilmesi, ağırlıklandırma faktörlerinin doğru belirlenmesi ve normalleştirme adımının dikkatlice yapılması önemlidir. TOPSIS Yönteminin adımları şöyledir [28]:

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması Eş. 5 ile gösterilmiştir:

$$Z = \begin{bmatrix} z_1^1 & z_1^2 & \dots & z_1^m \\ z_2^1 & z_2^2 & \dots & z_2^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_n^1 & z_n^2 & \dots & z_n^m \end{bmatrix} \tag{5}$$

Adım 2: Standart karar matrisi oluşturulması. Standart karar matrisi aşağıdaki formüller Eş.6-Eş.7 aracılığı ile oluşturulur.

$$\text{Fayda Kriterleri: } Z_j^i = \frac{z_j^i}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (z_j^k)^2}} \quad (6)$$

$$\text{Maliyet Kriterleri: } Z_j^i = \frac{1/z_j^i}{\sqrt{\sum_{k=1}^n \left(1/z_j^k\right)^2}} \quad (7)$$

Adım 3: Ağırlıklı standart karar matrisi oluşturulur. İlk olarak değerlendirme faktörlerine ilişkin w_i tespit edilir. Uzman görüşlerine bağlı olarak herhangi bir analitik yaklaşımla elde edilen ağırlık değerleri ile ilgili matrisin elemanlarının ağırlık değerleri çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisi elde edilir:

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad (8)$$

$$V_j^i = \begin{bmatrix} w_1 z_1^1 & w_2 z_2^1 & \dots & w_m z_m^1 \\ w_1 z_1^2 & w_2 z_2^2 & & w_m z_m^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 z_1^n & w_2 z_2^n & \dots & w_m z_m^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1^1 & v_2^1 & \dots & v_m^1 \\ v_1^2 & v_2^2 & & v_m^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_1^n & v_2^n & \dots & v_m^n \end{bmatrix} \quad (9)$$

Adım 4: Pozitif ideal (A^*) ve negatif ideal (A^-) olmak üzere değerler belirlenir; ideal çözüm matrisi Eş.10 ve Eş.11 kullanılarak hesaplanır.

$$A^* = \{(\max v_j^i \mid j \in J), \min v_j^i \mid j \in J'\} \quad (10)$$

$$A^- = \{(\min v_j^i \mid j \in J), \max v_j^i \mid j \in J'\} \quad (11)$$

Burada J fayda kriterini, J' ise maliyet kriterini belirtmektedir.

Adım 5: Her bir alternatif için pozitif ideal ve negatif ideal noktalar Eş.8 ve Eş.9 kullanılarak hesaplanır. Bu farklar, öklid yaklaşımıyla hesaplanır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_j^* - v_j^i)^2} \quad (12)$$

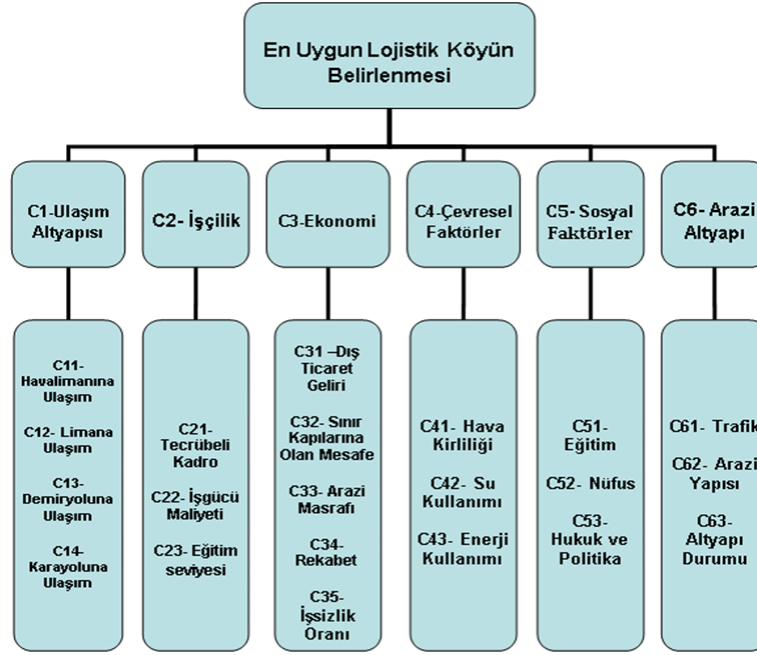
$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_j^i - v_j^-)^2} \quad (13)$$

Adım 6: Alternatiflerin ideal çözüme (C_i^*) göreceli yakınlığı Eş. 10 ile hesaplanırken, pozitif ideal ve negatif ideal mesafeler kullanılır. Görece yakınlık değeri aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (14)$$

UYGULAMA (APPLICATION)

Çalışmanın uygulama kısmında BWM ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak Türkiye’de lojistik köy kurulumu için en uygun şehrin belirlenmesi için hesaplamalar yapılmıştır. Çalışmada yer alan kriterlerin önem düzeyleri, lojistik köylerin kullanım amaçları ve kullanımları çerçevesinde anket oluşturulmuş ve uzman görüşüne sunulmuştur. Çalışmada ele alınan problem özet biçimde Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2

Lojistik köy belirlenmesi

BWM ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi (Determination of criteria weights with BWM)

Bir lojistik köyün kurulması için gerekli olan kriter ve alt kriterler literatür araştırması ve uzman görüşleri ile seçilmiştir. Çalışmada yer alan altı ana kriter, yirmi bir alt kriter ve 4 alternatif vardır. Ana kriterler ulaştırma koşulları, işçilik, ekonomi, çevresel faktörler, sosyal faktörler ve arazi/altyapı şeklinde yer almaktadır. Havaalanına ulaşım, limana ulaşım, demiryoluna erişim, karayolu uzaklığı, deneyimli personel, işgücü maliyeti, yükseköğrenim mezuniyet durumu, dış ticaret geliri, sınır kapılarına uzaklık, arazi masrafı, rekabet, işsizlik oranı, hava kirliliği, su kullanımı, enerji kullanımı, eğitim, nüfus, hukuk/politika, trafik, arazi yapısı ve altyapı durumu kriterleri alt kriterler olarak belirlenmiştir. Alternatifler Aydın, Bolu, Trabzon ve Gaziantep şehirleri olarak belirlenmiştir.

Çalışmada liman şehirleri ve liman şehri olmayan denize kıyısı olmayan şehirlerin birlikte değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Ana kriter ve alt kriterler belirlendikten sonra hiyerarşi şeması ile Şekil 2'de sunulmuştur. Çalışma kapsamında her bir kriterin ağırlık değerlerinin hesaplanabilmesi için BWM yöntemi kullanılmıştır (Tablo 4). Ağırlıkların tutarlılık oranları (CR) Rezai [26] tarafından önerilen yöntemle yapılmıştır (Eş.4). Tutarlılık derecesi 0'a yaklaşan değerlerin tutarlı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 5'te lojistik köy yer seçimi için kullanılan kriterleri değerlendirmek için, ana ve alt kriterler anket yolu ile uzman görüşlerine sunulmuştur. Uzmanlar ile yapılan anket yardımıyla edinilen sonuçlar ile BWM adımlarının her biri uygulanarak çözümleme yapılmış ve kriter ağırlıkları Tablo 6'da gösterilmiştir.

BWM yöntemine göre tutarlılık derecelerinde analiz edilmiştir. Buna göre tutarlılık değeri sıfıra yaklaştıkça değerlendirmelerin tutarlı olduğu sonucu çıkmaktadır. Hesaplanan tutarlılık oranlarında tutarsız sonuçlanan anketlerin uzmanlar tarafından tekrar değerlendirilmesi istenmiş ve düzenlenen anketlerde tutarlılık sağlanmıştır. Tutarlılık analizi, karar verme sürecinde alınan sonuçların güvenilirliğini ve tutarlılığını değerlendirmek için kullanılan önemli bir adımdır. Yapılan hesaplamalar sonucu tüm kriterler tutarlı çıkmıştır (Tablo 7).

Tablo 4*Kriter ve alt kriter tanımları*

Ana Kriterler	Kriterler	Açıklama
C1-Ulaşım Altyapısı	C11-Havaalanına ulaşım C12-Limana ulaşım C13-Demiryoluna erişim C14-Karayolu uzaklığı	- Seçilen konumun havaalanına uzaklığı - Seçilen konumun limana olan mesafesi - Seçilen yerin demiryoluna uzaklığı - Seçilen konumun karayolun uzaklığı
C2-İşçilik	C21-Deneyimli personel C22-İşgücü maliyeti C23-Yüksek öğrenim mezunu olma	- Alanında profesyonel deneyime sahip kişi - Personelin tecrübesine ve eğitim düzeyine göre değişkenlik gösterecek olan işverene sağlayacağı toplam maliyet. - Lojistik alanında eğitilmiş personel
C3-Ekonomi	C31-Dış ticaret geliri C32-Sınır kapılarına uzaklık C33-Arazi masrafı C34-Rekabet C35-İşsizlik oranı	- Diğer ülkelere sunulan lojistik hizmetin toplam geliri - Seçilen yerin hudut kapılarına olan mesafesi - İl/bölge bazında birim metrekare arsa fiyatları - Entelektüel sermaye, en yakın lojistik köye olan mesafe - Söz konusu alandaki işsizlerin toplam işgücü
C4-Çevresel Faktörler	C41-Hava kirliliği C42-Su kullanımı C43-Enerji kullanımı	- Hizmet sonucunda hava ve kara ulaşım yollarının kullanımının artması sonucu artan hava kirliliği - Servis sonucu artan su kullanım oranı - Hizmet sonucunda artan enerji kullanımı
C5-Sosyal Faktörler	C51-Eğitim C52-Nüfus C53-Hukuk/Politika	- İldeki eğitim durumu - İldeki nüfus durumu - Devlet yasakları ve teşvikleri
C6-Arazi ve Altyapı	C61-Trafik C62-Arazi yapısı C63-Altyapı	- Seçilen yerin trafik yoğunluğu - Arazinin eğimli/dağlık olup olmadığı - Doğalgaz, su, elektrik, internet mevcudiyeti/maliyeti

Tablo 6’da BWM yaklaşımı kullanılarak elde edilen kriter ağırlıklarını gösterilmektedir. Ana ve alt kriterlerin önem derecelerini belirleyen ağırlık değerlerini içerir. Ağırlık değerleri, karar verme sürecindeki kriterlerin göreceli önemini yansıtır ve sonuçları etkileyecekleri oranları gösterir (Eş.3).

Tablo 5*Ana ve alt kriterlerin değerlendirilmesi***Ana kriterlerin değerlendirilmesi**

En önemli kriter: Ulaşım altyapısı (C1)	En az önemli kriter: Arazi ve Altyapı (C6)					
En önemli kriterin (C1) diğer kriterlere göre önem düzeyleri	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	1	3	4	3	3	3
Diğer kriterin en az önemli kritere (C6) göre önem düzeyleri	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	3	3	3	2	2	1

Ulaşım Altyapısı kriterlerinin değerlendirilmesi

En önemli kriter: Havaalanına ulaşım (C11)	En az önemli kriter: Karayoluna ulaşım (C14)			
En önemli kriterin (C11) diğer kriterlere göre önem düzeyleri	C11	C12	C13	C14
	1	2	2	2
Diğer kriterin en az önemli kritere (C14) göre önem düzeyleri	C11	C12	C13	C14
	2	1	2	1

İşçilik kriterlerinin değerlendirilmesi

En önemli kriter: Tecrübeli kadro (C21)	En az önemli kriter: Yüksek öğrenim mezunu (C23)		
En önemli kriterin (C21) diğer kriterlere göre önem düzeyleri	C21	C22	C23
	1	1	2
Diğer kriterlerin en az önemli kritere (C23) göre önem düzeyleri	C21	C22	C23
	2	2	1

Ekonomi kriterlerinin değerlendirilmesi

En önemli kriter: Dış ticaret geliri (C31)	En az önemli kriter: İşsizlik oranı (C35)				
En önemli kriterin (C31) diğer kriterlere göre önem düzeyleri	C31	C32	C33	C34	C35
	1	3	2	3	3
Diğer kriterlerin en az önemli kritere (C35) göre önem düzeyleri	C31	C32	C33	C34	C35
	3	2	2	2	1

Çevresel faktörler kriterlerinin değerlendirilmesi

En önemli kriter: Hava kirliliği (C41)	En az önemli kriter: Enerji kullanımı (C43)		
En önemli kriterin (C41) diğer kriterlere göre önem düzeyleri	C41	C42	C43
	1	2	3
Diğer kriterlerin en az önemli kritere (C43) göre önem düzeyleri	C41	C42	C43
	3	3	1

Sosyal faktörler kriterlerinin değerlendirilmesi

En önemli kriter: Eğitim (C51)	En az önemli kriter: Hukuk ve Politika (C53)		
En önemli kriterin (C51) diğer kriterlere göre önem düzeyleri	C51	C52	C53
	1	3	3
Diğer kriterlerin en az önemli kritere (C53) göre önem düzeyleri	C51	C52	C53
	3	2	1

Arazi ve altyapı kriterlerinin değerlendirilmesi

En önemli kriter: Arazi yapısı (C62)	En az önemli kriter: Altyapı (C63)		
En önemli kriterin (C62) diğer kriterlere göre önem düzeyleri	C61	C62	C63
	1	1	4
Diğer kriterlerin en az önemli kritere (C63) göre önem düzeyleri	C61	C62	C63
	3	4	1

Tablo 6*Kriter ağırlıklarının belirlenmesi*

Ana Kriterler	Ağırlık Değeri	Alt Kriterler	Ağırlık Değeri	Genel Ağırlık Değerleri
Ulaşım Altyapısı	0,403	Havalimanına Ulaşım (C11)	0,400	0,161
		Limana Ulaşım (C12)	0,200	0,081
		Demiryoluna Ulaşım (C13)	0,200	0,081
		Karayoluna Ulaşım (C14)	0,200	0,081
İşçilik	0,224	Tecrübeli Kadro (C21)	0,4	0,089
		İşgücü Maliyeti (C22)	0,4	0,089
		Yüksek Öğrenim Mezunu (C23)	0,2	0,045
Ekonomi	0,149	Dış Ticaret Geliri (C31)	0,397	0,059
		Sınır Kapılarına Olan Uzaklık (C32)	0,147	0,022
		Arazi Masrafı (C33)	0,221	0,033
		Rekabet (C34)	0,147	0,022
		İşsizlik Oranı (C35)	0,088	0,013
Çevresel Faktörler	0,090	Hava Kirliliği (C41)	0,572	0,051
		Su Kullanımı (C42)	0,286	0,025
		Enerji Kullanımı (C43)	0,143	0,012
Sosyal Faktörler	0,075	Eğitim (C51)	0,572	0,042
		Nüfus (C52)	0,285	0,0213
		Hukuk ve Politika (C53)	0,142	0,010
Arazi ve Altyapı	0,060	Trafik (C61)	0,333	0,019
		Arazi Yapısı (C62)	0,444	0,026
		Altyapı (C63)	0,222	0,013

Tablo 6’da görülen değerlendirmeler ışığında ele alınan ağırlıklar, lojistik köy kuruluş yeri seçimindeki ana ve alt kriterlerin hangi düzeyde önemli ve etkili olduğunu göstermektedir. Söz konusu değerlendirmelerde ulaşım altyapısı ana kriteri için; havalimanına ulaşım alt kriteri ilk sırada yer almaktadır. Havalimanı, uluslararası ticaretin ve hızlı hava kargo taşımacılığının merkezinde yer alarak, lojistik köylerin etkinliğini ve verimliliğini artırır. Havalimanına yakınlık, lojistik operasyonların hızlanmasını, maliyetlerin düşmesini ve tedarik zincirinin daha esnek hale gelmesini sağlar. Bu nedenle, havalimanına yakın lokasyonlar, lojistik köyler için ideal yerleşim alanları olarak öne çıkar.

İşçilik ana kriteri için; tecrübeli kadro ve işgücü maliyeti aynı değerlerle ilk sırada yer almıştır. Tecrübeli kadronun varlığı, lojistik operasyonların yönetiminde güçlü bir yetenek havuzu sağlayarak verimliliği artırabilir. Ayrıca işgücü maliyeti, işletme maliyetlerinin önemli bir unsuru olarak lojistik köylerin rekabet gücünü etkileyebilir.

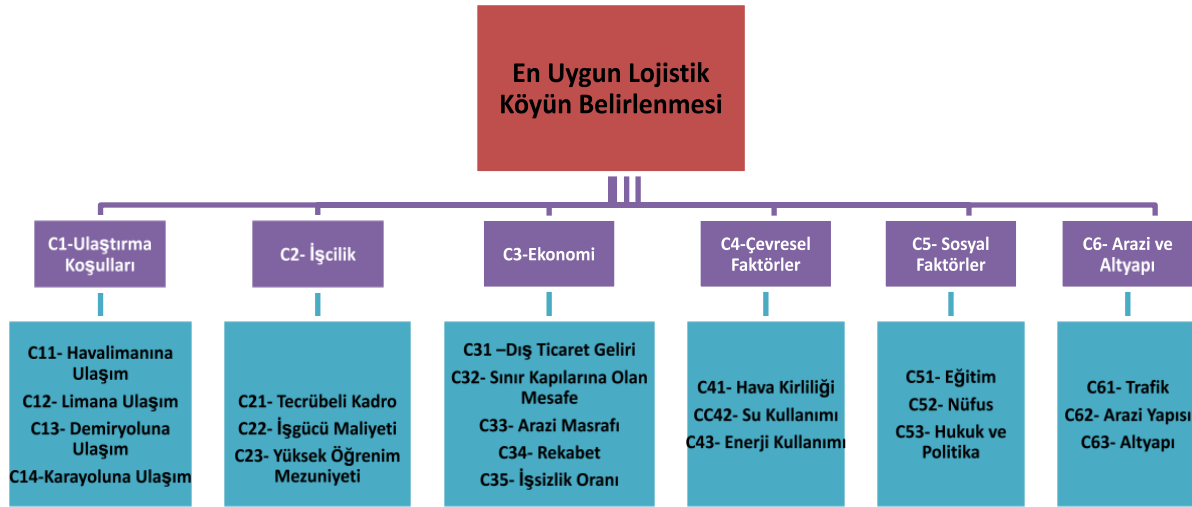
Ekonomi ana kriteri için; dış ticaret geliri alt kriteri ilk sırada yer almıştır. Dış ticaret geliri, bir lojistik köyün ekonomik etkinliği ve sürdürülebilirliği için kritik bir faktördür. Lojistik köyler, uluslararası ticaretin merkezlerinden biri olarak konumlanarak dış ticaret hacmini artırabilir ve bölgenin ekonomik büyümesine katkıda bulunabilir. Ağırlık derecesinin diğer alt kriterlere göre fazla olması, dış ticaret gelirinin lojistik köylerin performansında belirleyici bir faktör olarak değerlendirildiğini gösterir.

Çevresel faktörler ana kriteri için; hava kirliliği ilk sırada yer alırken, sosyal faktörler ana kriteri için; eğitim alt kriteri ilk sırada yer almıştır. Son olarak, arazi ve altyapı kriteri için ise; arazi yapısı alt kriteri ilk sırada yer almaktadır. Arazi yapısı, bir lojistik köyün fiziksel yapısının ve planlamasının temel unsurlarından biridir. İyi bir arazi yapısı, lojistik operasyonların düzenlenmesi ve optimal bir şekilde yerleştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Tablo 7*Karşılaştırma matrislerinin ilişkili eşik ve tutarlılık değerleri*

Kriterler	İlişkili Eşik Değeri	CR	Tutarlılık
Ulaşım Altyapısı	0,166667	0,1666	Tutarlı
İşçilik	0	0	Tutarlı
Ekonomi	0,1898	0,1667	Tutarlı
Çevresel Faktörler	0,16667	0,166	Tutarlı
Sosyal Faktörler	0,1121	0	Tutarlı
Arazi ve Altyapı	0,1667	0,05	Tutarlı

Tablo 7’de kriterlerin tutarlılık oranları gösterilmektedir. İlişkili eşik değeri, karar vericilerin en iyi ve en kötü kriterleri belirlerken ve bu kriterler arasındaki karşılaştırmaları yaparken ne kadar tutarlı olduklarını ölçer. Bu değer, tutarlılık oranının kabul edilebilir bir seviyede olup olmadığını belirlemek için bir referans sağlar. Eğer tutarlılık oranı bu eşik değerinin altında ise, karar vericilerin karşılaştırmalarının tutarlı olduğu kabul edilir. Tutarlılık oranı (CR), karar vericilerin yaptığı karşılaştırmaların ne kadar tutarlı olduğunu gösterir (Eş.4). BWM yönteminde ilişkili eşik değeri ve CR’nin belirlenmesi, karar vericilerin karşılaştırmalarının doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlayarak daha sağlam ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine yardımcı olur. Yapılan hesaplamalar sonucu tüm kriterler tutarlı çıkmıştır.

**Şekil 3***En uygun lojistik köyün belirlenmesi için hiyerarşi şeması***TOPSIS Yöntemi (TOPSIS Method)**

Çalışmanın bu aşamasında BWM yöntemi ile elde edilen kriterlerin ağırlık değerleri kullanılarak TOPSIS yöntemi ile alternatif şehirler, lojistik köy seçimini etkileyen kriterlere göre karşılaştırılmıştır. Seçilen kentler ‘Aydın, Bolu, Trabzon, Gaziantep’ olup en belirgin farkları liman şehri olup olmadıkları yönündedir. Çalışmanın başında belirtildiği gibi projenin asıl amacı lojistik köy yeri seçiminde şehirlerin liman şehri olup olmama durumu değerlendirilmektedir. Bu değerlendirme ile amaç liman özelliği olmayan şehirlerin de sisteme katılarak lojistik köy olma potansiyelinin değerlendirilmesi ve ülke ekonomisine katkı sunmasıdır. Buradan yola çıkarak, seçilen şehirlerin kriterlere göre ulaşılabilirliği en güncel halleri ile sayısal değerleri elde edilmiş ve karar matrisi oluşturulmuştur. Lojistik köy yer seçimini etkileyen kriterlere göre her bir sayısal veri, tablonun alt kısmında açıklanmıştır.

TOPSIS yönteminin uygulanmasında, limanı olan ve olmayan dört şehir seçilmiştir: Aydın, Bolu, Trabzon ve Gaziantep. Seçilen şehirler için 21 tane alt kritere ait karar matrisi oluşturulmuştur (Eş.5), veriler normalize edilmiştir (Eş.6-Eş.7). Pozitif ve negatif ideale olan mesafeler hesaplanmış (Eş.10-Eş.11) ve 4 adet şehir için sıralama yapılmıştır (Eş.14). Seçilen şehirler arasındaki en belirgin fark, liman şehri olup olmadıklarıdır. Sonuçların detayları aşağıdaki tablolarda gösterilmektedir. Tablo 8’de ayrıntılı karar matrisi sunulmuştur.

Tablo 8*Ayrıntılı karar matrisi*

Ağırlık Değeri	0,161	0,089	0,089	0,080	0,081	0,059	0,080	0,051	0,042	0,044	0,025
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Fayda/Maliyet	F	F	M	F	F	F	F	M	F	F	M
Kriterler	C11 ¹	C21 ²	C22 ³	C13 ⁴	C12 ⁵	C31 ⁶	C14 ⁷	C41 ⁸	C51 ⁹	C23 ¹⁰	C42 ¹¹
Aydın	1	1	17.000	2	1	0,6	4	1	86	18	1
Bolu	0	1	17.000	0	0	0,4	5	1	83	18	1
Trabzon	1	1	17.000	0	1	0,3	5	1	79	20	1
Gaziantep	1	1	17.000	2	0	3,6	4	2	68	14	1
Ağırlık Değeri	0,033	0,022	0,026	0,019	0,021	0,0219	0,013	0,012	0,010	0,013	
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Fayda/Maliyet	M	F	M	M	F	F	M	M	F	F	
Kriterler	C33 ¹²	C32 ¹³	C62 ¹⁴	C61 ¹⁵	C52 ¹⁶	C34 ¹⁷	C35 ¹⁸	C43 ¹⁹	C53 ²⁰	C63 ²¹	
Aydın	5.961	700	1	1	3	3	8,6	1	1	1	
Bolu	6.236	520	2	1	4	2	10	1	1	1	
Trabzon	4.523	183	3	1	2	1	9,2	1	1	1	
Gaziantep	5.313	90	1	1	1	1	10,7	1	1	1	

¹ Şehirde havalimanı bağlantısı olup olmamasına göre 1 ya da 0 puan verilmiştir. (DHMİ)

² Bilgiye ulaşılmadığı için tüm kriterlere 1 puan verilmiştir.

³ Lojistik alanında çalışanların net maaş ortalamalarına dair bilgiye ulaşılmadığı için her şehire 2024 yılı için belirlenen asgari ücret tutarı verilmiştir.

⁴ Çevre şehirlere olan demiryolu bağlantı sayısıdır (TCDD)

⁵ Liman şehirlerine 1 limanı olmayan şehirlere ise 0 verilmiştir (TDİ)

⁶ Şehirlerin ihracat istatistikleri pay yüzdeleridir (Ticaret Bakanlığı)

⁷ Şehirlerin çevre illere ana karayolu bağlantı sayısıdır (Karayolları)

⁸ Spesifik yüzde veya sıralama bilgisi olmadığı için hava kirliliğinde sınırdan olan illere 1; kirli hava olarak değerlendirilen Gaziantep’e 2 verilmiştir.

⁹ İllerdeki /+15 eğitim görenlerin sayısının toplam nüfusa oranına göre yüzdesi (TÜİK)

¹⁰ İllerdeki Yükseköğretim veya Lisans mezun oranları (TÜİK)

¹¹ Spesifik bilgiye ulaşılmadığı için her şehire aynı değer verilmiştir.

¹² Şehirlere göre birim metrekare arazi fiyatları ortalama değerleri (Endeksa)

¹³ En yakın sınır kapılarına olan uzaklığın km cinsinden değeri (KGM)

¹⁴ Engebe oranlarına göre düz veya hafif engebeli şehirler için 1, genellikle engebeli olan şehirlere ise 3 verilmiştir.

¹⁵ Geçerli bir bilgiye ulaşılmadığı için tüm şehirlere aynı değer verilmiştir.

¹⁶ Şehirlerin nüfus yoğunluğuna göre kendi içlerinde sıralaması yapılmıştır. (TÜİK)

¹⁷ Çevre illerdeki işletmeye açılan, yapım aşamasında olan ve ihale ve proje aşamasında olan lojistik köy sayıları (UTİKAD)

¹⁸ Şehirlere göre işsizlik yüzdeleri (TÜİK)

¹⁹ Geçerli bir bilgiye ulaşılmadığı için tüm şehirlere aynı değer verilmiştir.

²⁰ Devlet teşviki hukuk ve politika tüm şehirler için aynı olduğundan tüm şehirlere aynı puan verilmiştir.

²¹ Seçilen şehirlerde doğalgaz, su, elektrik, internet imkânı olduğu için her bir şehire 1 puan verilmiştir.

Tablo 8 TOPSIS metodunda fayda ve maliyet tablosu, karar vericilere bir perspektif sağlamak ve alternatif lokasyonların avantajlarını ve dezavantajlarını değerlendirmek amacıyla kullanılır. Fayda tablosu, her bir alternatifin belirlenmiş kriterlere olan uygunluğunu gösterirken, maliyet tablosu ise her bir kriterin alternatiflere olan maliyetini yansıtarak karar sürecine katkıda bulunur.

Tablo 9*Normalize karar matrisi*

Kriterler	C11	C21	C22	C13	C12	C31	C14	C41	C51	C23	C42
Aydın	0,577	0,500	0,500	0,707	0,707	0,162	0,441	0,378	0,542	0,510	0,500
Bolu	0,000	0,500	0,500	0,000	0,000	0,108	0,552	0,378	0,523	0,510	0,500
Trabzon	0,577	0,500	0,500	0,000	0,707	0,081	0,552	0,378	0,498	0,567	0,500
Gaziantep	0,577	0,500	0,50	0,707	0,000	0,977	0,441	0,755	0,428	0,396	0,500
Kriterler	C33	C32	C62	C61	C52	C34	C35	C43	C53	C63	
Aydın	0,537	0,781	0,258	0,500	0,547	0,774	0,445	0,500	0,500	0,500	
Bolu	0,562	0,580	0,516	0,500	0,730	0,516	0,517	0,500	0,500	0,500	
Trabzon	0,407	0,204	0,774	0,500	0,365	0,258	0,476	0,500	0,500	0,500	
Gaziantep	0,478	0,100	0,258	0,500	0,182	0,258	0,554	0,500	0,500	0,500	

Tablo 9’da karar matrisinin normalize edilmiş hali paylaşılmıştır bu şekilde veriler farklı birim ve skaladan kurtarılmıştır (Eş.6-Eş.7) Tablo 10’da ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulmuştur (Eş.8-Eş.9). Ağırlıklı karar matrisi, kriterlere öncelik verilmesi açısından karar alıcılar arasında bir uzlaşma sağlar. Örneğin, ulaşım altyapısının, maliyet faktörlerinden daha mı önemli olduğu yoksa çevresel faktörler mi daha belirleyici, bu ağırlıklar aracılığıyla belirlenir. Her bir kriterin ağırlığı, karar vericilerin önceliklerini ve stratejik hedeflerini yansıtarak, lojistik köy yer seçimi sürecinde dikkate alınan faktörlerin göreceli önemini belirlemeye yardımcı olur. Bu ağırlıklı karar matrisi, TOPSIS metodolojisinin temelini oluşturarak, alternatif lokasyonların sıralanmasında ve en uygun seçeneğin belirlenmesinde etkili bir araç olarak kullanılır.

Tablo 10*Ağırlıklı normalize karar matrisi*

Kriterler	C11	C21	C22	C13	C12	C31	C14	C41	C51	C23	C42
Aydın	0,093	0,044	0,044	0,057	0,057	0,009	0,035	0,019	0,023	0,022	0,012
Bolu	0,000	0,044	0,044	0,000	0,000	0,006	0,044	0,019	0,022	0,022	0,012
Trabzon	0,093	0,044	0,044	0,000	0,057	0,004	0,044	0,019	0,021	0,025	0,012
Gaziantep	0,093	0,044	0,044	0,057	0,000	0,057	0,035	0,038	0,018	0,017	0,012
Kriterler	C33	C32	C62	C61	C52	C34	C35	C43	C53	C63	
Aydın	0,0177	0,0171	0,0069	0,0100	0,0117	0,0170	0,0058	0,0064	0,0053	0,0067	
Bolu	0,0185	0,0127	0,0138	0,0100	0,0156	0,0113	0,0068	0,0064	0,0053	0,0067	
Trabzon	0,0134	0,0045	0,0206	0,0100	0,0078	0,0057	0,0062	0,0064	0,0053	0,0067	
Gaziantep	0,0158	0,0022	0,0069	0,0100	0,0039	0,0057	0,0073	0,0064	0,0053	0,0067	

Tablo 11, lojistik köy yer seçimi için TOPSIS metodolojisinde kullanılan İdeal (V^+) ve Negatif (V^-) çözümlerinin oluşturulması tablosu, her kriterdeki en iyi ve en kötü performansları belirlemek amacıyla kullanılır. İdeal çözüm, tüm fayda kriterleri için en yüksek değerleri ve tüm maliyet kriterleri için en düşük değerleri içerir. Bu çözüm, en arzu edilen durumu temsil eder ve karar vericinin tüm hedeflerine en iyi şekilde ulaşan alternatifi gösterir. İdeal çözüme yakın olan alternatifler, tercih edilen çözümler olarak değerlendirilir. Negatif ideal çözüm, tüm fayda kriterleri için en düşük değerleri ve tüm maliyet kriterleri için en yüksek değerleri içerir. Bu çözüm, en istenmeyen durumu temsil eder ve karar vericinin tüm hedeflerine en uzak olan alternatifi gösterir. Negatif ideal çözüme yakın olan alternatifler, en az tercih edilen çözümler olarak kabul edilir. Her alternatifin ideal ve negatif ideal çözüme olan

uzaklığı hesaplanır. Bu uzaklıklara dayanarak, alternatifler en iyi çözüme yakınlıklarına göre sıralanır. Fayda kriterleri arttıkça tercih edilirken, maliyet kriterleri azaldıkça tercih edilir. Bu yaklaşım, karar vericilere en uygun alternatifleri belirlemede yardımcı olur. (Eş.10 - Eş.11). Bu tablo, alternatif lokasyonların hem en üstün performans gösterdiği hem de en düşük performans gösterdiği noktaları vurgular, karar vericilere net bir perspektif sunar.

Tablo 11

Pozitif ideal negatif ideal çözümler

Kriterler	V ⁺	V ⁻	Kriterler	V ⁺	V ⁻
C11	0,0931	0,0000	C33	0,0134	0,0185
C21	0,0448	0,0448	C32	0,0171	0,0022
C22	0,0448	0,0448	C62	0,0069	0,0206
C13	0,0570	0,0000	C61	0,0100	0,0100
C12	0,0570	0,0000	C52	0,0156	0,0039
C31	0,0578	0,0048	C34	0,0170	0,0057
C14	0,0445	0,0356	C35	0,0058	0,0073
C41	0,0195	0,0389	C43	0,0064	0,0064
C51	0,0233	0,0184	C53	0,0053	0,0053
C23	0,0254	0,0178	C63	0,0067	0,0067
C42	0,0129	0,0129			

Tablo 12, Öklid uzaklığı yaklaşımından yararlanılarak hazırlanmıştır. Öklid uzaklığı, her alternatifin pozitif ideal çözüme olan uzaklığını temsil eder. Bu uzaklık, alternatifin pozitif ideal çözüme ne kadar yakın olduğunu gösterir. Aynı şekilde, her alternatifin negatif ideal çözüme olan uzaklığı da hesaplanır. Bu değerler, alternatifin negatif ideal çözüme ne kadar yakın olduğunu ifade eder. TOPSIS yöntemi, bu Öklid uzaklıklarını kullanarak, alternatiflerin iyiliğini ve kötülüğünü belirler ve en iyi seçenekleri tespit eder (Eş.12-Eş.13).

Tablo 12

Pozitif ideal negatif değerlere olan uzaklık

Alternatifler	Si ⁺	Si ⁻
Aydın	0,049	0,127
Bolu	0,133	0,028
Trabzon	0,081	0,111
Gaziantep	0,065	0,122

Tablo 13

Görelî yakınlık değerleri ve alternatiflerin sıralanması

Alternatifler	P skoru	Rank
Aydın	0,721	1
Bolu	0,177	4
Trabzon	0,579	3
Gaziantep	0,651	2

Tablo 13, TOPSIS yöntemi kullanılarak yapılan Aydın, Bolu, Trabzon ve Gaziantep şehirlerinin lojistik köy yer seçim sürecindeki performanslarını göstermektedir. Her bir şehir, belirlenen kriterlere göre analiz edilmiş ve sonuçlar sırayla listelenmiştir: Aydın, Gaziantep, Trabzon ve Bolu. Bu sıralama,

her bir şehrin BWM ve TOPSIS yöntemi kullanılarak hesaplanan performansına dayanmaktadır. Değerlendirme sürecinde, Aydın en iyi performansı sergilerken Bolu en düşük performansı göstermiştir. Aydın, ana kriterler arasında en yüksek kriter ağırlığına sahip olan ulaşım altyapısı (C1) ve alt kriterlerin (havalimanına ulaşım, karayoluna ulaşım, limana ulaşım, demiryoluna ulaşım) hepsini bünyesinde barındıran bir şehrimizdir. Bolu ise alt kriterler arasında hem havalimanına ulaşım hem de limana ulaşım kriterlerini sağlamamaktadır. Bu sonuç, lojistik köy yer seçimi için ulaşım ağırlığının önemini bir kez daha vurgulamaktadır. İki şehir arasında yapılan hesaplamalar sonucunda öne çıkan diğer faktörler ise arazi masraflarının (C33) Bolu’da, Aydın’a oranla daha yüksek olması ve Aydın’ın arazi yapısının (C62) Bolu’ya oranla nispeten daha düz ve engebesiz olması şeklinde sıralanabilir.

SONUÇ VE GELECEK ARAŞTIRMALAR (CONCLUSION AND FUTURE RESEARCHES)

İşletmelerin değişen pazar koşullarında varlıklarını sürdürebilmeleri ve rekabetçi olabilmeleri için lojistik maliyetlerinin düşük seviyede değerlendirmeleri gerekmektedir. Özellikle ulaştırma ağırlığının uzun olması güvenilirlik ve verimlilik anlamında süreçte aksaklıklara yola açabilir. Dolayısıyla rotadaki aksaklığa karşı karar verici firmaların çoklu taşıma modlarına sahip etkin alternatif yük rotaları elverişli güzergahları öncelikli kılmaları tercih nedenidir. Bu sebeple lojistik köy yerlerinin önemi bir kez daha ortaya çıkmakta olup, uygun lojistik köy yerinin belirlenmesinde ÇKKV araçlarıyla değerlendirme yapılmaktadır.

İlk olarak BWM yöntemi kullanılarak kriterlerin önem seviyesi belirlenmiş ardından TOPSIS yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Belirlenen kriterler uzman kişilere yapılan anketlerle değerlendirilmiş ve buna göre karşılaştırma yoluyla puanlanmıştır. Ana kriterlerin önem seviyesi sırasıyla; ulaşım altyapısı 0,403, işçilik, ekonomi 0,024, çevresel faktörler 0,149, sosyal faktörler 0,090 son olarak da arazi ve altyapı ana kriteri 0,060 ağırlık değerine sahiptir. Söz konusu sonuçlar ön görülebileceği üzere ulaşım altyapısını öne çıkarmaktadır. Ardından TOPSIS yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Best-Worst yöntemi yeni bir karar yöntemi olmasına karşın yaygın kullanımı ve pratikliği nedeniyle son dönemlerde oldukça popüler olmuştur. TOPSIS yöntemi çok kriterli karar verme tekniklerinin başında gelmektedir. Bu çalışmada, hangi bölgenin daha uygun olduğunu belirlemek için dört farklı şehir seçilmiştir. İlgili şehirler seçilirken dikkat edilen husus şehrin bir liman kenti olup olmadığı konusu olmuştur. Çünkü liman şehirleri zaten avantajlı konumdadır amaç liman bağlantısı olmayan alternatifleri de lojistik köy sürecine dahil edebilmektir. Altı ana kriter ve yirmi bir alt kriter üzerinden yapılan değerlendirme ile kapsamlı ve tatminkâr sonuçlar elde edilmiştir.

Analizden elde edilen sonuçlar ile son zamanlarda Aydın ili hakkında lojistik köy fikrinin gündemde olması aslında konu hakkındaki değerlendirmelerin objektif yöntemlerle de benzer paralellikte olduğunu ve analizin tutarlılığını bir kez daha bizlere göstermektedir. Ülkemizde yapılan lojistik köy fizibilite raporlarında Aydın ve Trabzon üzerinde çalışıldığı ve lojistik köy olma özelliği taşıdıkları görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda Aydın ili lojistik köy alternatifi olarak ilk sırada çıkmıştır. Aydın ilinin ilk sıradaki alternatif lojistik köy olmasında onu öne çıkaran temel özellikleri, karayolu, denizyolu, havayolu ve demiryolunun yanı sıra multimodal (bir yükün taşınmasında birden fazla taşıma modunun kullanılması) ulaşım varlığı şeklinde özetlenebilir. Aynı zamanda düz bir araziye ve sağlam bir altyapıya sahiptir. Bu sonuç, taşımacılığın lojistik faaliyetler için ne kadar önemli olduğunu bir kez daha vurgulamaktadır. Aydın lojistik köyünü az bir farkla ikinci sırada yer alan Trabzon lojistik köy takip etmiştir. İki şehrin ortak özelliği liman kenti olması ve sınır kapılarına yakınlığıdır. Ardından Gaziantep lojistik köy gelirken, listenin sonunda Bolu şehri lojistik köy olarak listede son sırada yer almıştır.

Gelecek araştırmalar için daha farklı ve çok sayıda kriter ve alternatifi değerlendirilmeye katılması

söz konusu olabilir. Ayrıca belirsizlik durumunun dikkate alınacağı bulanık mantık yaklaşımlarının da değerlendirilebileceği bulanık karar verme yaklaşımlarıyla da çalışma daha farklı perspektiften değerlendirilebilir.

Etik Kurul Onayı (Ethics Committee Approval)

Bu çalışma için etik kurul onayı gerekmemektedir.

Yazar Katkıları (Author Contributions)

Araştırma Tasarımı (CRediT 1): B.Ç.E. (%100)

Veri Toplama (CRediT 2): G.A. (%25) – Y.B. (%25) - L.D. (%25) - F.S. (%25)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11): G.A. (%30) – Y.B. (%15) - L.D. (%15) - B.Ç.E. (%40)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13): G.A. (%30) – Y.B. (%10) - L.D. (%10) - B.Ç.E. (%50)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14): G.A. (%30) – B.Ç.E. (%70)

Finansman (Financing)

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 1919B012224087 proje numaralı 2209-A kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarların bu çalışma için beyan ettikleri herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 9 Sanayi, Yenilikçi ve Altyapı

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 11 Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] E. Adal, G. Sakar, Analyzing the freight villages from the perspective of freight forwarders a case study for Turkey, içinde: *European Conference on Shipping and Ports-ECONSHIP*, 2011.
- [2] F. Altın, T. Filiz, Assessment of the Performance of logistics villages operated by the Turkish state railways using MCDM and DEA methods, *Ege Academic Review*. 13 (2022), 169–182.
- [3] B. Turkmen, Lojistik Köyü Yer Seçimi ve Türkiye’de Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, 2021.
- [4] TCDD, Kurum İstatistikleri 2018 Yılı Sektör Raporu, 2018. <https://www.tcdd.gov.tr/>.
- [5] M. Elgün, Ulusal ve uluslararası taşıma ve ticarete lojistik köylerin yapılanma esasları ve uygun kuruluş yeri seçimi, *AKÜ İİBF Dergisi*. 13 (2011), 203–226.
- [6] V. Kurt, İ. Çelik, N. Ercan, TCDD Lojistik Köyü Çalışmaları, içinde: 2. *Uluslararası Demiryolu Sempozyumu/Demiryolu Fuarı*, İstanbul, 2018: ss. 1483–1493.
- [7] M. Bamyacı, M. Tanyaş, A multi-criteria decision-making model for the problem of location selection in an organized logistics zone; AHP-SAW, içinde: *Mersin Symposium*, Mersin, 2008: ss. 1217–1230.
- [8] A. Çetinkaya, Türkiye’deki Limanların Lojistik Üs Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, 2010.
- [9] A. Can, Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Samsun Lojistik Köyü Yerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kayseri, 2012.
- [10] M. Erdal, M. Saygılı, Küresel Lojistik, *UTIKAD yayınları*, 2006.
- [11] M. Elgün, Lojistik Köy Çalışmalarının Sosyo-Ekonomik Katma Değer Açısından Değerlendirilmesi, *NEU Press*, Konya, 2023.
- [12] C. Uyanık, G. Tuzkaya, S. Oğuztimur, A literature survey on logistics centers’ location selection problem, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*. 1 (2018), 141–160.
- [13] T. Alkan, S.S. Durduran, Analysis of house selection process with AHP based TOPSIS method, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 2 (2020), 12–21.
- [14] M.A. Sayar, H.Z. Selvi, İ. Buğdaycı, Determination of Suruç Tent city area by Analytic Hierarchy method, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 1 (2019), 20–31.
- [15] E. Demir, E. Boz, Multi-Criteria Decision-Making methods in the selection of drones to be used for drug distribution in the healthcare sector, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 6 (2024), 40–56.
- [16] S. Eryuruk, Tekstil ve Konfeksiyon Sektörleri Arasında Etkin Lojistik Faaliyetlerinin Gerçekleştirilmesi Amacıyla Bir Lojistik Merkez Yer Seçimi ve Tasarımı, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, İstanbul, 2010.
- [17] B. Elevli, B. Ak, Evaluation of Samsun logistics village location alternatives in line with multidimensional purposes, içinde: *Samsun Sempozyumu*, 2011.
- [18] V. Karadeniz, E. Akpınar, Türkiye’de lojistik köy uygulamaları ve yeni bir lojistik köy önerisi, *Marmara Coğrafya Dergisi*. 24 (2013), 49–71.
- [19] Ö. Aydın, S. Oznehir, E. Akçali, Modeling of the optimal hospital location selection for Ankara by analytical hierarchy process, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 14 (2009), 69–86.
- [20] S. Güleriyüz Ergül, Ş. Coşmuş, Lojistik köy seçimi için AHP-TOPSIS temelli bir karar verme

- yaklaşımı, *Journal of Transportation and Logistics*. 7 (2023), 321–340.
- [21] M. Yücel, Ş. Yılmaz, Türkiye’deki lojistik köyler ve seçimine etki eden unsurlar, *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*. 10 (2019), 72–89.
- [22] M. H. Duman, Batı Akdeniz bölgesinde güneş enerjisi santrali için kuruluş yeri seçimi, Yüksek Lisans Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı*, Antalya, 2018.
- [23] M. Elgün, N. Aşıkoğlu, Lojistik köy kuruluş yeri seçiminde TOPSIS yöntemiyle merkezlerin değerlendirilmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 18 (2016), 161–170.
- [24] N. Keleş, Türkiye’de lojistik köy yeri seçiminin çok kriterli karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesi, Doktora Tezi, *Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı*, Zonguldak, 2021.
- [25] C. Hamzaçebi, G. İmamoğlu, A. Alçı, Selection of logistics center location with MOORA method for black sea region of Turkey, *Journal of Economics Bibliography*. 3 (2016), 74–82. doi:10.1453/jeb.v3i1S.785.
- [26] J. Rezaei, Best-worst multi-criteria decision-making method, *Omega (United Kingdom)*. 53 (2015), 49–57. doi:10.1016/j.omega.2014.11.009.
- [27] H. Aşan, E. Ayçin, Kurumsal kaynak planlama sistemlerinin seçimindeki kriterlerin Best-Worst metodu ile değerlendirilmesi, *Akademik İzdüşüm Dergisi*. 5 (2020), 114–124.
- [28] C.L. Hwang, K. Yoon, Multiple Attribute Decision Making, *Springer Berlin Heidelberg*, Berlin, Heidelberg, 1981. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-48318-9>.